

# **Training und Transfer exekutiver Funktionen im höheren Lebensalter**

**Dissoziation von inhibitions- und geschwindigkeitsfokussiertem  
Aufgabenwechseltraining**

**Evidenz für einen Expertiseaufbau**

**Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktors der Naturwissenschaften**

der Fakultät HW

Bereich Empirische Humanwissenschaften

der Universität des Saarlandes

vorgelegt von

**Christian Friedrich**

aus Aachen

Saarbrücken, 2023

**Dekan:**

Prof. Dr. Peter Loos

**Berichterstatter:**

Erstberichterstatter: Prof. Dr. Hubert D. Zimmer

Zweitberichterstatter: Prof. Dr. Dirk Wentura

**Tag der Disputation:** 11. Mai 2023

## **Danksagung**

*An dieser Stelle möchte ich all denjenigen danken, die mich bei der Fertigstellung dieser Arbeit begleiteten.*

*Vor allem danke ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Hubert Zimmer dafür, dass er sich bereit erklärt hat, mein Promotionsprojekt auch über seinen Ruhestand hinaus zu betreuen. Prof. Zimmer war, trotz seines Ruhestands, immer erreichbar, hatte immer ein offenes Ohr für Ideen und unterstützte mich in deren Umsetzung. Ich danke ihm für seine Unterstützung, dafür, von seinem großen Erfahrungsschatz profitieren zu dürfen und besonders dafür, dass er diese Arbeit möglich gemacht hat.*

*Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. Dirk Wentura dafür, dass er die Aufgabe des Zweitberichterstatters übernommen hat.*

*Auch Herrn Dipl.-Psych. Ernst Hohn danke ich für viele motivierende Worte während meiner beruflichen psychotherapeutischen Tätigkeit in seiner Praxis.*

*Nicht unerwähnt bleiben dürfen hier meine Kolleginnen und Kollegen des Neuropsychologischen Therapie Centrums der Ruhr-Universität Bochum, die mich in den letzten Jahren bis zur Vollendung dieser Arbeit begleiteten und motivierten. Ein besonderer Dank geht an Frau Prof. Dr. Patrizia Thoma und Herrn Prof. Dr. Boris Suchan.*

*Zusätzlich danke ich all meinen Freunden und Verwandten, die an dieser Stelle nicht namentlich erwähnt werden und die mich auf der langen Reise bis zur Fertigstellung dieser Arbeit begleiteten.*

*Schließlich danke ich meiner Familie, die mich mein Leben lang unterstützte: Meinem Vater Heinz-Dieter Friedrich, meiner Mutter Edeltraud Friedrich und meinem Bruder Andreas Friedrich.*



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>IX</b>

<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>1 Theoretischer Hintergrund</b>	<b>5</b>
1.1 Kognitives Altern – Prozessspezifische Abnahmen oder Dedifferenzierung?	5
1.2 Kognitive Generalfaktoren des Alterns	9
1.2.1 Verarbeitungsgeschwindigkeitstheorie des kognitiven Alterns	9
1.2.2 Exekutive-Abnahme-Hypothese des kognitiven Alterns	12
1.2.2.1 Inhibitionsdefizithypothese	16
1.3 Kognitives Training im höheren Lebensalter	20
1.4 Aufgabenwechseln im höheren Lebensalter	29
1.5 Aufmerksamkeit im höheren Lebensalter	37
1.6 Alterungsprozesse beim Filtern und der Veränderungsdetektion im visuellen Arbeitsgedächtnis	41
1.7 Assoziationsdefizithypothese und Inhibitionsdefizithypothese	46
1.8 Assoziationsdefizithypothese im Arbeitsgedächtnis	49
1.9 Hypothesen	51
<b>2 Methode</b>	<b>60</b>
2.1 Stichprobe	60
2.2 Material und Versuchsdesign	61
2.3 Trainingsprogramme	65
2.3.1 Inhibitionsfokussiertes Aufgabenwechseltraining (Experimentalgruppe)	66
2.3.2 Verarbeitungsgeschwindigkeitsfokussiertes Aufgabenwechseltraining (aktive Kontrollgruppe)	71
2.4 Aufgabenwechseltransfertest	73
2.5 Stroop-Test	75

2.6	Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test	76
2.7	Change Detection	79
2.7.1	Change Detection ohne Filter	79
2.7.2	Change Detection mit Filter	82
2.8	Paarassoziationslernen	83
2.9	Assoziativer Rekognitionstest	86
2.10	Statistische Datenanalyse	88
<b>3</b>	<b>Ergebnisse der ersten Erhebung</b>	<b>93</b>
3.1	Placebokontrolle	93
3.2	Ergebnisse des Trainings	93
3.2.1	Analyse der Schwierigkeitsgrade	103
3.2.2	Analyse der Herstellung der Schwierigkeitsstufen der Trainingsverfahren	106
3.2.3	Zusammenfassung der Trainingsergebnisse	111
3.3	Analyse der Transfereffekte	112
3.3.1	Naher Transfer – Aufgabenwechsel	112
3.3.1.1	Wechselkosten	112
3.3.1.2	Mixingkosten	117
3.3.2	Ferner Transfer	120
3.3.2.1	Stroop-Test	120
3.3.2.2	Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test	124
3.3.2.3	Change Detection	129
3.3.2.4	Assoziationsdefizithypothese: Paarassoziationslernen	134
3.3.2.5	Assoziationsdefizithypothese: Assoziativer Rekognitionstest	136
3.4	Zusammenfassung und Kurzinterpretation der Ergebnisse	137
<b>4</b>	<b>Einbezug einer passiven Kontrollgruppe</b>	<b>139</b>
4.1	Hypothesen unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	139
<b>4.2</b>	<b>Methode unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe</b>	<b>139</b>
4.2.1	Stichprobe der passiven Kontrollgruppe und Datenerhebung	141
4.2.2	Statistische Datenanalyse unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	142
<b>4.3</b>	<b>Ergebnisse unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe</b>	<b>142</b>
4.3.1	Placebokontrolle bei der passiven Kontrollgruppe	142

4.3.2	Analyse des nahen Transfers – Aufgabenwechsel unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	143
4.3.3	Stroop-Test unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	150
4.3.4	ANT unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	153
4.3.5	Change Detection unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	160
4.3.6	Assoziationsdefizithypothese: Paarassoziationslernen unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	165
4.3.7	Assoziationsdefizithypothese: Assoziativer Rekognitionstest unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	167
4.4	Zusammenfassung und kurze Interpretation der Ergebnisse des Einbezugs der passiven Kontrollgruppe	169
<b>5</b>	<b>Reanalyse nach Mediansplit</b>	<b>170</b>
<b>5.1</b>	<b>Theoretischer Hintergrund zum Mediansplit</b>	<b>170</b>
5.2	Hypothesen zum Mediansplit	171
<b>5.3</b>	<b>Methodik zum Mediansplit</b>	<b>171</b>
5.4	Analyse des Trainings nach Mediansplit	175
5.5	Analyse des nahen Transfers nach Mediansplit	179
5.6	Analyse des fernen Transfers nach Mediansplit	184
5.7	Ermittlung des Zusammenhanges zwischen den getesteten kognitiven Funktionen	184
<b>6</b>	<b>Generelle Diskussion</b>	<b>186</b>
6.1	Diskussion des Trainings	190
6.2	Diskussion des nahen Transfers	198
6.3	Diskussion des fernen Transfers	203
<b>7</b>	<b>Fazit</b>	<b>208</b>
<b>8</b>	<b>Ausblick</b>	<b>210</b>
	Literatur	213
	Anhang	229

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Titel	Seite
Abbildung 1	Grafische Darstellung der Hypothesen	59
Abbildung 2	Schematischer Versuchsablauf	63
Abbildung 3	Trialablauf im inhibitionsfokussierten Cued-TS-Training	70
Abbildung 4	Trialablauf im geschwindigkeitsfokussierten Cued-TS-Training	72
Abbildung 5	Trialablauf im Cued-TS-Transfertest	74
Abbildung 6	Übungstrials des Stroop-Tests	75
Abbildung 7	Trialablauf des Stroop-Tests	76
Abbildung 8	Trialablauf des Aufmerksamkeits-Netzwerk-Tests	78
Abbildung 9	Trialablauf im Change Detection ohne Filter	81
Abbildung 10	Trialablauf im Change Detection mit Filter	82
Abbildung 11	Trialablauf im Paarassoziationslernen	84
Abbildung 12	Trialablauf des assoziativen Rekognitionstests	87
Abbildung 13	Verlauf der Wechselkosten (RT) über die Trainingssitzungen	95
Abbildung 14	Reaktionszeiten der Wiederholungs- und Wechseltrials im Training	96
Abbildung 15	Genauigkeit der Wiederholungs- und Wechseltrials im Training	101
Abbildung 16	Verlauf der Wechselkosten (Acc) über die Trainingssitzungen	103
Abbildung 17	Verlauf der Wechselkosten über die Trainingsstufen	105
Abbildung 18	Genauigkeit der Wiederholungs- und Wechseltrials in den Distraktorstärken über die Trainingssitzungen	108
Abbildung 19	Reaktionszeiten der Wiederholungs- und Wechseltrials in den Distraktorstärken über die Trainingssitzungen	109
Abbildung 20	Cued-TS-Transfertest: Wechselkosten im Prä- und Posttest (RT)	113
Abbildung 21	Cued-TS-Transfertest: Reaktionszeiten in den Wiederholungs- und Wechseltrials	114
Abbildung 22	Cued-TS-Transfertest: Genauigkeit in den Wiederholungs- und Wechseltrials	116
Abbildung 23	Cued-TS-Transfertest: Wechselkosten im Prä- und Posttest (Acc)	116
Abbildung 24	Cued-TS-Transfertest: Wiederholungstrials und -blöcke	117
Abbildung 25	Cued-TS-Transfertest: Mixingkosten im Prä- und Posttest	118
Abbildung 26	Stroop-Test: Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Trialtypen	122
Abbildung 27	Stroop-Test: Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe beim Stroop-Effekt	123
Abbildung 28	ANT: Aufmerksamkeitsnetzwerke	126
Abbildung 29	ANT: Interaktion von Testzeitpunkt, Cuetyphen und Gruppen	128
Abbildung 30	ANT: Interaktion von Testzeitpunkt, Flankertypen und Gruppen	129
Abbildung 31	Change Detection ohne Filter: Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Setgrößen beim K-Wert	130



---

Abbildung 32	Change Detection ohne Filter: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei K-Max	131
Abbildung 33	Change Detection mit Filter: Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Settypen beim K-Wert	133
Abbildung 34	Change Detection mit Filter: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei unnötiger Speicherung	134
Abbildung 35	Paarassoziationslernen: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei der Gesamtzahl memorierter Stimuli	135
Abbildung 36	Assoziativer Rekognitionstest: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt beim PR-Maß	137
Abbildung 37	Cued-TS-Transfertest: Reaktionszeit in den Wiederholungs- und Wechseltrials der drei Gruppen	145
Abbildung 38	Cued-TS-Transfertest: Genauigkeit in den Wiederholungs- und Wechseltrials der drei Gruppen	147
Abbildung 39	Cued-TS-Transfertest: Reaktionszeit und Genauigkeit in den Wiederholungsblöcken und Wiederholungstrials unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	149
Abbildung 40	Stroop-Test: Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Trialtypen bei Einbezug der passiven Kontrollgruppe	152
Abbildung 41	ANT: Aufmerksamkeitsnetzwerke bei drei Gruppen	155
Abbildung 42	ANT: Interaktion von Testzeitpunkt, Cuetyphen und Gruppe unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	158
Abbildung 43	ANT: Interaktion von Testzeitpunkt, Flankertypen und Gruppen unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	159
Abbildung 44	Change Detection ohne Filter: Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Setgrößen beim K-Wert unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	161
Abbildung 45	Change Detection ohne Filter: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei K-Max unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	162
Abbildung 46	Change Detection mit Filter: Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Settypen beim K-Wert	164
Abbildung 47	Change Detection mit Filter: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei unnötiger Speicherung unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	165
Abbildung 48	Paarassoziationslernen: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei der Gesamtzahl memorierter Stimuli unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	167
Abbildung 49	Assoziativer Rekognitionstest: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt beim PR-Maß unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	168
Abbildung 50	Mediansplit: Aufteilung der Versuchsteilnehmenden in Leistungsstarke und Leistungsschwache	174
Abbildung 51	Mediansplit des Trainings: Interaktion von Trainingssitzung und Gruppe	179
Abbildung 52	Mediansplit: Wiederholungs- und Wechseltrials im Cued-TS-Transfertest (hoch und gering Leistende)	182
Abbildung 53	Möglicher Zusammenhang von Distraktorstärken, Vorbereitungseffekten und Inhibition im inhibitionsfokussierten Training	201

---

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle</b>	<b>Titel</b>	<b>Seite</b>
Tabelle 1	Punktetabelle inhibitionsfokussiertes Aufgabenwechseltraining	68
Tabelle 2	Punktetabelle reaktionsgeschwindigkeitsfokussiertes Aufgabenwechseltraining	71
Tabelle 3	Stimuluspositionen im Change Detection	80
Tabelle 4	Stimuluspositionen im Paarassoziationslernen	85
Tabelle 5	Interpretation des Bayes-Faktors $B_{10}$	91
Tabelle 6	Reaktionszeiten der Wiederholungs- und Wechseltrials im Training	97
Tabelle 7	Reaktionszeit-Analyse des Trainings unter Einbezug der Trialtypen	98
Tabelle 8	Genauigkeits-Analyse des Trainings unter Einbezug der Trialtypen	100
Tabelle 9	Genauigkeit der Wiederholungs- und Wechseltrials im Training	102
Tabelle 10	Analyse der SC in den Schwierigkeitsgraden	104
Tabelle 11	Wechselkosten in den Schwierigkeitsgraden	104
Tabelle 12	Analyse der Distraktorstärken unter Einbezug der Trialtypen	107
Tabelle 13	MW und SD der Reaktionszeiten und Genauigkeit der drei Distraktorstärken in den 12 Trainingssitzungen	110
Tabelle 14	Cued-TS-Transfertest: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest	112
Tabelle 15	Analyse des Cued-TS-Transfertests (AV: RT) unter Einbezug der Trialtypen	113
Tabelle 16	Cued-TS-Transfertest: Reaktionszeiten der Gruppen nach den Trialtypen	113
Tabelle 17	Analyse des Cued-TS-Transfertests (AV: Acc) unter Einbezug der Trialtypen	115
Tabelle 18	Cued-TS-Transfertest: Genauigkeit der Gruppen nach den Trialtypen	115
Tabelle 19	Cued-TS-Transfertest: RT und Acc der Wiederholungstrials und des Wiederholungsblocks	117
Tabelle 20	Cued-TS-Transfertest: Analyse der Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Wiederholungsblock/-trial	119
Tabelle 21	Stroop-Test: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest	120
Tabelle 22	Stroop-Test: Analyse der Trialtypen (RT und Acc)	121
Tabelle 23	Stroop-Test: Reaktionszeiten und Genauigkeiten der Trialtypen im Stroop-Effekt	122
Tabelle 24	ANT: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest	124
Tabelle 25	ANT: Analyse der Netzwerkeffekte	125
Tabelle 26	ANT: Reaktionszeiten in den Aufmerksamkeitsnetzwerken	125
Tabelle 27	ANT: Analyse der Cue- und Flankertypen	127
Tabelle 28	ANT: Reaktionszeiten in den Cue- und Flankertypen	128
Tabelle 29	Change Detection: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest	129
Tabelle 30	Change Detection ohne Filter: Analyse des K-Wertes pro Setgröße	130

Tabelle 31	Change Detection ohne Filter: K-Werte der unterschiedlichen Setgrößen.	131
Tabelle 32	Change Detection ohne Filter: K-Max im Prä- und Posttest der beiden aktiven Gruppen	131
Tabelle 33	Change Detection ohne Filter: Analyse von K-Max	132
Tabelle 34	Change Detection mit Filter: Analyse des K-Wertes pro Settyp	132
Tabelle 35	Change Detection mit Filter: Analyse der unnötigen Speicherung	133
Tabelle 36	Change Detection mit Filter: K-Werte der unterschiedlichen Settypen sowie der unnötigen Speicherung	133
Tabelle 37	Paarassoziationslernen: Analyse der maximal memorierten Stimuli	135
Tabelle 38	Assoziativer Rekognitionstest: Analyse des PR-Maßes	136
Tabelle 39	Cued-TS-Transfertest (3 Gruppen): Vergleich der kritischen Faktoren im Prätest	143
Tabelle 40	Cued-TS-Transfertest: Reaktionszeiten der passiven Kontrollgruppe nach den Trialtypen	144
Tabelle 41	Analyse des Cued-TS- Transfertests (AV: RT) bei drei Gruppen	144
Tabelle 42	Analyse des Cued-TS-Transfertests (AV: Acc) bei drei Gruppen	146
Tabelle 43	Cued-TS-Transfertest: Genauigkeit der passiven Kontrollgruppe nach den Trialtypen	146
Tabelle 44	Cued-TS-Transfertest: Analyse der Wiederholungsblöcke und Wiederholungstrials (RT und Acc)	148
Tabelle 45	Cued-TS-Transfertest: Reaktionszeit und Genauigkeit in Wiederholungsblöcken und Wiederholungstrials der passiven Kontrollgruppe	148
Tabelle 46	Stroop-Test: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest (3 Gruppen)	150
Tabelle 47	Stroop-Test: Reaktionszeiten und Genauigkeiten der Trialtypen bei der passiven Kontrollgruppe	151
Tabelle 48	Stroop-Test: Analyse der Trialtypen unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	151
Tabelle 49	ANT: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest (3 Gruppen)	153
Tabelle 50	ANT: Reaktionszeiten der passiven Kontrollgruppe in den Aufmerksamkeitsnetzwerken	154
Tabelle 51	ANT: Analyse der Netzwerkeffekte unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	154
Tabelle 52	ANT: Analyse von Cue- und Flankertypen unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	156
Tabelle 53	ANT: Mittelwerte und Standardabweichung der Cue- und Flankertypen bei der passiven Kontrollgruppe	157
Tabelle 54	Change Detection: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest (3 Gruppen)	160
Tabelle 55	Change Detection ohne Filter: K-Werte der unterschiedlichen Setgrößen bei der passiven Kontrollgruppe	160
Tabelle 56	Change Detection ohne Filter: Analyse des K-Wertes pro Setgröße unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	161

Tabelle 57	Change Detection mit Filter: K-Werte der unterschiedlichen Settypen sowie der unnötigen Speicherung bei der passiven Kontrollgruppe	163
Tabelle 58	Change Detection mit Filter: Analyse des K-Wertes pro Settyp sowie der unnötigen Speicherung unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	163
Tabelle 59	Paarassoziationslernen: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest (3 Gruppen)	165
Tabelle 60	Paarassoziationslernen: Analyse der maximal memorierten Stimuli unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	166
Tabelle 61	Assoziativer Rekognitionstest: Analyse des PR-Maßes unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe	168
Tabelle 62	Mediansplit: Vergleich relevanter Merkmale des Aufgabenwechsels im Prätest (6 Gruppen)	173
Tabelle 63	Mediansplit: Analyse des Trainings	176
Tabelle 64	Mediansplit des Trainings: Wechselkosten	177
Tabelle 65	Mediansplit des Trainings: Trialtypen	178
Tabelle 66	Mediansplit: Wechselkosten im Cued-TS-Transfertest	180
Tabelle 67	Mediansplit: Analyse der Trialtypen im Cued-TS-Transfertest	181
Tabelle 68	Mediansplit: Wiederholungs- und Wechseltrials im Cued-TS-Transfertest	181
Tabelle 69	Mediansplit: Mixingkosten im Cued-TS-Transfertest	182
Tabelle 70	Mediansplit: Wiederholungstrials und Wiederholungsblöcke im Cued-TS-Transfertest	183
Tabelle 71	Mediansplit: Analyse der Blocktypen im Cued-TS-Transfertest	183
Tabelle 72	Mediansplit: Analysen der Prätests	185
Tabelle 73	Ergebnisübersicht für die gesamte Arbeit	188

## Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
$\eta_p^2$	partielles eta Quadrat (Effektstärke der Varianzanalyse)
Acc	Genauigkeit
AD	Assoziationsdefizit
ADH	Assoziationsdefizithypothese
ANOVA	Varianzanalyse
ANT	Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test
AR-TS	Alternating-Runs-Aufgabenwechseln
ARK	Assoziativer Rekognitionstest
AV	Abhängige Variable
$B_{10}$	Bayes-Faktor für die Wahrscheinlichkeit des gemessenen Ergebnisses unter der Bedingung, dass $H_1$ gelte und der Wahrscheinlichkeit des gemessenen Ergebnisses unter der Bedingung, dass $H_0$ gelte
$B_{inkl}$	Bayes-Faktor für den Einschluss einer Variablen ins Modell
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
CI	Konfidenzintervall
CSI	Cue-Stimulus-Intervall
CTI	Cue-Ziel-Intervall
Cue	Hinweisreiz
Cued-TS	Cued-Aufgabenwechseln
ebd.	ebendies
et al.	Et alteri, und andere
$H_0$	Nullhypothese
$H_1$	Alternativhypothese
IES	Inverse Efficiency Score (Maß zur Ermittlung des Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleiches)
ITI	Inter-Trial-Intervall
Kap.	Kapitel
MC	Mixingkosten

MW	Mittelwert
ms	Millisekunden
p	Wahrscheinlichkeit unter der Annahme, dass die Nullhypothese wahr ist
PAL	Paarassoziationslernen
r	Pearson-Produkt-Moment-Korrelation
RCI	Reaktions-Cue-Intervall
RGB	Rot-Grün-Blau-System zur Farbrepräsentation
RT	Reaktionszeit(en)
SC	Wechselkosten
SD	Standardabweichung
s. o.	siehe oben
u. a.	unter anderem
z. B.	zum Beispiel

## **Zusammenfassung**

Mit steigendem Lebensalter scheint die kognitive Leistungsfähigkeit stark abzunehmen. Eine Erklärung hierfür bietet die Inhibitionsdefizithypothese. Diese beschreibt die altersbedingte Abnahme der Inhibitionsfähigkeit, also der Fähigkeit zur Unterdrückung irrelevanter Reize und Informationen als einen zentralen Faktor der alterskorrelierten Abnahme kognitiver Leistungsfähigkeit. Einige Studien konnten eine Verbesserung der kognitiven Leistungsfähigkeit durch das Training exekutiver Funktionen wie z. B. der Aktualisierung von Arbeitsgedächtnisinhalten, der kognitiven Flexibilität oder der Inhibition irrelevanter Reize und Informationen zeigen, die über die Verbesserung der eigentlich trainierten Aufgabe hinausgehen. Dies wird als „Transfer“ bezeichnet. Diese Ergebnisse sind jedoch sehr umstritten und einige Autoren scheinen davon auszugehen, dass kein solcher Transfer durch Training erzielt werden kann und stattdessen nur eine Expertise für die Verarbeitung der trainierten Aufgabe aufgebaut wird. In dieser Arbeit wurde, ausgehend von der Inhibitionsdefizithypothese angenommen, dass durch Training der Inhibitionsfähigkeit bei Seniorinnen und Senioren ein Transfer erzielt werden kann.

Trainiert wurde in einem Aufgabenwechselparadigma („Task-Switching“), mit Fokus auf Inhibitionsmechanismen für die Experimentalgruppe und mit Fokus auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit für die aktive Kontrollgruppe. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit ist ein weiterer in der Literatur diskutierter zentraler Faktor für altersbedingte Leistungsabnahmen. In einer zusätzlichen Erhebung wurde eine passive Kontrollgruppe erhoben, die lediglich eine kurze Psychoedukation zum kognitiven Altern erhielt. Hypothesengeleitet wurde für die Experimentalgruppe ein stärkerer Transfer auf Aufmerksamkeits- und Gedächtnisaufgaben sowie eine andere Aufgabenwechsellaufgabe erwartet. Um neben der Hypothese eines Transfers auch Aussagen über einen möglichen Expertiseaufbau treffen zu können, wurden neben klassischen statistischen Analysen auch Methoden der Bayes-Statistik verwendet.

Es konnten Verbesserungen in den trainierten Aufgaben erzielt werden. Es zeigte jedoch nur die aktive Kontrollgruppe einen Transfer der im Training verbesserten Reaktionszeiten auch auf nicht trainierte Aufgaben. Die Ergebnisse wurden im Hinblick auf den Aufbau einer Expertise für die Trainingsaufgabe im Gegensatz zu einer Kapazitätssteigerung durch Plastizität diskutiert.

**Schlagwörter:** Altern; Inhibition; Kognitives Training; Transfer; Bayes-Statistik

## Einleitung

Die Lebenserwartung in Deutschland ist über die letzten Jahrzehnte stark angestiegen (Bundesministerium für Arbeit und Soziales). Auch die Altersstruktur in Deutschland scheint sich sehr zu verändern. Laut Prognosen des Statistischen Bundesamtes werde bis 2035 die Anzahl über 67-jähriger Menschen um 22 % ansteigen (Statistisches Bundesamt, 2021). Viele Seniorinnen und Senioren berichten von subjektiven kognitiven Leistungseinbrüchen mit zunehmendem Alter und viele Studien belegen auch tatsächlich eine Abnahme kognitiver Funktionen mit steigendem Alter (z. B.: Salthouse & Czaja, 2000; Bonsang et al., 2012; Mazzonna & Peracchi, 2012; La Fleur et al., 2018).

Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass viele Menschen zu kommerziellen kognitiven Trainingsprogrammen greifen, um ihre kognitive Leistungsfähigkeit zu verbessern (Delius & Lindenberger, 2014). Die Wirksamkeit dieser Trainingsprogramme erscheint jedoch sehr umstritten (Delius & Lindenberger, 2014; Simons et al., 2016). Oft werde nur die Leistung in der Trainingsaufgabe verbessert. Es gebe jedoch oft keinen Transfer bezogen auf Leistungen in anderen Aufgaben oder im Alltag (z. B. Owen et al., 2010; Delius & Lindenberger, 2014; Simons et al., 2016).

Die geringe Evidenz für die Wirksamkeit von kognitiven Trainingsprogrammen veranlasste eine Gruppe führender Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus den Kognitions- und Neurowissenschaften, initiiert vom *Stanford Center of Longevity* und dem *Max-Planck-Institut für Bildungsforschung* (Delius & Lindenberger, 2014), dazu, eine gemeinsame Erklärung zu verfassen, in welcher sie die Wirksamkeit von „Gehirnjogging“ anzweifelten. Sie kritisierten u. a., dass viele Anbieter kommerzieller Trainingsprodukte damit werben würden, dass die Wirksamkeit der Produkte wissenschaftlich belegt sei, was oft nicht zutrefte. Zudem kritisierten sie, dass ein Training nicht nur zu Verbesserungen in der trainierten Aufgabe führen solle, sondern auch die Funktionen in anderen, nicht trainierten Aufgaben verbessern sollte, was ein selten erreichtes Kriterium sei.

In einer Antwort auf diese Erklärung (Merzenich et al., 2014), gaben einige andere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an, dass sie vielen Punkten aus obiger Erklärung zustimmen oder teilweise zustimmen würden. Aber sie stimmten nicht dem Zitat ““there is no compelling scientific evidence” that brain exercises “offer consumers a scientifically grounded avenue to reduce or reverse cognitive decline.”” zu. Sie



geben an, dass es sehr wohl Evidenz für die Wirksamkeit kognitiven Trainings geben würde.

Diese Kontroverse veranlasste Simons und Kollegium (2016) zu einer Übersichtsarbeit („Review“) zur Wirksamkeit von kognitiven Trainingsprogrammen. Sie beschreiben, umfassende Evidenz dafür gefunden zu haben, dass kognitives Training die Leistung in der trainierten Aufgabe verbessere. Weniger Evidenz gebe es dafür, dass Training die Leistung in ähnlichen Aufgaben verbessere und kaum Evidenz dafür, dass Training Leistungen in unähnlichen Aufgaben verbessern oder sogar einen Alltags-transfer erzielen könnte.

Unter anderem Strong und Alvarez (2017) vermuten dazu, dass durch Training eher die Expertisen für die Trainingsaufgaben verbessert würden, sodass ein Training nicht zu Verbesserungen in zu unähnlichen, anderen Aufgaben führen könnte.

In Bezug auf das kognitive Altern gibt es die Vermutung, dass prozessbasiertes Training einer kognitiven Funktion, welche als „kognitiver Generalfaktor“ an der altersbedingten Abnahme anderer kognitiver Funktionen beteiligt ist, auch zu einer Verbesserung in anderen Aufgaben als der trainierten führen könnte (z. B. Salthouse, 1996; Salthouse, 2000; Lustig, Hasher & Zacks, 2007; Karbach & Kray, 2009; Anguera et al., 2013). Beispielsweise konnten durch das Training exekutiver Funktionen (z.B. Karbach & Kray, 2009; Anguera et al., 2013; Au et al., 2015; Gaál & Czigler, 2018), in der Regel Arbeitsgedächtnis oder kognitive Flexibilität, auch die Leistungen in anderen, zur Trainingsaufgabe ähnlichen oder unähnlicheren Aufgaben verbessert werden. In ähnlichen Aufgaben würde bspw. das trainierte Paradigma mit geringen Modifikationen dargeboten und in unähnlicheren Aufgaben ein anderes Paradigma, in dem ähnliche Funktionen genutzt würden. Allerdings gab es auch Studien, die keine Verbesserungen in anderen, unähnlichen Aufgaben durch Training exekutiver Funktionen zeigen konnten (z. B. Dougherty, Hamovitz & Tidwell, 2016; Kray & Fehér, 2017). Einige Hypothesen zum Altern nehmen an, dass Altern durch eine Abnahme der Inhibitionsfähigkeit mediiert werden könnte, welche an vielen Aufgaben oder Trainingsprogrammen beteiligt sein sollte. Somit könnten Trainingsfortschritte auch auf eine Verbesserung der Inhibitionsfähigkeit zurückgeführt werden. Die Inhibitionsfähigkeit wurde entgegen den beiden oben genannten exekutiven Funktionen nur selten gezielt trainiert (aktuelle Übersichtsarbeit: Nguyen, Murphy & Andrews, 2019).

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zu der Frage liefern, ob und wie kognitive Trainingsprogramme im höheren Alter wirken. Hierzu wird theoriegeleitet die Inhibitionsfähigkeit als ein Generalfaktor des kognitiven Alterns angenommen. Oft wurde gezeigt, dass ein anderer diskutierter Generalfaktor, die Verarbeitungsgeschwindigkeit, zu einer Verbesserung in anderen Geschwindigkeitsaufgaben führt, aber nicht zu Verbesserungen in von der kognitiven Funktion her zur trainierten Aufgabe unähnlichen Aufgaben. Das Training dieser Funktion soll hier als Kontrolltraining dienen. Es soll also untersucht werden, ob und wie durch ein Training der Inhibitionsfähigkeit Verbesserungen in anderen kognitiven Funktionen erzielt werden könnten.

Weil die Effekte des kognitiven Trainings sehr umstritten sind, ist es möglich, dass auch das Training der Inhibitionsfähigkeit nicht zu einer Verbesserung in zum Training ähnlichen oder unähnlichen Aufgaben führen wird. Aus diesem Grunde wurden die nicht trainierten Aufgaben so konzipiert, dass die Ergebnisse in Bezug auf einen Expertiseaufbau diskutiert werden könnten. Im Falle einer fehlenden Verbesserung in anderen Aufgaben könnten so Aussagen über die Mechanismen des Trainingsprozesses getroffen werden, die zu einem geringen Transfer auf andere Aufgaben durch Training führen.

Zunächst wird in den nachfolgenden Ausführungen der aktuelle Forschungsstand zum kognitiven Altern dargestellt und die Inhibitionsfähigkeit als Generalfaktor des kognitiven Alterns eingeführt. Daraufhin wird die aktuelle Literatur zum kognitiven Training eingeordnet und das Aufgabenwechseltraining als ein Training vorgestellt, welches an ein Training von Inhibitionsmechanismen angepasst werden könnte. Anschließend wird hergeleitet, wie und warum das inhibitionsfokussierte Aufgabenwechseltraining zu Verbesserungen in anderen kognitiven Funktionen (z. B. Aufmerksamkeit und Gedächtnis) führen könnte. Das Kapitel endet mit der Herleitung der Hypothesen. Es folgen die Beschreibung der Experimentalprogramme und die Darstellung der Ergebnisse der ersten Erhebung. Darauf folgt die Herleitung und Darstellung von Folgeerhebungen und Folgeanalysen. Im letzten Kapitel werden die gesamten Ergebnisse in die bestehende Literatur eingeordnet und diskutiert. Die Arbeit schließt mit einer Schlussfolgerung und einem Ausblick.

# 1 Theoretischer Hintergrund

Der Begriff „Alter“ scheint in der Literatur zur kognitiven Gerontopsychologie nicht einheitlich definiert zu sein. So erstreckt sich die Definition der Altersgrenze diverser Studien zum Altern zwischen teilweise 55 Jahren bis über 70 Jahre und auch die oft vorgebrachte Kategorisierung von jungen-alten, mittleren-alten sowie alt-alten Menschen erscheint uneinheitlich (z. B.: Sullivan, 1999; Garfein & Herzog, 1995; Wright & Holliday, 2007; Navarro & Calero, 2018; Kvavilashvili et al., 2009; Heinzl et al., 2014; Karbach & Kray, 2009; Zhou et al., 2011; Mathewson et al., 2010). Generell scheinen Alterungsprozesse auf neuronaler und kognitiver Ebene schon nach dem 20. Lebensjahr zu beginnen (z. B.: Allen et al., 2005; Salthouse, 2011; Dempster, 1992; Salthouse, 2009). Auch wenn Altern möglicherweise ein linearer Prozess sein könnte (Anguera et al., 2013; La Fleur, Meyer & Dodson, 2018) oder, nach Salthouse (2009), viele Studien Alterungsprozesse ab dem 60. Lebensjahr beschrieben, so scheinen signifikante Einbrüche der Leistungsfähigkeit besonders mit dem Eintritt ins Rentenalter aufzutreten (Bonsang et al., 2012; Mazzonna & Peracchi, 2012).

Da aber beispielsweise Salthouse (2009) angibt, dass Alterungsprozesse ab dem 60. Lebensjahr beschleunigt würden, und dies als häufige Altersgrenze in Studien zum kognitiven Altern genutzt wird, sollen in dieser Arbeit Menschen ab dem 60. Lebensjahr als ältere Erwachsene oder Seniorinnen und Senioren definiert werden. Es wird angenommen, dass kognitives Training ab dieser Altersgrenze besonders wirksam sein könnte (z. B. Karbach und Kray, 2009; Karbach, Könen & Spengler, 2017).

## 1.1 Kognitives Altern – Prozessspezifische Abnahmen oder Dedifferenzierung?

Wie genau der Alterungsprozess gestaltet ist, und worauf Unterschiede in kognitiven Prozessen zwischen jüngeren und älteren Menschen beruhen, scheint in der Forschung noch sehr umstritten. Zelinski und Lewis (2003) geben eine Übersicht über drei, in der Forschung zu kognitiven Alterungsprozessen diskutierten Ansätzen: Den Differenzierungsannahmen, den Erklärungsansätzen über prozessspezifische Veränderungen sowie zu den Dedifferenzierungsannahmen. Die Differenzierungsannahmen gehen auf Rabbitt (1993) zurück und es wird davon ausgegangen, dass sich kognitive Funktionen mit zunehmendem Alter weiter ausdifferenzieren. Altern führe zu einer verringerten Korrelation zwischen verschiedenen Variablen wie kognitiven Funktionen und zu

höherer Varianz in der Population der Seniorinnen und Senioren. Diese seien unter anderem durch interindividuelle Lebensunterschiede wie Alterserkrankungen oder Veränderungen der sozialen Lebensbedingungen begründet. Generelle Abnahmen in kognitiven Funktionen und neuronale Veränderungen seien nach den Differenzierungsannahmen nicht ausreichend, um Alterungsprozesse zu erklären.

Differenzierungsannahmen stellen also interindividuelle Unterschiede in den Vordergrund der Erklärung alterskorrelierter kognitiver Leistungsabnahmen. Im Gegensatz dazu stellen Annahmen zu prozessspezifischen Veränderungen und Dedifferenzierungsprozessen allen Menschen gemeine Prozesse in den Vordergrund.

Annahmen zu prozessspezifischen Veränderungen (z. B. Zelinski et al., 1993; Sliwinski, 1997; Allen et al., 2001; Park et al., 2002; Zelinski & Lewis, 2003; Salami, Eriksson & Nyberg, 2012; Spreng, Shoemaker & Turner, 2017) gehen davon aus, dass diverse kognitive Prozesse unterschiedlich durch Alterungsprozesse beeinflusst werden. Evidenz für diese Annahme bieten unter anderen Zelinski und Lewis (2003) in oben zitierter Längsschnittstudie, die nach einer Faktorenanalyse davon ausgehen, dass die von ihnen erhobenen behavioralen Daten am besten durch eine prozessspezifische Abnahme erklärbar seien.

Andere Autoren geben zum Beispiel Evidenz für eine prozessspezifische, voneinander unabhängige Veränderung neuronaler Korrelate von Gedächtniskodierung und kognitiver Kontrolle (Salami, Eriksson & Nyberg, 2012). Die Autoren beschreiben ein „prozessgenerelles“, eher exekutives Netzwerk und ein „prozessspezifisches“ Enkodierungsnetzwerk. Das „prozessgenerelle“ Netzwerk werde bei Gedächtnisaufgaben von Senioren stärker rekrutiert als von jungen Erwachsenen und das „prozessspezifische“ Netzwerk geringer. Zudem werde, je geringer die Aktivierung im „prozessspezifischen“ Netzwerk ist, das „prozessgenerelle“ Netzwerk stärker aktiviert.

Auch Spreng, Shoemaker und Turner (2017) geben nach einer Metaanalyse Evidenz für eine „prozessspezifische“ Veränderung mit steigendem Alter. Sie berichten, dass funktionale Netzwerke exekutiver Funktionen räumlich-funktional mit denen jüngerer Menschen übereinstimmen. Jedoch steige die Aktivierung in diesen Netzwerken bei der Bearbeitung „prozessspezifischer“ Aufgaben, was auf größere Defizite in den, diesen Netzwerken unterliegenden Funktionen hinweise, und somit für eine prozessspezifische Abnahme spreche.

Ähnlich wie in Annahmen zu prozessspezifischen Veränderungen wird in Dedifferenzierungsannahmen argumentiert. Sie nehmen jedoch eher einen globalen Faktor an, der für die Abnahmen kognitiver Funktionen mit steigendem Alter verantwortlich sei (Zelinski & Lewis, 2003). Die Dedifferenzierungsannahmen (z. B. Salthouse & Czaja, 2000; Reischies & Lindenberger, 2010; La Fleur et al., 2018; Rieck et al., 2021) gehen von einer Differenzierung kognitiver Funktionen während der kognitiven Entwicklung von Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen aus. Mit fortschreitendem Lebensalter werde dieser Prozess jedoch umgekehrt und es komme zu einer erhöhten Interkorrelation zwischen kognitiven Funktionen. Dieser Effekt trete auf, wenn die Effizienz eines kognitiven Generalfaktors, der an anderen kognitiven Funktionen zentral beteiligt ist, gering ausfällt (Deary et al., 1996; Zelinski & Lewis, 2003).

Salthouse und Czaja (2000) untersuchten die Passung von Datensets, die Altern in verschiedenen kognitiven Funktionen abdecken, zu vier verschiedenen Strukturgleichungsmodellen (Funktionen sind komplett unabhängig voneinander; ein gemeinsamer Faktor; mehrere unabhängige Faktoren; hierarchisches Modell). Die beste Modellpassung ergab sich für das hierarchische Modell, in dem Altern einen zentralen Faktor beeinflusst, der wiederum auf Faktoren einwirkt, was für die Dedifferenzierungsannahme spricht. Weitere Evidenz lieferten Daten der Berliner Altersstudie (Reischies & Lindenberger, 2010), nach denen die Leistung in 14 kognitiven Tests, welche den fünf Funktionen „Denkfähigkeit, Wahrnehmungsgeschwindigkeit, Gedächtnis, Wissen und Wortflüssigkeit“ zugeordnet wurden, eine lineare Abnahme mit steigendem Alter zeigten und im Vergleich zu Jüngeren miteinander korreliert waren. Die Autoren nahmen einen kognitiven Generalfaktor der Intelligenz an, der für individuelle Leistungsunterschiede verantwortlich gemacht wurde.

Auf neuronaler Ebene zeigte zum Beispiel Goh (2011) eine funktionale Dedifferenzierung neuronaler Korrelate kognitiver Funktionen mit steigendem Alter. So erscheinen Gehirnregionen, die im jungen Alter spezifisch bei bestimmten Funktionen erhöhte Aktivität zeigen, mit steigendem Alter weniger spezialisiert und zeigen häufiger gleichzeitige Aktivität. In der Regel würden regionale Aktivitätsabnahmen bei Seniorinnen und Senioren durch die Rekrutierung frontaler Regionen kompensiert (ebd.). Eine Übersicht zu neuronaler Dedifferenzierung mit steigendem Alter geben Rieck und Kollegium (2021) oder Grady (2012). Zusammenfassend zeigt Grady (2012)

Übersicht, dass bei jungen Menschen die neuronale Aktivierung eher spezifischer erscheint und bei Senioren und Seniorinnen diese Spezifität abnimmt.

Ob Dedifferenzierungsprozesse mit steigendem Alter eher linear oder eher quadratisch verlaufen, scheint umstritten (La Fleur et al., 2018). La Fleur und Kollegium (ebd.) geben an, dass die Dedifferenzierung ein linearer Prozess sei und sie in ihrer Metaanalyse keine quadratischen Muster haben finden können. Dass andere Untersuchungen (z. B. de Frias et al., 2007) Dedifferenzierungsprozesse erst mit erhöhtem Alter (> 65 Jahre) feststellten, führten La Fleur und Kollegium (2018) auf, in diesen Studien, trotz Kontrolle, nicht entdeckte Alterserkrankungen zurück.

Zusammenfassend scheint für alle drei Annahmen empirische Evidenz zu bestehen. So scheinen soziale Einflüsse wie die Berentung einen Einfluss auf die kognitive Leistung bei Senioren und Seniorinnen zu haben (Bonsang et al., 2012; Mazzonna & Peracchi, 2012), was die Differenzierungsannahmen unterstützt. Für prozessspezifische Veränderungen spricht, dass prozessspezifische neuronale Korrelate bis ins hohe Alter erhalten bleiben (Spreng et al., 2017), wobei Salami und Kollegium (2012) neben prozessspezifischen Veränderungen auch „prozessgenerelle“ Veränderungen annehmen, was in Kombination mit dem hierarchischen Modell nach Salthouse (2000) auch als Evidenz für Dedifferenzierungsannahmen gedeutet werden kann. Dagegen geben La Fleur und Kollegium (2018) an, dass ihre Daten zwar für eine Dedifferenzierung sprechen, aber die Effektstärke für den Einfluss des angenommenen Generalfaktors Verarbeitungsgeschwindigkeit auf die Funktionen mentale Transformation und Gedächtnis nur gering ausgeprägt waren. Wahrscheinlich besteht der Alterungsprozess aus prozessspezifischen Veränderungen sowie Differenzierungs- und Dedifferenzierungsprozessen.

Um einen Trainingseffekt, wie er zum Beispiel in Delius und Lindenberger (2014) gefordert wird, zu erzielen, bei dem durch das Training einer Funktion auch andere Funktionen verbessert werden, ist die Annahme und Identifikation eines kognitiven Generalfaktors hilfreich. Dies würde der Auffassung von Altern als einem Dedifferenzierungsprozess entsprechen. Sollte kognitives Altern nun zu großen Teilen durch die Abnahme eines kognitiven Generalfaktors bedingt sein, so würde es ausreichen, diesen zu trainieren, was zu Verbesserungen in anderen kognitiven Funktionen führen sollte (Salthouse & Czaja, 2000).

## **1.2 Kognitive Generalfaktoren des Alterns**

Als kognitiver Generalfaktor im Sinne der Dedifferenzierungshypothesen werden in der Literatur verschiedene Faktoren genannt. Dominierten früher ressourcenorientierte Erklärungsansätze (Craik, 1986; Craik & McDowd, 1987), bei denen davon ausgegangen wurde, dass die Anzahl zur Verfügung stehender (Aufmerksamkeits-)Ressourcen mit steigendem Alter abnimmt, so stünden heute eher Erklärungsansätze über Informationsverarbeitungsprozesse im Vordergrund (Friedman & Miyake, 2004). Beispiele hierfür sind die Verarbeitungsgeschwindigkeitstheorie des kognitiven Alterns („Processing-Speed-Theory“) (Salthouse, 1996) sowie die „Exekutive-Abnahme-Hypothese“ des kognitiven Alterns („Executive-Degeneration-Hypothesis“) (West, 1996; Crawford, Bryan, Luszcz, Obonsawin & Stewart, 2000; Ferrer-Caja, Crawford & Bryan, 2002). Diese beiden Ansätze dominierten die derzeitige Diskussion über kognitive Alterungsprozesse (Rush, Barch & Braver, 2006; Intozzi et al., 2020).

### **1.2.1 Verarbeitungsgeschwindigkeitstheorie des kognitiven Alterns**

Die Annahme einer Verringerung der Verarbeitungsgeschwindigkeit als primäre Ursache für kognitive Defizite mit steigendem Alter geht unter anderem auf Salthouse (1996) zurück. Als Verarbeitungsgeschwindigkeit definiert er die maximale Geschwindigkeit, mit der verschiedene kognitive Operationen ausgeführt werden können (ebd.). Dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit ein sehr schwach definiertes Konstrukt zu sein scheint, lässt sich unter anderem daran erkennen, dass viele verschiedene Möglichkeiten ihrer Messung existieren (Salthouse, 2000). Einige der berichteten Messungen sind die Entscheidungsgeschwindigkeit („decision speed“), die Wahrnehmungsgeschwindigkeit („perceptual speed“), die psychomotorische Geschwindigkeit („psychomotor speed“) oder die, laut Salthouse (ebd.) am häufigsten verwendete Operationalisierung als Messung der Reaktionsgeschwindigkeit („reaction time“) (ebd.).

In seiner Verarbeitungsgeschwindigkeitstheorie („Processing Speed Theory“) geht Salthouse (1996) davon aus, dass zwei Mechanismen am kognitiven Altern beteiligt seien, nämlich der „limited time mechanism“ und der „simultaneity mechanism“ (ebd.). Der „limited time mechanism“ besagt, dass relevante kognitive Operationen zu langsam bearbeitet würden, sodass sie in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht korrekt bearbeitet werden könnten. Somit könnten später auszuführende kognitive Operationen nicht mehr korrekt bearbeitet werden, da die zur Verfügung stehende Zeit für

vorherige Operationen genutzt werden musste. Dieser Mechanismus beeinträchtigt also vor allem Aufgaben, die in einer bestimmten Zeit zu bearbeiten sind. Der „simultaneity mechanism“ beschreibt, dass erarbeitete Prozesse früherer Verarbeitungsstufen verloren gingen und somit bei späteren Stufen nicht mehr zur Verfügung stünden. Dieses würde dazu führen, dass komplexere Aufgaben nicht adäquat bearbeitet werden könnten, weil Informationen nicht mehr simultan verarbeitet würden, da frühere Informationen nicht mehr zur Verfügung stünden.

Neuroanatomisch sei die Veränderung der Verarbeitungsgeschwindigkeit mit steigendem Alter mit Veränderungen in der Substantia alba korreliert, wobei die Evidenz hierfür jedoch gering ausfalle (Salthouse, 2011; Borghesani et al., 2013; Nilsson, Thomas, O'Brien & Gallagher, 2014). Zudem würden Personen mit geringer Verarbeitungsgeschwindigkeit, unabhängig des Alters, bei der Bearbeitung von Aufgaben eher präfrontale Bereiche rekrutieren und Personen mit hoher Verarbeitungsgeschwindigkeit eine höhere Interkonnektivität zwischen Gehirnbereichen aufweisen (Rypma et al., 2006). Dies könnte auf eine Dissoziation von Exekutivfunktionen und Verarbeitungsgeschwindigkeit hinweisen, sodass davon ausgegangen werden könnte, dass beide funktionell anatomisch getrennt sind und somit unterschiedlich durch Altern beeinflusst werden könnten, sich aber gegenseitig beeinflussen.

In einer Metaanalyse über 91 Studien zeigten Verhaeghen und Salthouse (1997), dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit einer der wichtigsten Mediatoren für Alterungseffekte sei. Sie geben an, dass zwischen 71 % und 79 % der altersbezogenen Varianz in kognitiven Aufgaben mit Verarbeitungsgeschwindigkeit assoziiert seien.

Weitere Evidenz für die Verarbeitungsgeschwindigkeit als kognitiven Generalfaktor des Alterns lieferten beispielsweise Bunce und Macready (2005). Sie manipulierten die Enkodierungszeit in einer Gedächtnisaufgabe für junge und ältere Erwachsene und bezogen Kontrollaufgaben für Verarbeitungsgeschwindigkeit und exekutive Funktionen mit in die Analyse ein. Sie zeigten, dass Exekutivfunktionen nur geringen Einfluss auf die Leistung in „Erinnern“ und „Wissen“ („remembering and knowing“) haben könnten und geben an, dass die Altersunterschiede am besten durch die verringerte Verarbeitungsgeschwindigkeit erklärt werden würden.

Lee und Kollegium (2012) untersuchten die medierenden Effekte der Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie der exekutiven Funktionen auf Alterungsprozesse in Bezug auf



das episodische Gedächtnis. Sie geben an, dass beide Faktoren den Alterungsprozess im episodischen Gedächtnis mediiieren, aber die Verarbeitungsgeschwindigkeit der bessere Prädiktor sei, was aber nicht die Rolle der exekutiven Funktionen negiere. Dies deutet jedoch auch darauf hin, dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit nicht der einzige Prädiktor für altersbedingte Unterschiede in kognitiven Funktionen sein könnte.

Evidenz dafür, dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit nicht als alleiniger Prädiktor für altersabhängige kognitive Leistungen gesehen werden sollte, geben unter anderem Rozas, Juncos-Rabadán und González (2008). Sie untersuchten die Passung diverser Strukturgleichungsmodelle zu ihren Daten, in denen sie den Einfluss des Alterns auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit, auf Inhibitionsmechanismen sowie auf die Aktualisierung von Arbeitsgedächtnisinhalten und untereinander modellierten. Ihre Stichprobe bestand aus 40- bis 91-jährigen Probanden und Probandinnen. Die beste Passung fanden sie für ein Modell, in dem die drei Faktoren unabhängig durch das Altern beeinflusst wurden und sich nur gering gegenseitig beeinflussten. Sie geben jedoch an, wenn es einen Generalfaktor für das kognitive Altern geben würde, dann würde dies ihrer Meinung nach die Verarbeitungsgeschwindigkeit sein, da die Daten am ehesten darauf hindeuten würden.

Auch die oben erwähnte Metaanalyse von La Fleur und Kollegium (2018) untersuchte den Einfluss der Verarbeitungsgeschwindigkeit auf kognitive Alterungsprozesse. Die Autoren gaben an, dass Dedifferenzierungsprozesse am ehesten mit der Verarbeitungsgeschwindigkeit in Verbindung gebracht werden könnten. Jedoch geben sie zu bedenken, dass die Effektstärken eher gering waren. Auch dies spricht wieder gegen die Verarbeitungsgeschwindigkeit als alleiniger Prädiktor für Alterungsprozesse. Diese Ansicht wurde auch von Salthouse in seiner ursprünglichen Veröffentlichung zur Verarbeitungsgeschwindigkeitstheorie (1996) geteilt. Er erklärt, dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit ein zentraler Faktor zur Erklärung von Altersunterschieden sei, dieser aber nicht als alleiniger Wirkmechanismus angenommen werden sollte (ebd.).

Eine alternative Erklärung von Alterungsprozessen über einen Generalfaktor besteht in der Exekutive-Abnahme-Hypothese des kognitiven Alterns.

## 1.2.2 Exekutive-Abnahme-Hypothese des kognitiven Alterns

Exekutive Funktionen können als ein Sammelbegriff für Funktionen verstanden werden, die benötigt werden, um Gedanken und Handlungen in zielgerichteter Weise zu regulieren (Botvinick, Braver, Barch, Carter & Cohen, 2001; Braver, 2012). Sie scheinen mit anderen Gehirnfunktionen in Verbindung zu stehen. So zeigten bspw. Duff, Schoenberg, Scott und Adams (2005), dass exekutive Funktionen und verbale und visuelle Gedächtnisfunktionen zwischen 55 und 60 % der Varianz teilen. Die exekutiven Funktionen umfassen verschiedene Bereiche wie Zielsetzung, Problemlösen, Planen, Selbstüberwachen oder Handlungsinitiierung (Ward, 2010). Diese „höheren“ exekutiven Funktionen können nach Miyake und Kollegium (2000) auf die drei, voneinander unabhängigen, exekutiven „Basisfunktionen“: Aktualisierung von Arbeitsgedächtnisinhalten („Updating“), Kognitive Flexibilität („Shifting“) und Inhibition von Interferenzen („Inhibition“) zurückgeführt werden. Das Arbeitsgedächtnis kann als ein System definiert werden, das temporären Zugang zu ausgewählten Informationen und deren Manipulation ermöglicht (Shah & Miyake, 1999). Das Überwachen und Aktualisieren seiner Informationen kann als aktiver Prozess beschrieben werden, bei dem neue Informationen auf ihre Aufgabenrelevanz hin überprüft werden und alte, nicht mehr benötigte Inhalte aktiv durch neue, relevantere ersetzt werden (Morris & Jones, 1990; weitere Erläuterungen in Kap. 1.6). Als kognitive Flexibilität definieren Miyake und Kollegium (2000) den zielgerichteten Wechsel der Aufmerksamkeit oder den Wechsel von einer Zielrepräsentation zu einer anderen. Die Definition von Interferenz und Inhibition gestaltet sich etwas schwieriger, da diese Begriffe uneinheitlicher verwendet werden als Aktualisierung und kognitive Flexibilität (Friedman & Miyake, 2004).

Nach Friedman und Miyake (2004) sei der Begriff „Interferenz“ in der Literatur eher ein Sammelbegriff für Störungen jeglicher Art. Eine genauere Definition des Begriffes Interferenz geben Dempster und Corkill (1999). Sie beschreiben die proaktive und re(tro)aktive Interferenz sowie die erstmals von ihnen vorgestellte coaktive Interferenz. Als „proaktive Interferenz“ beschreiben die Autoren Störungen durch früher verarbeitete Informationen, die auf spätere Informationen einwirken. Beispielsweise könne das Enkodieren oder Memorieren späterer Stimuli durch frühere beeinträchtigt werden. Die reaktive Interferenz beschreibe hingegen Störungen früherer Verarbeitungsschritte oder früher erlernter Informationen durch spätere Verarbeitungsprozesse oder Informationen. Während diese beiden Formen der Interferenz eher in

Gedächtnisaufgaben präsent seien, so trete die von Dempster und Corkill (1999) eingeführte coaktive Interferenz eher in Aufmerksamkeits- oder Aufgabenwechselläufigen auf. In der coaktiven Interferenz konkurrieren zwei oder mehr Reize um Aktivierung, sodass für die Zielverfolgung nicht relevante Reize supprimiert werden müssten. Interferenzen könnten beispielsweise durch Gedankenwandern, Distraktorreize, irrelevante oder irrelevant gewordene Gedächtnisspuren oder dominierende, aber nicht adäquate Handlungsimpulse erzeugt werden (Hasher & Zacks, 1988; Einstein & McDaniel, 1997; Kane et al., 2007).

Auch der Begriff „Inhibition“ erscheint in der Literatur sehr uneinheitlich definiert. Eine sehr allgemeine Definition stammt von Clark (1996). Danach sei die Inhibition jeder Mechanismus, der neuronale, mentale oder auch behaviorale Aktivität unterdrückt oder hemmt. Dempster und Corkill (1999) definieren die Resistenz gegen Interferenzen als die Funktion, die irrelevante Informationen während der Handlungsausführung inhibiert. Eine etwas funktionalere Definition der Inhibition stammt von Friedman und Miyake (2004). Sie geben an, dass in der Literatur drei Inhibitionsfunktionen geläufig wären: Die Inhibition dominierender Reaktionen („Prepotent Response Inhibition“), Resistenz gegen Distraktorinterferenzen („Resistance to Distractor Interference“) und die Resistenz gegen proaktive Interferenz („Resistance to Proactive Interference“). Die Inhibition dominierender Reaktionen könne beispielsweise im „Stroop-Test“ (Kap. 1.2.2.1) oder der Stop-Signal-Aufgabe erfasst werden und beschreibt die Suppression von dominanten, automatischen Reaktionen. Die Resistenz gegen Distraktorinterferenzen sei beispielsweise erfassbar über die „Flanker-Aufgabe“ (Kap. 1.5), den „Word naming test“ und den „Shape matching test“. Sie beschreibt die Fähigkeit, Interferenzen zu lösen, die durch Informationen aus der externen Umgebung entstünden, jedoch für die aktuelle Aufgabe irrelevant seien. Die Resistenz gegen proaktive Interferenzen beschreibt die Resistenz gegen Gedächtnisintrusionen, die auf früheren Verarbeitungsstufen relevant waren, aber aktuell nicht mehr relevant sind. Sie könne nach Friedman und Miyake (ebd.) zum Beispiel in „cued recall Paradigmen“ erfasst werden. Zur Beschreibung der genannten, für diese Arbeit nicht relevanten, Paradigmen, siehe Friedman und Miyake (2004). Faktorenanalytisch über die oben genannten Testverfahren konnten Friedman und Miyake (ebd.) zwei Inhibitionsfunktionen isolieren: Die Resistenz gegen proaktive Interferenzen und die Resistenz gegen Distraktorinterferenzen. Die Resistenz gegen dominierende Reaktionen überschneide sich mit der Resistenz gegen Distraktorinterferenzen. Zusätzlich zu diesen beiden

Mechanismen vermuten sie einen generellen Inhibitionsmechanismus, welcher der Resistenz gegen proaktive Interferenzen sowie der Resistenz gegen Distraktorinterferenzen unterliege.

Dass einer oder alle dieser exekutiven Funktionen als Generalfaktor für kognitive Alterungsprozesse die Abnahmen in anderen kognitiven Funktionen medieren, ist die zentrale Annahme der Exekutive-Abnahme-Hypothese (West, 1996; Crawford et al., 2000; Ferrer-Caja, Crawford & Bryan, 2002). Die Exekutive-Abnahme-Hypothese des Alterns geht auf Wests (1996) „Frontallappentheorie“ zurück, der wiederum Bezug auf Dempsters (1992) Arbeit zu Inhibitionsfunktionen im Alter nimmt. Die Frontallappen haben afferente und efferente Verbindungen zu nahezu allen anderen Gehirnregionen und Frontallahmläsionen führen in der Regel zu exekutiven Defiziten (z. B. Dempster, 1992; West, 1996). Zudem zeigen diverse neuropsychologische Studien, dass ein Zusammenhang zwischen Tests zur Erfassung exekutiver Funktionen und der Aktivierung in Regionen des Frontallappens besteht (z. B. Miyake et al., 2000). Wie u. a. Dempster (1992) berichtet, scheinen die Frontallappen die letzte vollständig entwickelte Gehirnstruktur zu sein und sind zudem die erste Gehirnstruktur, welche mit fortschreitendem Alter an Volumen abnimmt. Wie er (ebd.) beschreibt, zeigen Kinder und Jugendliche sowie Senioren und Seniorinnen schlechtere Leistungen in exekutiven Funktionen als junge oder mittelalte Erwachsene. Auch andere Autoren (z. B. Cepeda, Kramer & Gonzalez de Sather, 2001) konnten einen umgekehrt U-förmigen Verlauf von Leistungen in der kognitiven Kontrolle über die Lebensspanne zeigen. Wie u. a. Crawford und Kollegium (2000) beschreiben, zeigen Senioren und Seniorinnen außerdem schlechtere Leistungen in gängigen Tests zu exekutiven Funktionen (z. B. „Wisconsin Card Sorting Test“, „Stroop-Test“, „Turm von Hanoi“) als es jüngere Erwachsene tun.

Aufgrund von u. a. Dempsters (1992) Befunden gehe West (1996) nun davon aus, dass die Veränderungen im Frontallapp die Abnahmen in nichtexekutiven Funktionen über die Lebensspanne medieren. Crawford und Kollegium (2000) geben zu dieser Annahme jedoch zu bedenken, dass im Alter alle kognitiven Funktionen einbrechen, so dass die Annahme einer Mediation der Abnahme aller kognitiver Funktionen durch exekutive Funktionen nicht zulässig sei. Deswegen postulieren Crawford und Kollegium (2000; Ferrer-Caja, Crawford & Bryan, 2002), dass exekutive Funktionen einen stärkeren, mit dem Altern zusammenhängenden Abfall zeigen sollten als andere

kognitive Funktionen und Abnahmen in anderen Funktionen durch die Abnahme exekutiver Funktionen mitbedingt sein sollten. Dann könne man von einer Mediation kognitiver Alterungsprozesse durch exekutive Funktionen ausgehen. Ferrer-Caja, Crawford und Bryan (2002) untersuchten die Passung verschiedener Strukturgleichungsmodelle, in denen der Zusammenhang zwischen Altern, exekutiven Funktionen, generellen kognitiven Leistungen und Gedächtnis abgebildet werden sollte, zu den Daten aus Crawfords und Kollegium (2000) Studie. Die Probanden bearbeiteten dort eine Testbatterie zu exekutiven Funktionen (z. B. „Modified Card Sorting Test“; „Stroop-Test“ oder „Tower of London“), Tests zu Erinnern (Recall) und Rekognition und die „Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised“. Letztere wurde zur Messung einer generellen kognitiven Leistung gewählt, weil sie eine große Bandbreite kognitiver Fähigkeiten abdecke und relativ insensitiv gegenüber exekutiver Dysfunktion sei. Für eine genauere Beschreibung der eingesetzten Testverfahren siehe Crawford und Kollegium (2000) oder Ferrer-Caja und Kollegium (2002). Die beste Passung zeigte sich für Strukturgleichungsmodelle, welche die „Exekutive-Abnahme-Hypothese“ unterstützen. Nach Ferrer-Caja und Kollegium (2002) würde Altern vor allem exekutive Funktionen beeinflussen, die wiederum den Abfall in „generellen kognitiven Funktionen“ mediierten. Die Gedächtnisleistung würde zum Teil durch Alterungsprozesse beeinflusst, aber auch durch den Abfall exekutiver Funktionen mediiert. Ein großer Teil der Varianz in Gedächtnisleistungen würde durch die Verbindung exekutiver Funktionen mit Rekognition und Recall aufgeklärt. Dieses Ergebnis deckt sich mit einer Studie von Bugajska und Kollegium (2007). Sie stellten die Exekutive-Abnahme-Hypothese und die Verarbeitungsgeschwindigkeitstheorie gegenüber und zeigten regressionsanalytisch, dass exekutive Funktionen den Zusammenhang zwischen Altern und Rekognition eher mediierten als die Verarbeitungsgeschwindigkeit.

Nach Miyake und Friedmann (2000) sind exekutive Funktionen kein einheitliches Konstrukt. Also könnte jede der drei von ihnen genannten „exekutiven Basisfunktionen“ für altersbedingte kognitive Defizite in anderen Domänen mitverantwortlich sein. Dieser Umstand wird in den oben genannten Studien nicht berücksichtigt und es wurden in der Regel Testbatterien genutzt, die alle drei exekutive Funktionen ansprechen, die dann oft auch nicht individuell betrachtet wurden. Alle drei von Miyake und Friedman (2000) benannten exekutiven Funktionen werden im Zusammenhang mit Altern analysiert (für einen Überblick siehe z. B.: Verhaeghen & Cerella, 2002; Lustig, Hasher & Zacks, 2007; Wasylshyn, Verhaeghen & Sliwinski, 2011; Cabeza, Nyberg

& Park, 2016 sowie die weitere Literatur in den jeweiligen Unterkapiteln dieser Arbeit). Eine Hypothese, die systematisch versucht, eine der exekutiven Funktionen als Erklärung für Alterungsprozesse in den Mittelpunkt zu stellen, ist die von Hasher und Zacks vorgestellte „Inhibitionsdefizithypothese“ (1988). Die Inhibitionsdefizithypothese bezieht auch Abnahmen im Arbeitsgedächtnis mit in die Überlegungen ein (Lustig, Hasher & Zacks, 2007; Campbell, Lustig & Hasher, 2020). Inhibitionsmechanismen werden zudem zur Erklärung der Wechselkosten in Aufgabenwechselparadigmen (Kap. 1.4), die zur Messung kognitiver Flexibilität verwendet werden, herangezogen (Kiesel et al., 2010; Koch, Gade, Schuch & Philipp, 2010). Somit scheint die Inhibitionsdefizithypothese geeignet, um den Zusammenhang zwischen exekutiven Funktionen und Altern zu erklären.

### **1.2.2.1 Inhibitionsdefizithypothese**

Die Inhibitionsdefizithypothese („Inhibitory-Deficit-Hypothesis“ oder „Inhibitory-Deficit-Theory“) (Hasher & Zacks, 1988; Lustig, Hasher & Zacks, 2007; aktuellste Übersichtsarbeit: Campbell, Lustig & Hasher, 2020) geht in ihren Ursprüngen auf Rabbitt (1965) zurück, welcher altersassoziierte Defizite in der Fähigkeit, irrelevante Informationen zu unterdrücken, beschrieb. Später griff auch Dempster (1992) das Inhibitionsdefizit als Ursache altersassoziierter kognitiver Defizite auf. Er beschrieb, dass zwar das Volumen in frontalen Gehirnregionen mit steigendem Alter stärker abnehme, aber die stärkste Abnahme in präfrontalen Regionen zu verzeichnen wäre, die mit Inhibitionsprozessen in Verbindung stünden. Nach u. a. Park und Festini (2017) spielt die Inhibitionsdefizithypothese auch heute noch eine zentrale Rolle in der Erklärung von kognitiven Alterungsprozessen.

In der Inhibitionsdefizithypothese werden alterskorrelierte Leistungsabnahmen in kognitiven Funktionen auf defizitäre Inhibitionsmechanismen im Arbeitsgedächtnis zurückgeführt (Hasher & Zacks, 1988). In der ersten Version der Hypothese beschreiben Hasher und Zacks (ebd.), dass zielirrelevante Informationen aufgrund ineffizienter Inhibitionsmechanismen Aktivierung im Arbeitsgedächtnis erhalten und somit die Verarbeitung stören. Dies führe dann zu größerer Ablenkbarkeit, höherer Fehleranzahl, erhöhter Vergesslichkeit und erhöhter Zeitdauer zur Initiation korrekter Reaktionen. Die Inhibition wurde als limitierender Faktor für kognitive Leistungen definiert. Ihre Aufgabe sei das Kontrollieren und Unterdrücken exzessiver Aktivierung, sodass Gedanken und Handlungen auf zielgerichtete Informationen und Handlungen gerichtet werden

könnten. In späteren Arbeiten (Lustig, Hasher & Zacks, 2007; Campbell, Lustig & Hasher, 2020) wird Inhibition als die Unterdrückung zielirrelevanter Stimuli, Gedanken und Handlungen beschrieben, die für interindividuelle Leistungsunterschiede (explizit auch in Bezug auf das Altern) relevant seien (Campbell, Lustig & Hasher, 2020). Es werden zudem drei Inhibitionsmechanismen genauer definiert. Es wird eine Zugangs- („Access“), eine Lösungs- („Deletion“) und eine Zurückhalte- („Restrain“) Funktion beschrieben (Lustig, Hasher & Zacks, 2007; Campbell, Lustig & Hasher, 2020). Die Autoren geben jedoch auch an, dass diese Einteilung nicht „perfekt passen“ würde (Campbell, Lustig & Hasher, 2020).

Die Zugangsfunktion gilt als „Torwächter“ für den Aufmerksamkeitsfokus und unterdrücke irrelevante Informationen durch beispielsweise Distraktoren, bevor oder während sie den Aufmerksamkeitsfokus anziehen. In ihrer zuletzt veröffentlichten Übersichtsarbeit zur Inhibitionsdefizithypothese (Campbell, Lustig & Hasher, 2020) geben die Autoren an, dass die Fähigkeit, Interferenz durch aufgabenirrelevante Distraktoren abzuwehren, im Verlauf der Entwicklung zunächst ansteige und dann im Verlauf des Alterns immer weiter absinke (z. B. Zanesco, Witkin, Morrison, Denkova & Jha, 2020). Weitere Evidenz für eine Abnahme der Zugangsfunktion mit steigendem Alter im Kontrast zur Verarbeitungsgeschwindigkeitstheorie liefern u. a. Lustig, Hasher und Tonev (2006). Sie behaupten, dass viele Tests zur Erfassung der Verarbeitungsgeschwindigkeit mehrere Stimuli gleichzeitig präsentieren würden, sodass diese Testverfahren auch durch die Zugangsfunktion der Inhibition mitbeeinflusst würden. Sie manipulierten die Distraktorstärke in Testverfahren zur Messung der Verarbeitungsgeschwindigkeit („Letter Comparison Test“; „Symbol Digit Substitution Test“) und verglichen Leistungen von jungen und älteren Erwachsenen in diesen Testverfahren. Sie zeigten, dass bei älteren Versuchsteilnehmenden die Distraktorstärke einen stärkeren Einfluss auf die Leistung in Tests zur Erfassung der Verarbeitungsgeschwindigkeit haben könnte als bei jüngeren.

Die Löschfunktion ist dafür zuständig, den „mentalen Arbeitsraum“ von irrelevanter Information zu befreien (z. B. Lustig, May und Hasher, 2001; Lustig, Hasher & Zacks, 2007; Campbell, Lustig & Hasher, 2020), indem nicht mehr benötigte oder von der Zugangsfunktion fälschlicherweise zugelassene Informationen aus dem Arbeitsgedächtnis entfernt werden. Evidenz für die reduzierte Effektivität der Löschfunktion im höheren Alter boten die Autoren der Hypothese unter anderem, indem sie zeigten, dass

ältere und jüngere Erwachsene eine ähnlich hohe Arbeitsgedächtnisspanne haben, wenn die Anforderungen an die Löschkfunktion geringgehalten werden. Die Leistungen divergieren aber, sobald die Anforderungen an die Löschkfunktion steigen (Lustig, May und Hasher, 2001; Lustig, Hasher & Zacks, 2007). In späteren Arbeiten (Campbell, Lustig & Hasher, 2020) scheinen die Autoren die Löschkfunktion mit dem Loslösen von Umweltreizen („Disengagement“) sowie dem Aktualisieren von Arbeitsgedächtnisinhalten gleichzusetzen.

Die Zurückhaltefunktion werde auf einer späteren Verarbeitungsstufe relevant. Sie erlaubt die Selektion einer zielrelevanten Reaktion unter diversen möglichen, nach Aktivierung verlangenden Reaktionen, indem die irrelevanten Reaktionsmuster unterdrückt werden (Lustig, Hasher & Zacks, 2007; Campbell, Lustig & Hasher, 2020). Defizite in dieser Funktion würden bei Seniorinnen und Senioren besonders in Aufgaben auftreten, die mit dorsolateraler präfrontaler Aktivität assoziiert seien, wie zum Beispiel „Go/No-Go-“ oder „Stop-Signal-“Aufgaben. Die Leistung in solchen Aufgaben würde im jungen Lebensalter ansteigen, und im Seniorenalter wieder abnehmen. Defizitäre Leistungen zwischen jungen und alten Erwachsenen seien bei leichteren und schwierigeren Aufgaben zur Zurückhaltefunktion zu beobachten (Lustig, Hasher & Zacks, 2007).

Verhaeghen und Meersman (1998) gehen nach einer Metaanalyse zum, auch in der vorliegenden Arbeit verwendeten Stroop-Test, davon aus, dass Altersunterschiede in diesem Test der Reaktionsinhibition eher durch eine verringerte Verarbeitungsgeschwindigkeit als durch eine verringerte Inhibitionsfähigkeit erklärt werden könnten. Im Stroop-Test (Stroop, 1935) werden Farbwörter in verschiedenen Farben dargestellt. Die Wörter können entweder kongruent (gleiche Farbe und Wort), inkongruent (unterschiedliche Farben) oder neutral (z. B. mehrere X in einer Farbe) sein. Die Aufgabe der Probandinnen und Probanden ist es, die Farbe zu nennen, in der das Wort geschrieben ist. Hierbei muss die dominierende Reaktion, das Wort zu nennen, inhibiert werden, um die korrekte Reaktion auszuführen. Je nach Design wird die Farbe entweder verbal (z. B. Stroop, 1935; Andrés, Guerrini, Phillips & Perfect, 2008) oder durch Tastendruck (z. B. West & Alain, 2000) genannt.

Entgegen Verhaeghen und Meersman (1998) nehmen West und Alain (2000) nach einer elektrophysiologischen Untersuchung eher ein Inhibitionsdefizit statt einer verringerten Verarbeitungsgeschwindigkeit als ursächlich für den Stroop-Effekt an.



Behavioral zeigen sie einen Unterschied zwischen Jungen und Alten in inkongruenten Trials. Elektrophysiologisch zeigen sich u. a. gedämpfte parietal-frontal bilaterale Modulationen und N500, was die Autoren mit verringerten Inhibitionsmechanismen in Verbindung bringen. Das Fehlen einer erhöhten Latenz der P3-Welle bei älteren im Vergleich zu jüngeren Versuchsteilnehmenden interpretierten sie als Evidenz gegen eine verringerte Verarbeitungsgeschwindigkeit als Ursache für den Stroop-Effekt.

Für weitere Evidenz zur Inhibitionsdefizithypothese wird auf die zuvor erwähnten Übersichtsarbeiten von Lustig, Hasher und Zacks (2007) sowie Campbell, Lustig und Hasher (2020) verwiesen.

Die Beschreibungen der Zugangs- und der Zurückhaltefunktion bei Lustig, Hasher und Zacks (2007) ähneln sehr der Beschreibung der Resistenz gegen Distraktorinterferenzen und der Resistenz gegen dominierende Reaktionen bei Friedman und Miyake (2004), wobei die LösCHFunktion der Resistenz gegen proaktive Interferenzen zu entsprechen scheint. Bezugnehmend auf Friedman und Miyake (ebd.) könnte man nun davon ausgehen, dass die Zugangs- und Zurückhaltefunktionen starke Überschneidungen aufweisen und möglicherweise nicht als isolierte Inhibitionsmechanismen betrachtet werden sollten.

Miyakes und Friedmans (2012) Überarbeitung ihrer ursprünglichen Einteilung exekutiver Funktionen hin zu einem „Gemeinsamkeits-/Unterschieds-Erklärungsrahmen“ („Unity-/Diversity-Framework“) liefert eine weitere Möglichkeit, die Rolle der Inhibitionsfähigkeit einzuschätzen. Sie geben an, dass sie in ihren Analysen der ursprünglichen drei exekutiven „Basisfunktionen“ (s. o.) einen gemeinsamen Faktor „exekutive Funktionen“ extrahiert haben und zwei spezifische Unterschiedsfaktoren für Aktualisierung und kognitive Flexibilität. Der Faktor Inhibition korreliert perfekt mit dem gemeinsamen Faktor. Die Autoren geben an, dass dieser Faktor das aktive Aufrechterhalten von Zielen und zielrelevanter Information abbilden könnte. Dies ist eine der Ideen der Inhibitionsdefizithypothese und bildet die dort beschriebenen Inhibitionsmechanismen ab.

Wie beschrieben, scheint die Inhibitionsfähigkeit also mit den anderen exekutiven Funktionen sowie anderen kognitiven Leistungen in Verbindung zu stehen und ihre Abnahme mit steigendem Alter könnte so die Abnahme kognitiver Funktionen im Verlauf des Lebens medieren: Möglicherweise indem die Inhibitionsfähigkeit andere

Funktionen direkt beeinflusst oder indem sie andere exekutive Funktionen beeinflusst, die wiederum auf weitere kognitive Funktionen wirken. Sie wäre somit also ein vielversprechender Ansatzpunkt für kognitives Training.

Im Folgenden sollen zunächst wichtige Fachbegriffe zum kognitiven Training definiert werden und anschließend der aktuelle Stand der Forschung zum kognitiven Training bei Senioren und Seniorinnen beschrieben werden, um im Anschluss daran zu erarbeiten, wie ein Training der Inhibitionsfähigkeit andere kognitive Funktionen im höheren Lebensalter verbessern könnte.

### **1.3 Kognitives Training im höheren Lebensalter**

Die „Geistige-Trainings-Hypothese“, bekannt unter dem Ausspruch „use it, or lose it“ (zu Deutsch in etwa: „wer rastet, der rostet“) besagt, dass ein erhöhter Gebrauch kognitiver Fähigkeiten im Alter deren Abfall verhindere und umgekehrt deren Nichtgebrauch deren Absenkung bedinge (Salthouse, 2006). Sie sei laut Salthouse (ebd.) bereits Anfang des 20. Jahrhunderts von diversen Autoren vertreten worden. In Salthouses (ebd.) Evaluationsartikel zur „Geistige-Trainings-Hypothese“ gibt er zu bedenken, dass es kaum Evidenz für die Hypothese gebe, dass die Häufigkeit kognitiven Trainings kognitive Alterungsprozesse moderieren würde und zu einem Trainingserfolg führt.

Wie genau ein Trainingserfolg definiert wird, ist sehr unterschiedlich. In obiger Übersichtsarbeit gibt Salthouse (ebd.) an, dass ein Trainingserfolg dann gegeben sei, wenn ein Trainingserfolg mit steigendem Alter größer ausfalle, was auch nach Salthouse (ebd.) tatsächlich ein selten erreichtes Kriterium zu sein scheint. Jedoch zeigte eine Metaanalyse von Toril, Reales und Ballesteros (2014), dass mit steigendem Alter bei Senioren und Seniorinnen stärkere Trainingserfolge erzielt werden. Diesen Befund erklärten sie damit, dass ältere Seniorinnen und Senioren zu Beginn des Trainings schlechtere Leistungen zeigten als jüngere Senioren und Seniorinnen, und somit mehr Potenzial hätten, höhere Effektstärken zu erzielen.

Auf Salthouses Ausführungen antwortete Schooler (2007) durch einen Artikel, in den er auch Studien einbezog, die Salthouse nicht berücksichtigt habe. Er formuliert die These „use it, and keep it longer“. Letztere Annahme impliziert, dass kognitives Training Alterseffekte zwar nicht gänzlich verhindern kann, aber kognitiven Abnahmen im Alter vorbeugen oder diese sogar teilweise revidieren könnte. Schooler (2007) wirft

Salthouse in seiner Antwort auf dessen Arbeit (2006) vor, die Kriterien für einen Trainingserfolg zu streng anzusetzen. Er selbst sehe einen Trainingserfolg bereits dann gegeben, wenn ein Haupteffekt für das Training erzielt werden konnte. Ein solcher „Retest-Trainings-Effekt“ scheint ein häufig erreichtes Kriterium zu sein (z. B. Yang, Reed, Russo & Wilkinson, 2009; Karbach & Kray, 2009; Wilkinson & Yang, 2016).

Ein weiteres, häufig gefordertes Kriterium eines Trainingserfolges (z. B. Brainerd, 1975; Salomon & Perkins, 1989; Karbach & Kray, 2009; Delius & Lindenberger, 2014; Wilkinson & Yang, 2016) ist, dass das Training kognitive oder neuronale Plastizität induzieren sollte (Willis & Schaie, 2009; Lövdén, Bäckman, Lindenberger, Schaefer & Schmiedek, 2010; Jones et al., 2006; Greenwood & Parasuraman, 2010). Plastizität kann definiert werden als eine Veränderung der neuronalen Struktur in Folge einer Anpassung an Umweltreize, wodurch die nutzbare kognitive Kapazität in einer kognitiven Funktion verändert werde (Lövdén et al., 2010). Plastizität entstehe, wenn über einen längeren Zeitraum eine Nichtübereinstimmung zwischen funktionellen organischen Kapazitäten (functional organismic supplies) und Umwelanforderungen bestehe (Lövdén et al., ebd.). Lövdén und Kollegium (ebd.) beschreiben das Konzept der Trägheit („sluggishness“) der Plastizität, was besagt, dass plastische Prozesse sehr träge seien, und deswegen die Nichtübereinstimmung zwischen Umwelanforderungen und kognitiver Kapazität länger bestehen müsse, bis es zu einer Veränderung der anatomischen Struktur oder der kognitiven Kapazität komme. Die Plastizität sei zwar im höheren Lebensalter reduziert, aber auch dort weiterhin erhalten (z.B. Jones et al., 2006).

Die Plastizität sollte auch die Leistung in anderen, nicht trainierten Aufgaben oder kognitiven Funktionen verbessern. Dieses, als Transfer bezeichnete Ziel, geht unter anderem auf Salomon und Perkins (1989) zurück, die es damals jedoch noch unter anderen Begrifflichkeiten beschrieben. Transfer kann in einem nahen („near“) oder fernen („far“) Transfer ausgedrückt werden (z. B. Barnett & Ceci, 2002; Zelinski, 2009). Ein naher Transfer entstehe durch exzessives Üben einer Aufgabe. Er bestehe dann im automatischen Abruf des Eingübten in ähnlichen Aufgaben oder Situationen (Salomon & Perkins, 1989). Ein naher Transfer würde beispielsweise dann auftreten, wenn nach dem Training einer Aufgabe in einem bestimmten Paradigma auch Verbesserungen in einer anderen, nicht direkt trainierten, ähnlichen Aufgabe aufkommen würden. Ein Beispiel wäre, nach dem Training einer Aufgabenwechsellernaufgabe eine

Verbesserung in einer anderen, nicht trainierten Aufgabenwechselfrage zu erzielen oder durch das Training einer mathematischen Operation auch andere, ähnliche mathematische Operationen lösen zu können. Ein ferner Transfer hingegen bestehe in einer abstrakten Repräsentation des Erlernten, die vom Trainingskontext in einen anderen Kontext übertragen werden kann (Salomon & Perkins, 1989; Barnett & Ceci, 2002; Wilkinson & Yang, 2016). Ein ferner Transfer könnte immer dann stattfinden, wenn die trainierte und die Transferaufgabe zwei überlappende Eigenschaften teilen. Dies könnten beispielsweise überlappende, für beide Aufgaben relevante kognitive Funktionen (z. B. Karbach & Kray, 2009) oder neuronale Verarbeitungsmuster (z. B. Buschkuhl, Jaeggi & Jonides, 2012; Anguera et al., 2013) sein. Karbach und Kray (2009) argumentieren beispielsweise, dass sie einen fernen Transfer induzieren konnten, weil sie unterschiedliche exekutive Funktionen trainierten. Somit haben sie die altersabhängige Leistung in Aufgaben verbessern können, die Inhibition, Arbeitsgedächtnis oder Rekognition testen. Diesen Leistungen unterlägen exekutive Funktionen. Anguera und Kollegium (2013) trainierten ein Doppelaufgabenparadigma („Dual Tasking“) und fanden u. a. einen Transfer auf Arbeitsgedächtnisleistungen sowie neuronale Veränderungen in Bereichen des Ruhezustandsnetzwerkes („Default-Mode-Network“) (Raichle et al., 2001; Raichle & Snyder, 2007), welches mit kognitiven Alterungsprozessen in Verbindung gebracht wird (z. B. Damoiseaux et al., 2008). Sie argumentierten, dass durch das Doppelaufgabentraining neuronale Verarbeitungsmuster angesprochen wurden, die auch kritisch an Arbeitsgedächtnisleistungen und Inhibition beteiligt seien. Ein Beispiel für einen fernen Transfer wäre das Einüben einer Tätigkeit und deren Übertragung auf eine andere Tätigkeit, wie beispielsweise das Schreiben von Romanen, was bei einem fernen Transfer auch andere (schreibende) künstlerische Tätigkeiten verbessern könnte.

In Anlehnung an Barnett und Ceci (2002) könnte die Art des Transfers als Kontinuum betrachtet werden. Je unähnlicher sich das Trainierte und die Transferaufgabe sind, als desto ferner könnte der Transfer bezeichnet werden. Eine damit übereinstimmende und etwas detaillierte Einteilung des Transfers ist jene von Brainerd (1975), auf die sich unter anderem Wilkinson und Yang (2016) berufen. Er teilt Transfer in „nah-nahen-“ („near-near“), „nah-fernen-“ („near-far“) sowie „fern-fernen-“ („far-far“) Transfer auf. Ein nah-naher-Transfer entstehe, wenn Verbesserungen von einer Aufgabe auf eine prinzipiell gleiche Aufgabe übertragen werden, die sich nur in den verwendeten Stimuli unterscheiden. Wilkinson und Yang (2016) geben als Beispiel den Transfer einer

„Zahlen-n-zurück-Aufgabe“ („n-back-task“) auf eine „Buchstaben-n-zurück-Aufgabe“ an. Der nah-ferne-Transfer beschreibt den Transfer von einer Aufgabe auf eine andere, welche der gleichen kognitiven Funktion, zum Beispiel dem gleichen Inhibitionsmechanismus, unterliegen. Ein Beispiel könne der Transfer von einer „Go/No-Go-“ auf eine „Stopp-Signal-Aufgabe“ sein. Der fern-ferne-Transfer beschreibt die Übertragung von Trainingseffekten von einer Aufgabe auf eine strukturell unterschiedliche Aufgabe. Als Beispiel für diese Art des Transfers kann die oben erwähnte Untersuchung von Karbach und Kray (2009) angegeben werden. Übertragen auf Alltagsbeispiele könnte ein nah-naher Transfer der Transfer des Schreibens eines Romanes auf einen anderen Roman in ähnlichem Genre sein. Ein nah-ferner Transfer würde dann der Transfer auf einen Roman in anderem Genre oder das Schreiben einer Kurzgeschichte sein. Ein fern-ferner Transfer wäre beispielsweise die Übertragung der Fertigkeiten im Schreiben eines Romanes auf die Fertigkeiten, ein Drehbuch oder ein Theaterstück zu entwickeln.

Die von Salthouse (2006) vorgeschlagene Definition eines Trainingserfolges scheint nur selten erreichbar und auch weniger praxisrelevant als die Definition eines Trainingserfolges durch einen Transfer zu sein. Die von Schooler (2007) vorgeschlagene Definition scheint ebenfalls wenig praxisrelevant, da für diese prinzipiell nicht einmal ein nah-naher-Transfer vorliegen müsste. Ein naher oder ferner Transfer jedoch würde zeigen, dass das Training auch tatsächlich zu kognitiven Verbesserungen führen und auf andere Situationen übertragbar sein könnte. Aus diesen Gründen wird in der vorliegenden Arbeit, genau wie in vielen anderen Trainingsstudien (z. B. Owen, 2010; Karbach & Kray, 2009; Wilkinson & Yang, 2016; Dougherty, Hamovitz & Tidwell, 2016) das Vorliegen eines nahen oder fernen Transfers als Trainingserfolg definiert.

Neben überlappenden Funktionen scheinen einige weitere Faktoren zu einem Trainingserfolg beizutragen. Ein wichtiger Faktor scheint die Dauer des Trainings zu sein (Jaeggi et al., 2008; Toril, Reales und Ballesteros, 2014). Nach einer Metaanalyse von Toril, Reales und Ballesteros (2014) seien kurze (bis zu sechs Wochen) Trainingsinterventionen effektiver als längere (sechs bis zwölf Wochen). Die Autoren erklären dies u. a. dadurch, dass mit längerer Trainingsdauer die Trainingsmotivation abnehmen würde und in höheren Sitzungen eher die Beziehung zum Versuchsleiter oder der Versuchsleiterin als das Training ausschlaggebend für weitere Trainingserfolge sei. Ob die Gesamtdauer des Trainings ausschlaggebend ist oder die Anzahl der

Trainingssitzungen, scheint nicht ganz klar zu sein. Es scheint beispielsweise nicht klar, wie viele Trainingssitzungen nötig sind, um bei älteren Probanden und Probandinnen einen Trainingseffekt zu induzieren (Turunen et al., 2019). Thöne-Otto und Kollegium (Thöne-Otto, 2017; Weicker, Villringer & Thöne-Otto, 2015) geben in Bezug auf klinisch-neuropsychologische Stichproben an, dass mindestens zehn Trainingssitzungen für eine Verbesserung notwendig seien und die Anzahl der Sitzungen relevanter sei als die Dauer. Auch wenn der Autor der vorliegenden Arbeit anzweifelt, dass Befunde aus klinischen Stichproben umfassend auf Studien mit Senioren und Seniorinnen übertragbar sind, so geben Thöne-Ottos Ausführungen einen Ansatz zu Überlegungen über die Anzahl notwendiger Trainingssitzungen. Wenn klinische Stichproben mindestens zehn Sitzungen für Trainingsverbesserungen benötigen, ist davon auszugehen, dass nichtklinische Stichproben weniger Trainingssitzungen für einen Erfolg benötigen. Tatsächlich konnten einige Studien schon mit wenigen Sitzungen einen Trainingserfolg im Sinne eines nahen oder fernen Transfers erzielen (z. B. Karbach & Kray, 2009; Kray & Fehér, 2017).

Dass die Motivation ein weiterer wichtiger Mediator des Trainingserfolges ist, zeigt sich, neben oben Beschriebenem, darin, dass Probanden intrinsisch motiviert sein sollten und das Training motivierend gestaltet sein sollte, um einen höheren Trainingseffekt in der trainierten Aufgabe zu erzielen (Jaeggi et al., 2011; Mohammed et al., 2017).

Ein dritter wichtiger Faktor für das Erzielen eines Trainingserfolges scheint die Adaptivität des Trainings zu sein. Die Aufgabenschwierigkeit sollte an das Leistungsniveau der Trainierenden angepasst sein und die Schwierigkeit mit steigendem Trainingsfortschritt ansteigen (Jolles et al., 2010; Lövdén et al., 2010; Buschkuehl, Jaeggi & Jonides, 2012; Anguera et al., 2013). Um einen Trainingserfolg zu ermöglichen oder Plastizität zu induzieren, sollten die Trainingssitzungen für die jeweiligen Trainierenden nicht zu unter- oder überfordernd sein. Jedoch erzielten auch nichtadaptive Studien (z. B. Karbach & Kray, 2009) nahe und ferne Transfereffekte. Zudem zeigten von Bastian und Eschen (2016), dass kein Unterschied zwischen den Trainingserfolgen in einem, an die individuellen Trainierenden angepassten Training und einem, in dem die Schwierigkeit zufällig variiert wird, bestehe.

Die Frage, ob kognitives Training nun tatsächlich dazu in der Lage ist, kognitive Funktionen im Sinne eines Transfers zu verbessern, wird in der Literatur sehr diskutiert

(z.B. Salthouse, 2006; Owen et al., 2010; Delius & Lindenberger, 2014; Kueider, Parisi, Gross & Rebok, 2012; Karbach & Verhaeghen, 2014; Au et al., 2015; Dougherty, Hamovitz & Tidwell, 2016; Melby-Lervåg, Redick & Hulme 2016; Melby-Lervåg & Hulme, 2016; Strong & Alvarez, 2017; De Simoni & von Bastian, 2018; Butler et al., 2018). Manche Übersichtsarbeiten oder Metaanalysen finden Trainingseffekte (z. B. Kueider, Parisi, Gross & Rebok, 2012; Au et al., 2015) und manche sprechen sich gegen Trainingseffekte aus (z. B. Melby-Lervåg, Redick & Hulme 2016; Melby-Lervåg & Hulme, 2016; Dougherty, Hamovitz & Tidwell, 2016; De Simoni & von Bastian, 2018). Interessanterweise war die Studie von Dougherty, Hamovitz und Tidwell (ebd.) eine Reanalyse einer Metaanalyse von Au und Kollegium (2015) mit Methoden der bayesianischen Statistik. Au und Kollegium (ebd.) konnten mit klassischen, frequentistischen Methoden Trainingserfolge im n-zurück-Training zeigen, wohingegen Dougherty und Kollegium (2016) für den Einbezug einer aktiven Kontrollgruppe Evidenz gegen Trainingserfolge fanden. Für Vergleiche zwischen Experimental- und passiver Kontrollgruppe zeigte sich auch nach Bayes-Analyse Evidenz für Trainingserfolge. Der häufig angenommene nahe und ferne Transfereffekt durch ein Arbeitsgedächtnistraining wurde auch von anderen Autoren und Autorinnen ebenfalls mit bayesianischen Methoden untersucht, wobei mit diesen Methoden Evidenz für die Abwesenheit eines Transfers geliefert wurde (De Simoni & von Bastian, 2018). Dies zeigt, dass auch die statistische Analysemethode einen Einfluss auf die Ergebnisse von Trainingsstudien haben kann.

Weitere Evidenz gegen die Wirksamkeit von kognitiven Trainingsprogrammen lieferten Owen und Kollegium (2010) an einer Stichprobe von über 10.000 Probandinnen und Probanden zwischen 18 und 60 Jahren. Sie verglichen zwei Experimentalgruppen, die Trainingsaufgaben zu logischem Denken, Gedächtnis, Planung, visuell räumlichen Fähigkeiten sowie Aufmerksamkeit über sechs Wochen maximal zehn Minuten, drei Mal wöchentlich trainierten, mit einer Kontrollgruppe, die Antworten zu Fragen recherchieren sollte. Die gewählten Trainingsaufgaben sollten Aufgaben aus kommerziell erhältlichen Trainingsprogrammen abbilden. Es konnte eine Verbesserung in den jeweils trainierten Aufgaben gefunden werden, jedoch kein naher oder ferner Transfer. Allerdings ist bei dieser Studie kritisch zu sehen, dass die Probanden und Probandinnen maximal 60 Jahre alt waren, und deswegen vielleicht nur wenige von ihnen die hier aufgestellten Kriterien zum kognitiven Altern erfüllten. Bei jüngeren Probanden und Probandinnen ist aus Sicht des Autors fraglich, ob bei diesen der Abbau kognitiver

Funktionen schon weit genug fortgeschritten ist, um durch kognitives Training Transfereffekte zu erzielen (Annahme angelehnt an Karbach, Könen & Spengler, 2017).

Die umstrittene Wirksamkeit kognitiven Trainings veranlasste Strong und Alvarez (2017) dazu, die Mechanismen des kognitiven Trainings weiter zu untersuchen. In Bezug auf Aufmerksamkeitstraining postulierten sie eine „Kapazitätssteigerung“ („Capacity-enhancing“) und eine „Expertiseaufbau“ („Expertise-building“) Hypothese. Die benannten Hypothesen wurden zwar für das Aufmerksamkeitstraining formuliert, sind aber sicherlich auf das Training anderer kognitiver Funktionen übertragbar. Die Kapazitätssteigerungshypothese beschreibt, dass durch das Training die generelle Kapazität einer kognitiven Funktion (z. B. Aufmerksamkeit) gesteigert wird und somit die Leistung in anderen Aufgaben, die auch diese kognitive Funktion nutzen, verbessert würde. Dies entspricht dem Ziel des kognitiven Trainings im Sinne eines fernen Transfers oder einer Induktion von Plastizität. Die Expertiseaufbauhypothese beschreibt, dass durch das Training die Koordination zwischen einer kognitiven Kapazität (z. B. Aufmerksamkeitskapazität) und trainingspezifischen Eigenschaften gestärkt werde. Somit wird also nicht die Kapazität, sondern die Ausrichtung der Kapazität auf spezifische Eigenschaften verstärkt. Strong und Alvarez (2017) trainierten eine kleine Gruppe (N = 48) junger Probanden und Probandinnen (MW = 23.5 Jahre; 18 – 35 Jahre) in einer „Visual Tracking Aufgabe“. Die Versuchsteilnehmenden wurden aufgeteilt auf eine passive Kontrollgruppe, die nur die Prä- und Posttests absolvierte und Experimentalgruppen, die in sechs adaptiven Trainingssitzungen entweder rotierende Dreiecke oder translaterende Punkte in jeweils unterschiedlichen visuellen Feldern verfolgten. Als abhängige Variable (AV) wurde die Verfolgungsgeschwindigkeit („Tracking-Speed“) gewählt. Die Experimentalgruppen verbesserten sich in der Trainingsaufgabe signifikant im Vergleich zur Kontrollgruppe. Wenn in der Transferaufgabe das visuelle Feld geändert wurde, so zeigte sich ein starker Leistungseinbruch im Vergleich zur trainierten Aufgabe und wenn im Transfer eine neue Bewegung verfolgt werden sollte, unterschieden sich Experimental- und Kontrollgruppe nicht mehr. Die Autoren interpretieren die Ergebnisse als Evidenz gegen die Kapazitätssteigerungshypothese, da hierfür kein Unterschied im Transfer hätte gefunden werden dürfen, da die Aufgaben zu ähnlich gewesen seien. Die Daten sprächen eher dafür, dass beim kognitiven Training die Expertise, also die Koordination zwischen der, dem Training unterliegenden kognitiven Kapazität und trainingspezifischen Eigenschaften verstärkt werde. Dies würde bedeuten, dass kognitives Training gar nicht dazu in der



Lage ist, einen fernen Transfer zu induzieren, auch ein nah-ferner Transfer sollte nur schwer durch Training erreicht werden können. Kritisch anzumerken ist an dieser Studie jedoch die geringe Probandenanzahl (16 pro Gruppe) sowie das geringe Alter der Probanden, die, aufgrund noch nicht eingesetzter altersbedingter kognitiver Abbauprozesse vielleicht noch nicht die Möglichkeit hatten, Transfer zu erzielen (s. o.). Zudem wurde in obiger Studie die Aufmerksamkeit trainiert und nicht die Verarbeitungsgeschwindigkeit oder exekutive Funktionen, die ja eher für alterskorrelierte kognitive Defizite und Transfer verantwortlich gemacht werden. Ein dritter Kritikpunkt ist die Analysemethode. Strong und Alvarez (2017) nutzen frequentistische Methoden, die streng genommen nicht dafür geeignet sind, um auf die Nullhypothese zu schließen, was in dieser Studie jedoch gemacht wurde. Die entsprechenden Verfahren aus der Bayes-Statistik wären hier eventuell angebrachter gewesen, da diese einen Schluss auf die Nullhypothese zugelassen hätten.

Bezüglich des Trainings der Verarbeitungsgeschwindigkeit gibt es uneinheitliche Evidenz für einen Transfer. Beispielsweise trainierten Simpson, Camfield, Pipingas, Macpherson und Stough (2012) 53- bis 75-jährige Versuchsteilnehmende in diversen kommerziell erhältlichen Aufgaben, bei denen sie davon ausgingen, dass sie u. a. die Verarbeitungsgeschwindigkeit trainieren würden. Sie fanden einen nahen Transfer auf Aufgaben zur einfachen oder komplexen Reaktionsgeschwindigkeit, aber keinen nah-fernen Transfer auf Aufgaben zur Verarbeitungsgeschwindigkeit oder einen fern-fernen Transfer zu exekutiven Funktionen oder Gedächtnis. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bei Edwards und Kollegium (2002), die einen nahen Transfer durch ein Verarbeitungsgeschwindigkeitstraining bei Älteren (Mittelwert (MW) 73.71 Jahre), aber keinen fernen Transfer auf kognitive Funktionen wie Aufmerksamkeit, Gedächtnis oder fluide Intelligenz finden konnten. Lawlor-Savage und Goghari (2016) nutzten ein Training der Verarbeitungsgeschwindigkeit als Kontrollgruppe zu einem n-zurück-Training der Aktualisierung des Arbeitsgedächtnisses bei einer Stichprobe von 30- bis 60-Jährigen. Als Transferaufgaben untersuchten sie Arbeitsgedächtnis, fluide Intelligenz und Verarbeitungsgeschwindigkeit. Mit Methoden der Bayes-Statistik lieferten sie Evidenz für die Abwesenheit eines Trainingseffektes. An einer Stichprobe von älteren Erwachsenen (58 bis 83 Jahre) konnten u. a. Peng, Wen und Wang (2012) keinen Transfer eines Trainings der Verarbeitungsgeschwindigkeit auf das Arbeitsgedächtnis zeigen.

Chen und Chen (2013) berichten, dass bei älteren Versuchsteilnehmenden ein Transfer auf perzeptuell motorische Verarbeitungsgeschwindigkeit einfacher zu erzielen sei als auf die zentrale Verarbeitungsgeschwindigkeit, die für Aufgaben benötigt werde, an denen exekutive Funktionen beteiligt seien. In ersterem würden Senioren und Seniorinnen das gleiche Leistungsniveau erreichen können wie Jüngere im Prätest. Chen und Chen (ebd.) schlagen vor, Aufgaben zur Verarbeitungsgeschwindigkeit eher als Kriteriums- als als Trainingsaufgabe für kognitives Training zu nutzen, als es als Trainingsaufgabe zu verwenden. Sie vermuten, dass eine altersrelatierte Verlangsamung eher behaviorale Evidenz für ein kognitives Defizit als ein Generalfaktor für kognitive Veränderungen im höheren Lebensalter sein könnte.

In einer Übersichtsarbeit zu Effekten des Verarbeitungsgeschwindigkeitstrainings auf kognitive Funktionen beschrieben Takeuchi und Kawashima (2012), dass bei jungen und älteren Versuchsteilnehmenden robust ein nah-naher Transfer auf Reaktionsgeschwindigkeitsaufgaben gefunden werden könnte, wobei dies aber auch von den Trainingsprogrammen abhängig sein könne. In beiden Altersgruppen würde aber nur gelegentlich ein ferner Transfer erzielt werden können. Dies deckt sich mit anderen Studien oder Metaanalysen (z. B. Edwards et al., 2005; Ball, Edwards, Ross, 2007).

Die Forschung zum kognitiven Training bei Senioren und Seniorinnen scheint sich in den letzten Jahren auf exekutive Funktionen zu fokussieren. Am häufigsten scheint die Aktualisierung des Arbeitsgedächtnisses daraufhin untersucht zu werden, ob ein Training zu einem Transfer führen kann (Jaeggi et al., 2008; Buschkuhl, Jaeggi & Jonides, 2012; Au et al., 2015; Dougherty, Hamovitz & Tidwell, 2016). Für Flexibilität oder Inhibition scheint es weniger Untersuchungen zu geben, wie u. a. auch Pereg, Shahar und Meiran (2013) bemerken. Eine, nach der Konzeption dieser Arbeit veröffentlichte Metaanalyse (Nguyen, Murphy & Andrews, 2019) zum kognitiven Training exekutiver Funktionen gibt an, dass 8 % der einbezogenen Studien ausschließlich kognitive Flexibilität trainierten, 9 % Inhibition und 34 % Arbeitsgedächtnis. Dies unterstreicht nochmals die Aussage, dass Inhibition oder kognitive Flexibilität vergleichsweise selten trainiert werden.

Für eine Übersicht zum Arbeitsgedächtnistraining sei an dieser Stelle auf oben beschriebene Kontroverse durch die Metaanalysen von Au und Kollegium (2015) sowie Dougherty und Kollegium (2016) oder Melby-Lervåg und Hulme (2016) verwiesen.

Der für diese Arbeit wichtigere Zusammenhang zwischen kognitivem Training, kognitivem Altern, kognitiver Flexibilität und Inhibition soll im Folgenden ausführlicher besprochen werden.

## **1.4 Aufgabenwechselln im höheren Lebensalter**

Ein wichtiges Paradigma zur Erfassung der kognitiven Flexibilität besteht im Aufgabenwechsellparadigma („Task-Switching“) (Monsell, 2003; Kray & Lindenberger, 2000; Koch, Gade, Schuch & Philipp, 2010). Im Aufgabenwechsellparadigma werden zwei oder mehr Aufgabensets präsentiert, welche im Wechsel bearbeitet werden müssen. Ein Aufgabenset könne als eine „spezifische Konfiguration des kognitiven Systems“ (Vandierendonck, Liefoghe & Verbruggen, 2010) beschrieben werden. Nach Gordon (2001) oder Vandierendonck, Liefoghe und Verbruggen (2010) kann ein Aufgabenset definiert werden als eine „Ansammlung“ von kognitiven Kontrollstrukturen, die benötigt werden, um Prozesse wie „Stimulusidentifikation“, „Reaktionsselektion“ und „Reaktionsausführung“ auszuführen. Ein Aufgabenset beinhalte eine Repräsentation des Aufgabenzieles, die zielrelevanten Stimuli und mögliche Reaktionen darauf sowie die Stimulus-Reaktions-Beziehungen (Koch et al., 2010).

Bei Aufgabenwechseluntersuchungen werden u. a. das „Cued-Task-Switching-Paradigma“ (Cued-TS) und das „Alternating-Runs-Paradigma“ (AR-TS) unterschieden (Monsell, 2003; Koch, Gade, Schuch & Philipp, 2010; Minear & Shah, 2008; Karbach & Kray, 2009). Mangels exakter deutschsprachiger Übersetzungen werden hier weiterhin die feststehenden englischsprachigen Fachbegriffe für die Aufgabenwechsellparadigmen verwendet. Auch der Begriff „Cue“ wird, als auch in der deutschen Fachsprache geläufiger Begriff, weiterhin statt „Hinweisreiz“ genutzt.

Im AR-TS (z. B. Karbach & Kray, 2009) wechseln die Aufgaben in einem regelmäßigen, bekannten Muster alle  $n$  Trials.  $N$  ist hierbei ein feststehender Wert, was den Wechsel für die Versuchsteilnehmenden vorhersehbar macht (Monsell, 2003). Im Cued-TS (z. B. Minear & Shah, 2008) wechseln die zu bearbeitenden Aufgaben randomisiert und werden durch einen Aufgabencue angezeigt (Monsell, 2003).

Die Aufgabenwechselfähigkeit kann in Wechselkosten („Switch-Costs“) und Mixingkosten („Mixing-Costs“) ausgedrückt werden (Monsell, 2003). Beide erscheinen als ein sehr robust nachweisbares Phänomen in der kognitiven Psychologie (Koch et al., 2010). Die Wechselkosten (SC) werden berechnet, indem die Differenz aus der

Reaktionszeit oder der Genauigkeit in den Trials, in welchen die Aufgabe wechselt („Wechseltrials“ („Switch-Trials“)) und denjenigen, in denen sie gleichbleibt („Wiederholungstrials“ („Stay-Trials“)), gebildet wird (ebd.). Bei Wiederholungstrials sollten die Reaktionszeiten, aufgrund geringerer kognitiver Anforderungen, geringer und die Genauigkeit höher sein als bei Wechseltrials (ebd.).

Die Mixingkosten (MC) bilden die Differenz aus den Wiederholungstrials in Wechselblöcken und Wiederholungsblöcken, in denen nur die Einzelaufgaben („Pure-Block“) bearbeitet werden, ab (ebd.). Dazu, welche Funktionen genau in die SC und MC involviert sind, gibt es verschiedene Erklärungsansätze (Monsell, 2003; Kiesel et al., 2010; Koch et al., 2010).

Zur Entstehung der SC vermuten Mayr und Kliegl (2003), dass jeweils nur ein Aufgabenset gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis aufrechtgehalten werden könne. Das vor einem Wechsel benötigte Aufgabenset müsse inhibiert werden und daraufhin das aktuelle Aufgabenset ins Arbeitsgedächtnis abgerufen werden, was zu den SC führe. Allport und Kollegium (1994; Allport und Wylie, 1999; Übersicht: Koch et al., 2010) formulieren zur Beschreibung der Ursache der Wechselkosten den Begriff „Vorübergehende Aufgabensetbeharrlichkeit“ („Transient Task-Set Inertia“). Sie nehmen als Erklärung der Wechselkosten proaktive Interferenz durch das vorherige Aufgabenset und deren Inhibition an (Allport & Wylie, 1999). In einem Review zur Rolle der Inhibition beim Aufgabenwechseln geben Koch und Kollegium (2010) als Evidenz für Allports (1994) Annahme u. a. Befunde aus Studien zu „N-2-Aufgabenwiederholungskosten“ („N-2 task-repetition-cost“) an. Bei N-2-Aufgabenwiederholungskosten werden Wechsel zwischen drei Aufgaben untersucht. Es werden SC, die entstehen, wenn Versuchspersonen von einer Aufgabe zu einer anderen und dann wieder zur vorherigen Aufgabe zurückwechseln müssen, mit denen verglichen, die entstehen, wenn Probanden und Probandinnen von einer Aufgabe zu einer anderen und dann wieder zu einer dritten Aufgabe wechseln. Hierbei zeige sich robust ein negativer Priming-Effekt. Versuchsteilnehmende produzierten erhöhte SC, wenn sie zu einer vorher inhibierten Aufgabe zurückwechseln müssen. Dieser Befund könne insofern interpretiert werden, dass das erste Aufgabenset inhibiert werde und deswegen der spätere Abruf dieses Aufgabensets schwerer falle als der eines neuen Sets (Allport & Wylie, 1999; Monsell, 2003; Koch et al., 2010).

Weiterhin bestehen auch einige Erklärungen der SC, die ohne die Inhibitionsannahme auskommen oder die Inhibitionsannahme um andere beteiligte Prozesse erweitern (Koch et al., 2010). Ein Beispiel hierfür sind Erklärungen über Vorbereitungsprozesse (Mayr & Kliegl, 2003; Kiesel et al., 2010; Lawo, Philipp, Schuch & Koch, 2012). Vorbereitung beschreibt alle ausgeführten Prozesse, die zu einer verbesserten Leistung beitragen, nachdem die Aufgabe bekannt ist, aber noch bevor der Stimulus präsentiert wird. Mayr und Kliegl (2003) vermuten, dass diese Prozesse den verbesserten Abruf des Aufgabensets aus dem Langzeitgedächtnis wiedergäben und hierüber die Interferenz durch das kompetierende Aufgabenset gelöst würde (Übersicht: Koch et al., 2010). Vorbereitungsprozesse werden effektiver, je größer das Cue-Zielstimulus-Intervall ist (Koch et al., 2010; Kiesel et al., 2010).

Koch und Kollegium scheinen jedoch, u. a. aufgrund der Evidenz durch N-2-Wiederholungskosten, von einer Beteiligung der Inhibition am Aufgabenwechseln auszugehen. Die Inhibition sei besonders dann nötig, wenn die, zu den Aufgabensets gehörigen Stimuli, multivalent und für alle Aufgabensets relevant sind, wodurch sie Interferenz auslösen könnten (Kiesel et al., 2010). So formuliert Goschke (2000), dass die Stärke der Inhibition abhängig sei von der Größe des „Reaktionskonfliktes“, der durch den Stimulus erzeugt werde. Inhibition werde besonders durch Konflikte auf der Ebene der Selektion von Stimulusattributen sowie auf der Reaktionsebene ausgelöst (Koch et al., 2010).

Je nach Paradigma sollten die Anforderungen an die Aktualisierung der Arbeitsgedächtnisinhalte und der Inhibition variieren. Die Arbeitsgedächtnisleistung sollte beim AR-TS höher sein als beim Cued-TS, da bei ersterem die Aufgabenreihenfolge im Arbeitsgedächtnis gehalten werden muss und bei zweitem die Aufgabe in jedem Trial durch einen Cue vorgegeben wird, was die Arbeitsgedächtnisanforderungen reduziert (Pereg, Shahar & Meiran, 2013). Im AR-TS bestünden die SC aus den Kosten, um die Aufgabe zu wechseln sowie den wechselunabhängigen Kosten der Aufgabenaktualisierung (Altmann, 2007). Evidenz hierzu geben Tornay und Milán (2001) anhand der Residualkosten. Diese Kosten treten selbst dann auf, wenn das Cue-Stimulus-Intervall besonders hoch ist, sodass der Vorbereitungsprozess schon abgeschlossen sein sollte. Sie seien somit nicht durch Vorbereitung erklärbar (Monsell, 2003). Bei vorhersehbaren Wechseln (AR-TS) zeigten sich vom Wechseltrial zur ersten Wiederholung starke Abnahmen der Residualkosten, aber keine Abnahmen in den folgenden

Wiederholungstrials. Bei unvorhersehbaren Wechseln (Cued-TS) zeigten sich in den Residualkosten keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Wechseltrial und den folgenden Wiederholungstrials. Man könnte an dieser Stelle also vermuten, dass im Cued-TS das Aufgabenset ständig aktualisiert und das nicht benötigte Set aktiver im Arbeitsgedächtnis gehalten werden müsste als bei geplanten Wechseln. Somit sollte im Cued-TS in Wechsel- und Wiederholungstrials Arbeitsgedächtnisaktualisierung benötigt werden und im AR-TS nur in den Wechseln, sodass die Wechselkosten im Cued-TS keinen oder nur geringen Arbeitsgedächtniseinfluss widerspiegeln, aber im AR-TS durch Arbeitsgedächtnisaktualisierung beeinflusst würden (Minear & Shah, 2008; Pereg, Shahar & Meiran, 2013). Als Evidenz für die stärkere Beteiligung der Arbeitsgedächtnisaktualisierung am AR-TS als am Cued-TS interpretieren Pereg, Shahar und Meiran (2013) u. a. auch oben erwähnte Studie von Miyake und Kollegium (2000). Diese fanden eine moderate Korrelation zwischen einem Arbeitsgedächtnisaktualisierungsfaktor und einem Aufgabenwechselfaktor. Zwei der drei genutzten Aufgabenwechselfaktoren seien im AR-TS gewesen und eine im Cued-TS. Die Aufgabe im Cued-TS habe als einzige nicht signifikant mit den Arbeitsgedächtnisaufgaben korreliert. Diese Überlegungen bedeuten also, dass in einem AR-TS-Training die Arbeitsgedächtnisleistung eine große Rolle spielen könnte. In einem Cued-TS-Training hingegen andere Faktoren wie die Inhibition oder Vorbereitungsprozesse eine wichtige Rolle spielen. Um ein inhibitionsfokussiertes Aufgabenwechseltraining zu konzipieren, scheint also das Cued-TS als Grundlage besser geeignet als das AR-TS.

Die Wechselkosten setzen sich zusammen aus der Vorbereitungszeit (Cue-Stimulus-Intervall), dem „Aufgabensetzerfall“ („Task-Set-Decay“), welcher besagt, dass die Repräsentation des aktuellen Aufgabensets geringer wird, je länger das Reaktions-Cue-Intervall ist und den Residualkosten sowie der Valenz (uni- oder multivalent) der Stimuli (Meiran, Gotler & Perlman, 2001; Monsell, 2003). Letztere erhöht die Inhibitionsanforderungen (Koch et al., 2010).

Die Grundlage der Mixingkosten scheint etwas weniger umstritten zu sein. Nach einer häufigen Definition scheinen sie die Fähigkeit abzubilden, multiple Aufgabensets im Arbeitsgedächtnis aufrechtzuerhalten und zu selektieren (Mayr, 2001; Karbach & Kray, 2009; Verhaeghen, 2011). Dennoch ist fraglich, ob diese Erklärung auch für das Cued-TS gilt. Rubin und Meiran (2005) vermuten, dass Mixingkosten im Cued-TS die

Kontrolle von Aufgabenambiguität darstellen würden. Sie stellten diese Hypothese der Arbeitsgedächtnishypothese gegenüber. In einem Cued-TS-Experiment manipulierten sie die Stimulusambiguität, indem sie Bedingungen präsentierten, in denen die Stimuluseigenschaften für beide Aufgaben oder nur für eine Aufgabe relevant waren. In einem anderen Cued-TS-Experiment erhöhten sie die Arbeitsgedächtnisbelastung durch zusätzliche Stimulus-Reaktions-Beziehungen, aber kontrollierten die Stimulusambiguität. Sie fanden Evidenz für die „Ambiguitätshypothese“, aber keine Evidenz für die „Arbeitsgedächtnishypothese“. Es erscheint schlüssig, dass Mixingkosten im Cued-TS weniger durch Arbeitsgedächtnisprozesse bestimmt sind als durch Prozesse zur Interferenzlösung wie Inhibition, da die Arbeitsgedächtnisleistung in diesem Paradigma weniger relevant erscheint (s. o.).

Alterskorrelierte Veränderungen können konstant nur bei den Mixingkosten und weniger bei den Wechselkosten gezeigt werden. Diese Befunde werden oft durch eine Abnahme der Arbeitsgedächtnisleistung erklärt: Den Probanden und Probandinnen falle es schwer, Vorbereitungsprozesse zu initiieren, das Aufgabenset abzurufen, zu selektieren und aufrechtzuerhalten (Karbach & Kray, 2009; Mayr, 2001; Verhaeghen, 2011; Lawo et al., 2012; Wasylshyn, Verhaeghen & Sliwinski, 2011). Diese Veränderungen könnten linear ablaufen, wie Anguera und Kollegium (2013) anhand einer Aufgabe im Doppelaufgabenparadigma zeigten. Bei diesem Paradigma werden zwei Aufgaben gleichzeitig bearbeitet, was am ehesten den Arbeitsgedächtnisprozessen in den Mixingkosten nachkommen sollte (Verhaeghen, 2011).

Einige Studien zeigten jedoch auch alterskorrelierte Abnahmen in den Wechselkosten, die meist unter Verwendung des Cued-TS-Paradigmas auftraten (z. B. Meiran, Gotler & Perlman, 2001; Kray, Li & Lindenberger, 2002; Jolly et al., 2017). Meiran, Gotler und Perlman (2001) manipulierten in verschiedenen Experimenten die Stimulusvalenz, das Cue-Stimulus-Intervall sowie das Reaktions-Cue-Intervall. Sie zeigten alterskorrelierte Leistungsabnahmen in Mixing- und in Wechselkosten. In den Wechselkosten zeigten sie zudem eine intakte Vorbereitung. Dieses Ergebnis steht konträr zu Lawo und Kollegium (2012), die im Cued-TS eine verringerte Vorbereitungsleistung bei Senioren zeigten. Mittlere alterskorrelierte Abnahmen zeigten Gotler und Perlman (2001) beim Aufgabensetzerfall, wo der Zerfall bei älteren Menschen später einsetzte als bei jüngeren. Einen großen Alterseffekt fanden sie bei den Residualkosten. Die Autoren geben an, dass diese Ergebnisse nicht durch eine generelle Verlangsamung

der Verarbeitungsgeschwindigkeit zu erklären seien, da bei dieser Erklärung alle an den Wechselkosten beteiligten Faktoren hätten alterskorreliert verringert sein müssen. Sie geben weiterhin an, dass die Ergebnisse nicht im Sinne der Inhibitionsdefizithypothese interpretiert werden sollten, sondern eher im Sinne einer erhöhten Interferenz. Aus Sicht des Autors der vorliegenden Arbeit könnten die Ergebnisse, unter Berücksichtigung der zuvor vorgestellten Studien und Überlegungen, jedoch im Sinne eines Inhibitionsdefizites gesehen werden, wenn man die Inhibition als eine Möglichkeit zur Interferenzlösung betrachtet. In einer neueren Untersuchung zeigten Jolly und Kollegium (2017) große alterskorrelierte Abnahmen in den Mixingkosten und geringere, aber signifikante Abnahmen in den Wechselkosten. Dies steht im Kontrast zu Befunden von Kray, Li und Lindenberger (2002), die im Cued-TS größere alterskorrelierte Abnahmen in den Wechsel- als in den Mixingkosten zeigten, wobei der Alterseffekt auf die Mixingkosten kaum vorhanden war. Sie vermuten eine Verbindung zur Aufgabenungewissheit, denn mit steigender Anzahl an Aufgabensets werde der Alterseffekt auf die Wechselkosten größer, aber nicht auf die Mixingkosten. Dies deutet wieder darauf hin, dass Arbeitsgedächtnisprozesse nur gering am Cued-TS beteiligt sind und die hohen alterskorrelierten Abnahmen der Wechselkosten nicht durch Arbeitsgedächtnisprozesse, sondern eher durch die Kontrolle der Interferenz durch überlappende Aufgabensets erklärbar sein könnten.

Evidenz dafür, dass Arbeitsgedächtnisprozesse auch nicht am nahen Transfer von Aufgabenwechsellernaufgaben beteiligt sein müssen, liefern Minear und Shah (2008) in der bis dahin ersten Aufgabenwechseltrainingsstudie im Cued-TS. Sie trainierten Studierende entweder im Cued-TS oder im AR-TS und untersuchten den nahen Transfer auf diese beiden Aufgabenwechselparadigmen. Die Arbeitsgedächtnisanforderungen hielten sie dabei gering, indem sie in allen Aufgaben Cues gaben. Sie zeigten, dass nur Cued-TS zu einem Transfer führte, wobei dieser jedoch nur für die Mixingkosten eindeutig und für die Wechselkosten weniger eindeutig erschien. Zudem beschreiben die Autoren, dass der Transfer auf Trials, die auf einen Wechsel folgten, am stärksten war. Sie vermuten, dass die Studierenden erlernten, Interferenz durch konkurrierende Aufgabensets zu lösen. Ein großer Kritikpunkt an dieser Studie ist sicherlich das geringe Alter der Probandinnen und Probanden, was dazu geführt haben könnte, dass der Transfer nur eingeschränkt möglich war, weil kognitive Alterungsprozesse noch nicht eingesetzt haben könnten.



Eine vielbeachtete Trainingsstudie mit Seniorinnen und Senioren ist jene von Karbach und Kray (2009), die im AR-TS-Paradigma Kinder, junge Erwachsene sowie Seniorinnen und Senioren über vier nichtadaptive Trainingssitzungen trainierten. Sie untersuchten nahen Transfer auf eine andere AR-TS-Aufgabe sowie fernen Transfer auf verbales und visuelles Arbeitsgedächtnis, Stroop-Test sowie logisches Denken. Sie zeigten in allen Altersgruppen nahen Transfer in Mixing- und in Wechselkosten, wobei die Mixingkosten bei Kindern und Senioren besonders stark verbessert wurden. Auch fernen Transfer konnten sie in allen Altersgruppen auf alle vier getesteten Bereiche zeigen. Sie geben an, dass an ihrem Training Arbeitsgedächtnisprozesse, Interferenzresolution oder Inhibition und Aufgabenselektion beteiligt gewesen seien. Somit könne jede dieser exekutiven Funktionen transferiert worden sein.

Pereg, Shahar und Meiran (2013) gehen davon aus, dass Karbach und Kray (2009) keine generelle exekutive Komponente trainierten, sondern Arbeitsgedächtnisleistungen. Sie replizierten Karbach und Krays Paradigma und konnten auch den nahen Transfer auf die Mixing- und Wechselkosten im N-2-AR-TS replizieren. Sie fanden jedoch keinen Transfer auf Cued-TS sowie auf N-3-AR-TS. Sie argumentieren, dass Karbach und Kray eher Arbeitsgedächtnis trainierten und dieses aber nur sehr aufgabenspezifisch transferiert wurde, sodass in ihrer Replikation kein nah-ferner Transfer induziert werden konnte. Letzteres Ergebnis kann als leichte Evidenz für die Expertiseaufbauhypothese gedeutet werden.

Den Einfluss von Arbeitsgedächtnis und Inhibition am Aufgabenwechseltraining untersuchten Kray und Fehér (2017). Sie manipulierten in einem AR-TS die Arbeitsgedächtnisanforderungen durch Hinzufügen von Cues und die Inhibitionsanforderungen durch Präsentieren von bi- oder univalenten Stimuli. Als Kontrollgruppe diente ein Einzelaufgabentraining. Junge und ältere Versuchsteilnehmende zeigten im Training Verbesserungen in den Wechselkosten und zudem einen nahen Transfer auf die Mixingkosten einer anderen Aufgabenwechsellernaufgabe. Interessanterweise war der Transfer bei jungen Erwachsenen unabhängig von Arbeitsgedächtnis- oder Inhibitionsanforderungen, während ältere Erwachsene einen stärkeren Transfer des inhibitionsfokussierten Trainings zeigten. Im Gegensatz zu Karbach und Kray (2009) konnten sie in dieser Untersuchung keinen fernen Transfer auf die auch oben untersuchten Domänen vorfinden. Dieses Ergebnis sei laut Kray und Fehér (2017) eher im Einklang mit der Literatur zum kognitiven Training als das Ergebnis von 2009. Aus Sicht des Autors

waren möglicherweise die Inhibitionsanforderungen durch das AR-TS nicht hoch genug oder die Überlappung der Inhibitionsanforderungen zu gering, um einen fernen Transfer zu induzieren. Die Untersuchung gibt jedoch Hinweise darauf, dass inhibitionsfokussiertes Training bei Senioren erfolgversprechend sein könnte.

Als Beispiel für einen fernen Transfer zeigten Gaál und Czigler (2018) in einem adaptiven, acht Mal einstündigen Cued-TS-Training mit passiver Kontrollgruppe sowie jungen und älteren erwachsenen Probandinnen einen nahen und fernen Transfer. Nach dem Training verbesserten sich die Seniorinnen im Aufgabenwechseln auf das Niveau der jungen Probandinnen, wobei naher Transfer nur in den Mixingkosten auftrat. Als fernen Transfer nutzten sie u. a. den auch in dieser Arbeit genutzten Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test. Sie konnten keinen fernen Transfer auf Arbeitsgedächtnisparadigmen oder im Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test (siehe Kap. 1.5) auf das exekutive Aufmerksamkeitsnetzwerk zeigen. Allerdings fanden sie Verbesserungen im Aktivierungs- und Orientierungsnetzwerk. Als ursächlich für den fernen Transfer nahmen sie an, dass an den beiden Netzwerken und an ihrer Trainingsaufgabe Prozesse zum Aufmerksamkeitswechsel, zur Konfliktdetektion sowie zur Distraktorinhibition beteiligt gewesen seien. Dies gibt auch Evidenz zu obiger Vermutung bezüglich des fehlenden fernen Transfers von Kray und Fehér (2017) im AR-TS, denn im Cued-TS sollte die Anforderung an die Interferenzlösung oder Inhibition höher sein als im AR-TS und somit den Transfer bedingen können.

In den bisherigen Kapiteln wurden die Verarbeitungsgeschwindigkeit und die Inhibitionsfähigkeit als mögliche Generalfaktoren des kognitiven Alterns vorgestellt und ihre Rolle an Alterungs- und Interventionsprozessen beschrieben (Kap. 1.1 – 1.2.2.1). Im Rahmen der Inhibitionsdefizithypothese wurde ausgearbeitet, dass die Inhibition in Alterungs- und Trainingsprozessen eine größere Rolle spielen könnte als die Verarbeitungsgeschwindigkeit (Kap. 1.2.2.1; 1.4). Es wurde zudem vermutet, dass kognitive Funktionen zwischen Trainings- und Transferaufgaben stark überlappen sollten, um einen fernen Transfer induzieren zu können. Es wurden Studien vorgestellt, die in verschiedenen Trainingsparadigmen fernen Transfer induzieren oder nicht induzieren konnten (Kap. 1.3; 1.4). Mit Fokus auf das Aufgabenwechseln wurde ferner Transfer mit Inhibitionsprozessen in Verbindung gebracht (Kap. 1.4). Ferner Transfer könnte also durch das Training von Inhibitionsprozessen zu Stande kommen, sofern diese eine kritische Komponente der Trainingsaufgabe sind und auch an der Transferaufgabe

beteiligt sind (Kap. 1.3; 1.4). Es wurde erarbeitet, dass Inhibition am Cued-TS stärker beteiligt sein sollte als am AR-TS und somit ersteres eher in Richtung eines inhibitionsfokussierten Aufgabenwechseltrainings modifiziert werden könnte (Kap. 1.4).

Im Folgenden werden nun Alterungsprozesse in den Domänen, in denen ein ferner Transfer vermutet wird, vorgestellt. Diese sind Aufmerksamkeitsnetzwerke, Arbeits- und Langzeitgedächtnisprozesse sowie Reaktionsinhibition (siehe Kap. 1.2.2.1 für Reaktionsinhibition). Besonderer Fokus soll dabei auf den Zusammenhang mit der Inhibitionsdefizithypothese gelegt werden.

## **1.5 Aufmerksamkeit im höheren Lebensalter**

Aufmerksamkeit kann als ein internaler kognitiver Prozess definiert werden, der dazu dient, den Fokus auf saliente Reize oder aktuelle Ziele auszurichten, was auch das Distraktormanagement beinhaltet (Posner & Petersen, 1989; Zhou et al., 2011). Die selektive Aufmerksamkeit kann nach Posner und Petersen (1989; überarbeitete Übersicht: Petersen & Posner, 2012) in drei neuronale Netzwerke zur Aktivierung („Alerting“), Orientierung („Orienting“) und exekutiven Aufmerksamkeit („executive control“/„attention“) gegliedert werden.

Das Aktivierungsnetzwerk dient der tonischen und phasischen Aktivierung und Aufrechterhaltung eines aktivierten („alerten“) Status. Neuronal seien an diesem Netzwerk der locus coeruleus, frontale Bereiche sowie Bereiche des dorsalen visuellen Pfades beteiligt. Auf Neurotransmitterebene sei das norepinephrine System beteiligt.

Das Orientierungsnetzwerk dient der Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf Informationen aus dem sensorischen Input. Neuronal seien an diesem Netzwerk der superiore Parietallappen, der temporoparietale Übergang und das frontale Augenfeld beteiligt. Der beteiligte Neurotransmitter sei Acetylcholin.

Das exekutive Aufmerksamkeitsnetzwerk dient der Selbstregulation im Sinne der Konfliktlösung durch Detektion und Inhibition von Distraktorinformationen. Funktionell neuroanatomisch seien der Anteriore Cinguläre Cortex und Bereiche des präfrontalen Cortex und auf Transmitterebene besonders Dopamin beteiligt.

Nach Fan, McCandliss, Sommer, Raz und Posner (2002) seien diese Netzwerke zwar nicht miteinander korreliert, sie interagierten aber miteinander, um Aufmerksamkeitsprozesse durch koordinierte Aktivität zu realisieren.

Die Funktion dieser drei Netzwerke könne durch den von Fan und Kollegium (2002) entwickelten, weit verbreiteten Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test (ANT) („Attention-Network-Test“) erfasst werden (siehe Kap. 2.6). Im ANT wird die Eriksen Flankeraufgabe (Eriksen & Eriksen, 1974) mit Posners Räumlicher-Cueing-Aufgabe („spatial-cueing-task“) (Posner, 1980) kombiniert. Die Versuchsteilnehmenden fixieren ein Fixationskreuz und es werden ihnen entweder ober oder unter dem Fixationskreuz Cues verschiedener Valenz (räumlich valide, zentral, Doppelpcue) oder kein Cue dargeboten. Im Anschluss wird der Zielreiz, ein Pfeil, der nach rechts oder links zeigt, dargeboten. Dieser wird von vier weiteren Distraktorpfeilen, die entweder kongruent, inkongruent oder neutral zum Zielpfeil sein können, flankiert. Die Aufgabe ist es, die Reaktions-taste zu betätigen, in deren entsprechende Richtung der Zielpfeil deutet. Die Reaktionszeiten und Fehlerraten in den verschiedenen Cue- und Flankerbedingungen können nach Fan und Kollegium (2002) zur Effektivität der drei Netzwerke verrechnet werden (siehe Kap. 2.6).

Durch erhöhtes Alter scheint die Interaktion zwischen diesen drei Netzwerken nicht beeinflusst zu werden und die Netzwerke scheinen genauso separiert zu sein wie im jüngeren Lebensalter (Mahoney et al., 2010; Gamboz, Zamarian & Cavallero, 2010). Die Netzwerke könnten jedoch unterschiedlich durch Alterungsprozesse beeinflusst werden (Jennings et al., 2007; Zhou et al., 2011; Williams et al., 2016). Laut Rogers (2000) oder Jennings und Kollegium (2007) sei die Literatur zu Alterungsprozessen in der Aufmerksamkeit sehr uneindeutig. In manchen Fällen sei die Aufmerksamkeit durch Altern beeinflusst, und in manchen nicht. Auch sei der Einfluss der reduzierten Verarbeitungsgeschwindigkeit auf Alterungsprozesse in der Aufmerksamkeit uneindeutig. Jennings und Kollegium (2007) verglichen die Leistungen von jungen und älteren Erwachsenen in den drei Netzwerken einmal mit und einmal ohne Kontrolle der altersbezogenen Verlangsamung. Zur Kontrolle wurden die Daten z-transformiert. Im Orientierungsnetzwerk konnten sie mit und ohne Korrektur keine Interaktion mit dem Alter zeigen. Im exekutiven Netzwerk reagierten die Versuchsteilnehmenden langsamer auf inkongruente Distraktoren. Dieser Effekt wurde jedoch durch die z-Transformation aufgehoben, weswegen die Autoren ihn durch eine generelle Verlangsamung erklärten. Im Aktivierungsnetzwerk zeigten sie eine verringerte Reaktion auf den Cue im Vergleich zu einer jüngeren Stichprobe. Dieser Effekt trat auch nach der z-Transformation auf und sei deswegen nicht durch eine verringerte Verarbeitungsgeschwindigkeit zu erklären. Unter anderem Gamboz, Zamarian und Cavallero (2010) konnten

die obigen Ergebnisse replizieren: Dies jedoch mit der Ausnahme, dass sie vor der Korrektur der Reaktionsgeschwindigkeit auch Altersunterschiede im Orientierungsnetzwerk zeigen konnten. Im Gegensatz zu den beiden vorgenannten Studien untersuchten Zhou und Kollegium (2011) drei Altersgruppen, nämlich junge Erwachsene (20-38 Jahre), mittelalte Erwachsene (40-59) und ältere Erwachsene (61-80). Sie nutzten zur Kontrolle der altersbedingten kognitiven Verlangsamung nicht das Verfahren von Jennings et al., sondern berechneten „ratio-scores“, bei denen die mittlere Reaktionszeit für jede Bedingung durch die mittlere Gesamtreaktionszeit dividiert wurde. Dieses Verfahren setzten u. a. auch Gamboz, Zamarian und Cavallero (2010) ein, so dass die im Folgenden beschriebenen Unterschiede zwischen den Studien nicht auf das Korrekturverfahren zurückzuführen sind. Genau wie die vorherigen Studien konnten Zhou und Kollegium (2011), unabhängig vom Vorliegen einer Korrektur, keine Interaktion zwischen Altern und dem Orientierungsnetzwerk zeigen. Im Aktivierungsnetzwerk zeigten Ältere geringere Aktivierung als Junge und Mittelalte, zwischen denen kein Unterschied bestand. Interessant ist bei diesem Ergebnis jedoch, dass die Autoren aller drei Studien angeben, dass der Zusammenhang zwischen Altern und Aktivierung nur bestehe, wenn der Cue für 100 ms dargeboten werde. Bei einer Darbietungszeit von 500 ms (z. B. Fernandez-Duque & Black, 2006) verbessere sich der Aktivierungseffekt. Alle drei Autoren interpretieren dieses Ergebnis in Form einer reduzierten Daueraufmerksamkeit und Stärkung der selektiven Aufmerksamkeit bei längerer Darbietungszeit des Cues.

Im Gegensatz zu den ersten beiden Studien konnten Zhou und Kollegium (2011) auch nach der Korrektur der verlangsamten Verarbeitungsgeschwindigkeit einen Zusammenhang zwischen Altern und dem exekutiven Aufmerksamkeitsnetzwerk zeigen. Dieser steige mit steigendem Alter an, was auch eine Begründung für das von anderen Studien divergierende Ergebnis sei. Da exekutive Defizite bereits früh einsetzen, argumentieren sie, dass dieses Ergebnis in anderen Studien nicht gefunden wurde, weil in der Regel nur zwei Altersgruppen miteinander verglichen wurden. Sie interpretierten das Ergebnis als ein Inhibitionsdefizit bei älteren Senioren und Seniorinnen und gaben an, dass der Effekt der verringerten Verarbeitungsgeschwindigkeit eher gering ausfiel und sich auf alle drei Netzwerke hätte ausgewirkt haben müssen.

Williams und Kollegium (2016) untersuchten neben behavioralen auch elektrophysiologische Korrelate zu den drei Aufmerksamkeitsnetzwerken im Zusammenhang mit

Alterungsprozessen. Sie verglichen eine junge und eine alte Gruppe. Sie fanden in den behavioralen Maßen nach der Korrektur der Reaktionsgeschwindigkeit wiederum nur einen Zusammenhang zwischen Altern und dem Aktivierungsnetzwerk. Elektrophysiologisch zeigte sich jedoch in ereigniskorrelierten Potenzialen, die mit dem Aktivierungsnetzwerk oder Orientierungsnetzwerk in Verbindung gebracht werden, kein Unterschied zwischen jungen und älteren Versuchsteilnehmern. Dazu, dass es behaviorale Altersunterschiede im Aktivierungsnetzwerk gab, aber keine elektrophysiologischen, vermuten Williams und Kollegium (2016), dass es im Aktivierungsnetzwerk möglicherweise keine altersbedingten Veränderungen gebe. Sie führen an, dass Ältere im Vergleich zu Jüngeren versuchten, genauer zu reagieren, während Jüngere versuchten, schneller zu reagieren (Starns & Ratcliff, 2010; Forstmann et al., 2011). In ereigniskorrelierten Potenzialen, die mit dem exekutiven Netzwerk in Verbindung ständen (frontale N2 und P3 auf der Mittellinie), zeigten sich jedoch alterskorrelierte Veränderungen. Nach Williams und Kollegium (2016) werde die N2 in Verbindung mit der Interferenzlösung gebracht und die P3 mit der Stimulusdetektion und habe bei Flankeraufgaben an zentralen und parietalen Bereichen eine geringere Amplitude und erhöhte Spitzenlatenz bei inkongruenten im Vergleich zu kongruenten Stimuli. In Williams et al.s Studie zeigten jüngere Probandinnen und Probanden eine größere N2-Amplitude bei kongruenten im Vergleich zu inkongruenten Zielreizen. Bei Seniorinnen und Senioren war dieses Potenzial nicht durch das Ziel beeinflusst. In anderen Studien zur Flankeraufgabe sei die frontale-N2 bei Senioren teilweise auch gar nicht vorhanden. Die P3 war bei Älteren im Vergleich zu Jüngeren verzögert, was aber auch durch eine generelle Verlangsamung erklärbar sei. Im Vergleich zu Jüngeren war die P3-Amplitude jedoch bei inkongruenten Zielreizen verringert. Williams und Kollegium beschreiben, dass die ereigniskorrelierten Potenziale zur selektiven Aufmerksamkeit bei Senioren und jungen Erwachsenen gleich seien. Ein Unterschied bestehe auf Reaktionsebene bei der Interferenzlösung.

Insgesamt können, wie schon Rogers (2000) oder Jennings und Kollegium (2007) bemerkten, die Befunde zu Alterungsprozessen in den Aufmerksamkeitsnetzwerken als uneindeutig eingestuft werden. Dass Effekte teilweise auch noch nach der Kontrolle der altersbezogenen Verlangsamung gezeigt werden können, deutet darauf hin, dass Altersunterschiede in der Aufmerksamkeit nicht allein durch die Verarbeitungsgeschwindigkeitstheorie (Salthouse, 2000) erklärbar sind. Die Studien von Zhou und Kollegium (2011) sowie Williams und Kollegium (2016) deuten darauf hin, dass

exekutive Funktionen, und besonders Inhibitionsmechanismen an Altersunterschieden beteiligt sein könnten. Williams und Kollegium (2016) vermuten zu der Diskrepanz zwischen behavioralen und elektrophysiologischen Daten beim Aktivierungsnetzwerk auch einen alterskorrelierten Zusammenhang zwischen Aktivierungsnetzwerk und exekutivem Aufmerksamkeitsnetzwerk, den sie jedoch nicht überprüfen konnten. Unter Berücksichtigung der in Kap. 1.4 vorgestellten Studie von Gaál und Czigler (2018) kann davon ausgegangen werden, dass Inhibitionsmechanismen über ein Aufgabenwechseltraining auf den ANT transferiert werden könnten. Dieser sollte, in Anlehnung an Zhou und Kollegium (2011), besonders auf das exekutive Aufmerksamkeitsnetzwerk stattfinden. Aber nach Williams und Kollegium (2016) könnte der Transfer auch auf das Aktivierungsnetzwerk übergreifen. Altersunabhängig könnten Prozesse im Orientierungsnetzwerk verbessert werden. Für eine ausführlichere Formulierung der Hypothesen siehe Kap. 1.9.

Sollte die Inhibition von Distraktoren durch das inhibitionsfokussierte Aufgabenwechseltraining verbessert werden, ist es auch wahrscheinlich, dass das Filtern von Distraktoren im Arbeitsgedächtnis verbessert werden könnte. Dies wird im Folgenden genauer beschrieben.

## **1.6 Alterungsprozesse beim Filtern und der Veränderungsdetektion im visuellen Arbeitsgedächtnis**

Das Arbeitsgedächtnis kann nach dem „Embedded-Processes-Model of Working Memory“ (Cowan, 1998, 1999; Cowan, Morey & Naveh-Benjamin, 2021) als eine Ansammlung verschiedener kognitiver Prozesse verstanden werden, die dazu beitragen, Informationen in einem gut zugänglichen Zustand im Gedächtnis zu halten. Die Informationen könnten dann genutzt werden, um sie an komplexeren kognitiven Leistungen zu beteiligen. Anders als im ebenfalls populären „Mehrkomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses“ nach Baddeley und Hitch (1974; Baddeley, 2000) sei das Arbeitsgedächtnis bei Cowan Teil des Langzeitgedächtnisses und umfasse eine Anzahl temporär aktiver Elemente, die im und außerhalb des Aufmerksamkeitsfokus stünden. Ähnlich wie im „Mehrkomponentenmodell“ postuliert Cowan eine zentrale Exekutive im Arbeitsgedächtnis. Bei Cowan steuere diese die Aufmerksamkeitsausrichtung auf die Informationen. Laut Cowan (2001) oder Luck und Vogel (1997) betrage die Kapazität für gleichzeitig im Fokus des visuellen Arbeitsgedächtnisses stehende Informationseinheiten vier Einheiten und ohne erneute Aktivierung bestehe eine aufgebaute

Aktivierung ca. zehn bis 20 Sekunden. Zudem seien die Arbeitsgedächtnisinhalte nicht unbedingt modular aufgebaut, sondern interferieren, basierend auf dem Überlappen einiger Informationseigenschaften, miteinander. Dies ermögliche die Bindung von verschiedenen Informationen. Neuropsychologisch sei das Arbeitsgedächtnis im „Embedded-Processes-Model“ mit frontoparietalen Aufmerksamkeitsnetzwerken und posterioren Regionen assoziiert. Nach Buchner und Brandt (2009) sei Cowans Modell mit einer Vielzahl empirischer Befunde kompatibel und sei vereinbar mit Befunden, welche durch Baddeleys Modell nicht abgedeckt würden. Cowan, Morey und Naveh-Benjamin (2021) geben einen aktuellen Überblick über das „Embedded-Processes-Model of Working Memory“.

In Bezug auf das kognitive Altern vermuten Cowan, Morey und Naveh-Benjamin (ebd.), dass ältere Menschen Defizite darin entwickeln könnten, die Aufmerksamkeit fehlerfrei auszurichten. Dies entspricht den Annahmen zur Inhibitionsdefizithypothese. Evidenz für ein Inhibitionsdefizit bei Senioren im visuellen Arbeitsgedächtnis geben u. a. Gazzaley und Kollegium (2005; 2008). Sie präsentierten den Versuchsteilnehmenden in randomisierter Reihenfolge Stimuli, die sie enkodieren oder ignorieren sollten. Nach einem neun Sekunden Retentionsintervall wurde den Versuchsteilnehmenden ein Zielstimulus gezeigt, welcher der zu memorierenden Kategorie entsprach. Sie sollten entscheiden, ob der Stimulus zuvor präsentiert wurde oder nicht. Auf Verhaltensebene zeigen ältere eine geringere Genauigkeit beim Abruf als jüngere Erwachsene, aber keine verringerte Reaktionsgeschwindigkeit. Auf neuronaler Ebene zeigten Ältere in der funktionellen Magnetresonanztomographie (2005) Defizite darin, kortikale Aktivität, die mit aufgabenirrelevanten Informationen assoziiert ist, zu unterdrücken, wobei die Aktivierung bei aufgabenrelevanter Aktivität erhalten erschiene. In einer Elektroenzephalographiestudie mit gleichem Paradigma versuchten Gazzaley und Kollegium (2008), die Inhibitionsdefizithypothese und die Verarbeitungsgeschwindigkeitstheorie in ihren Auswirkungen auf das visuelle Arbeitsgedächtnis zu dissoziieren. Ihre Daten deuten darauf hin, dass ältere Erwachsene im Vergleich zu jüngeren in frühen Verarbeitungsschritten mehr Aktivität bei irrelevanten Stimuli zeigen und zudem die Inhibition eher zeitlich verzögert als geschädigt sei. Es gebe also eine Interaktion von Inhibitionsdefizit und genereller kognitiver Verlangsamung.

Ein populäres Verfahren zur Erfassung der Kapazität und Distraktorkontrolle des visuellen Arbeitsgedächtnisses ist das „Veränderungsdetektionsparadigma“ (Luck &



Vogel, 1997; Vogel, McCollough & Machizawa, 2005) (aufgrund des auch im Deutschen geläufigen englischsprachigen Fachbegriffs wird hier weiterhin von „Change Detection“ gesprochen). Im Change Detection Paradigma wird den Probandinnen und Probanden für ca. eine Sekunde ein Display mit unterschiedlichen Setgrößen von Objekten dargeboten. Dies können entweder einfache Objekte sein, komplexere Objekte oder Kombinationen von Objekteigenschaften, wie Objekt und Ort oder Objekt und Farbe. Nach einem kurzen Retentionsintervall von wiederum ca. einer Sekunde sehen die Versuchsteilnehmenden wieder ein neues Display, welches entweder mit dem vorherigen übereinstimmt oder in einem Objekt variiert. Die Aufgabe der Versuchsteilnehmenden ist es, zu entscheiden, ob das Lern- und das Testdisplay miteinander übereinstimmen. In einer Version mit Filterbedingung kann der Einfluss von Distraktorinterferenzen ermittelt werden (z. B. Vogel, McCollough & Machizawa, 2005; Jost, Bryck, Vogel & Mayr, 2011; Li, He, Wang, Hu & Guo, 2017). In diesem Paradigma werden die Zielobjekte mit zusätzlichen Distraktorobjekten präsentiert, zu denen die Probandinnen und Probanden im Vorfeld instruiert werden, sie zu ignorieren. Über elektrophysiologische Erhebungen oder das so genannte „unnötige Speicherung“-Maß („Unnecessary Storage“) (Li et al., 2017) kann die Filtereffektivität für Distraktorreize ermittelt werden (siehe Kap. 2.7.2). Als ein elektrophysiologisches Maß für die Belastung des Arbeitsgedächtnisspeichers erscheint die kontralateral verzögerte Aktivität („Contralateral-Delay-Activity“), deren Amplitude mit der Anzahl gleichzeitig im Speicher gehaltener Informationen ansteigt (z. B. Vogel, McCollough & Machizawa, 2005; Li et al., 2017; Jost et al., 2011; Ko et al., 2014; Luria, Balaban, Awh & Vogel, 2016). In einer Change Detection Studie mit Filterbedingung zeigten Vogel, McCollough und Machizawa (2005), dass Probandinnen und Probanden, die geringe Leistungen in der Filteraufgabe erbrachten, eine höhere kontralateral verzögerte Aktivitäts-Amplitude zeigten als jene mit höheren Leistungen. Dies deutet darauf hin, dass bei geringerer Leistung mehr irrelevante Informationen gespeichert würden als bei hoher Leistung. Luria, Balaban, Awh und Vogel (2016) beschreiben in einer Metaanalyse, dass eher die Filtermechanismen als die Arbeitsgedächtniskapazität für interindividuelle Leistungsunterschiede verantwortlich seien.

Li, He, Wang, Hu und Guo (2017) untersuchten, ob die Filterleistung im Change Detection Paradigma bei jungen Menschen mit niedriger Arbeitsgedächtniskapazität durch Change Detection Training verbessert werden kann. Über 20 Sitzungen trainierten die Versuchsteilnehmenden mit geringer Leistung in diversen Change Detection

Aufgaben ihre Filterfunktion. Im Transfer zeigte sich eine Verbesserung in der Gedächtniskapazität und auch die kontralateral verzögerte Aktivität näherte sich derjenigen der hochleistenden Versuchsteilnehmenden an. Zudem transferierte der Trainingseffekt auf das verbale Arbeitsgedächtnis. Diese Studie gibt also Hinweise darauf, dass ein Training der Distraktoringhibition im Change Detection zu einem nahen Transfer führen könnte. Sollte in der vorliegenden Arbeit die generelle Kapazität zur Distraktoringhibition gesteigert werden, dann sollte auch das inhibitionsfokussierte Aufgabenwechseltraining zu einer Verbesserung im Change Detection mit Filter führen.

Eine potenzielle Einschränkung zu dieser Hypothese besteht jedoch darin, dass Jost, Bryck, Vogel und Mayr (2011) davon ausgehen, dass junge Erwachsene mit geringer Arbeitsgedächtniskapazität nicht vergleichbar seien mit Seniorinnen und Senioren. Genau wie Gazzaley und Kollegium (2008) zeigten Jost und Kollegium in einer elektrophysiologischen Untersuchung im Change Detection Paradigma alterskorrelierte Defizite in der Inhibition früh im Retentionsintervall. Altersunabhängige Inhibitionsdefizite zwischen Versuchsteilnehmenden mit hoher und geringer Arbeitsgedächtnisleistung traten aber erst im späteren Verlauf auf. Bezüglich der Konzeption eines Trainings geben Jost und Kollegium (2011) deswegen folgende Aussage: „Possibly the specific filtering deficit found in old adults requires an intervention that targets exclusion of irrelevant information during encoding of information into working memory in a more focused manner than existing interventions” (S. 1153). Ein Training, in dem früh Interferenz inhibiert werden muss, könnte also auch bei Senioren und Seniorinnen zu einer Verbesserung der Arbeitsgedächtniskapazität führen. Für eine ausführlichere Formulierung der Hypothesen siehe Kap. 1.9.

Dass Altersunterschiede in der Arbeitsgedächtniskapazität beim Change Detection auch ohne erhöhte Anforderungen an die Inhibitionsleistung auftreten könnten, zeigen u. a. Ko und Kollegium (2014). Sie nutzten ein Change Detection Paradigma ohne Distraktorstimuli. Den Versuchsteilnehmenden wurde ein Zieldisplay mit entweder zwei, drei oder vier farbigen Kreisen für 600 ms präsentiert. Nach einem zweisekündigen Retentionsintervall veränderte sich in 50 Prozent der Trials ein Stimulus auf dem Testbildschirm und die Probanden und Probandinnen mussten entscheiden, ob Ziel- und Testdisplay übereinstimmten. Die Autoren entschieden sich für diesen Versuchsaufbau und für diese einfachen Stimuli, da dabei die Anforderungen an die Assoziationsfähigkeit (siehe Kap. 1.7; 1.8) sowie die Inhibitionsleistung gering ausgeprägt seien

und sie haben untersuchen wollen, ob Altersunterschiede auch unabhängig von Assoziation und Inhibition bestünden. Zudem bauten sie eine verbale Enkodieraufgabe ein, um auch den Einfluss des verbalen Arbeitsgedächtnisses gering zu halten. Auf behavioraler Ebene verbesserten sich junge Erwachsene im K-Wert (siehe Kap. 2.7.1) (Cowan, 2001) mit steigender Setgröße, wohingegen sich Senioren nicht mit steigender Setgröße verbesserten. Auf elektrophysiologischer Ebene waren die P1 Komponente, welche mit sensorischem Enkodieren in Verbindung gebracht wird (Warbrick, Arubla, Boers, Neuner & Shah, 2014) sowie die kontralateral verzögerte Aktivität bei jungen und älteren Erwachsenen nicht unterschiedlich. Neuronal zeigte sich jedoch ein Unterschied im „alt-neu-Effekt“ während des Abrufes. Jüngere zeigten einen frühen positiven midfrontalen „alt-neu-Effekt“ und negativen occipitalen „alt-neu-Effekt“. In späteren Zeitabschnitten zeigten die Jüngeren einen anhaltenden positiven frontalen „alt-neu-Effekt“, während Ältere nur einen anhaltenden rechts lateralisierten parietalen „alt-neu-Effekt“ gezeigt hätten. Die Autoren interpretierten die Befunde insofern, dass beide Gruppen die gleiche Anzahl an Stimuli speicherten, aber bei Senioren eine geringere Auflösung der Stimuli gespeichert sei. Diese geringe Auflösung könne dadurch entstehen, dass nur junge Erwachsene durch Rekollektions- und Vertrauensprozesse das visuelle Arbeitsgedächtnis unterstützten. Der geringe frontale alt-neu-Effekt spräche bei Seniorinnen und Senioren gegen Rekollektion.

Sollte die Inhibitionsfähigkeit ein kognitiver Generalfaktor sein, so sollte auch im Change Detection ohne erhöhte Anforderungen an die Inhibitionsfähigkeit eine Verbesserung zu finden sein. In Anlehnung an die Inhibitionsdefizithypothese und das „Embedded-Processes-Model“ des Arbeitsgedächtnisses könnte die von Warbrick und Kollegium (2014) vermutete verringerte Auflösung durch Defizite auf der Zugangs- und Löschungsebene der Inhibition bestehen, indem die Stimuli aufgrund fehlender Rekollektion nicht korrekt im Arbeitsgedächtnis gehalten würden und gleichzeitig in den Aufmerksamkeitsfokus rückende, nicht inhibierte Informationen vorheriger Trials interferieren (siehe Hyperbinden in Kap. 1.8). Alternativ könnte auch eine generelle Verringerung der Verarbeitungsgeschwindigkeit dafür verantwortlich sein, dass die Objekte nicht korrekt enkodiert wurden. Behavioral wurde diese nicht kontrolliert.

Dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit am Enkodierdefizit im Change Detection beteiligt sein könnte, zeigten beispielsweise Pringle, Irwin, Kramer und Atchley (2001), indem ältere Probandinnen und Probanden mehr Zeit benötigen als jüngere, um eine

Veränderung zu detektieren. Eine Trainingsstudie von Gaspar, Neider, Simons, McCarley und Kramer (2013) versuchte, die Enkodiergeschwindigkeit im Change Detection zu trainieren. Sie nutzten eine einfache Change Detection Aufgabe und reduzierten adaptiv die Enkodierzeit. Junge und alte Versuchsteilnehmende verbesserten sich in der Trainingsaufgabe, aber keine der Gruppen zeigte einen nah-nahen Transfer im Vergleich zu einer Kontrollgruppe auf andere Change Detection Aufgaben. Die Autoren interpretierten die Ergebnisse insofern, dass das Training die Objektvertrautheit verbessert habe, aber nicht die dem Change Detection unterliegenden Mechanismen. Die Probanden seien Experten dafür geworden, spezifische Stimuli zu enkodieren, aber nicht dafür, Veränderungen zu detektieren. Diese Sichtweise deckt sich mit der „Expertiseaufbauhypothese“ (Strong & Alvarez, 2017). Diese Studie lässt weiterhin vermuten, dass eine verringerte Verarbeitungsgeschwindigkeit möglicherweise nicht an der postulierten geringeren Stimulusauflösung bei Senioren und Seniorinnen im einfachen Change Detection beteiligt ist. Allerdings ist die Evidenz für diese Vermutung eher gering, da nicht klar ist, ob Trainingsaufgaben tatsächlich zu einem nah-nahen oder nah-fernen Transfer führen können (siehe Kap. 1.3).

Ko und Kollegium (2014) berichten zwar, dass sie in ihrer Studie für ein Assoziationsdefizit (Kap. 1.7) und Inhibitionsdefizit (Kap.1.2.2.1) kontrolliert hätten, dennoch wurden Objekt-Ort-Assoziationen erlernt. Inwiefern ein Assoziationsdefizit mit Gedächtnisdefiziten in Verbindung gebracht wird, und wie dieses wiederum mit Inhibitionsdefiziten in Verbindung stehen könnte, soll im Folgenden diskutiert werden.

## **1.7 Assoziationsdefizithypothese und Inhibitionsdefizithypothese**

Während einige Aspekte des Gedächtnisses, wie beispielsweise das semantische oder das prozedurale Gedächtnis sowie Primingeffekte scheinbar nicht durch Alterungsprozesse beeinflusst werden, erscheinen andere Gedächtnisaspekte wie das episodische Gedächtnis durch Alterungsprozesse besonders stark beeinflusst (Nyberg et al., 2003; Rönnlund, Nyberg, Bäckman & Nilsson, 2005; siehe Nyberg et al., 2012, für eine Übersichtsarbeit). Das episodische Gedächtnis beschreibt den Bereich des Langzeitgedächtnisses, in dem persönliche Erfahrungen abgespeichert werden (z. B. Tulving, 1993; Nyberg et al., 2012). Am episodischen Gedächtnis seien der Hippocampus und der präfrontale Cortex in besonderem Maße beteiligte neuroanatomische Strukturen, die miteinander interagierten, wobei besonders der Hippocampus für Gedächtnisprozesse und der präfrontale Cortex primär im Abruf und der Strategienutzung beim

Enkodieren involviert erscheint (McIntosh, Nyberg, Bookstein & Tulving, 1997; Shing, Werkle-Bergner, Brehmer, Müller, Li & Lindenberger, 2010). In Bezug auf Alterungsprozesse scheint eher die Abnahme des Hippocampusvolumens als die Abnahme in präfrontalen Regionen mit altersbezogenen Gedächtnisdefiziten korreliert zu sein (Kramer et al., 2007; Silver et al., 2012).

Eine prominente Erklärung zur altersbezogenen Abnahme des episodischen Gedächtnisses besteht in der Assoziationsdefizithypothese (ADH) (z. B. Naveh-Benjamin, 2000; Old & Naveh-Benjamin, 2008a; Metaanalyse; 2008b; Naveh-Benjamin & Mayr, 2018). In der ADH wird angenommen, dass defizitäre Gedächtnisleistungen älterer Menschen in hohem Maße auf ein Defizit im Bilden von Assoziationen oder Binden („Binding“) von Informationen zurückzuführen seien und weniger auf Defizite im Memorieren von Einzelinformationen.

Naveh-Benjamin (2000) ließ junge und ältere Versuchsteilnehmende Assoziationen aus Wörtern erlernen (Experiment 2). In der Rekognitionsaufgabe wurde die Rekognitionsleistung für die einzelnen Wörter sowie die Assoziationen unter der Darbietung von Distraktoren erfasst. Ältere Menschen zeigten im Vergleich zu jüngeren sehr viel schlechtere Gedächtnisleistungen in der Assoziationsbedingung als in der Rekognition der einzelnen Wörter. In den folgenden Jahren wurde die ADH weiter ausgebaut und auch gegenüber anderen Hypothesen über Gedächtnisdefizite im höheren Lebensalter abgegrenzt (z. B. Smyth & Naveh-Benjamin, 2016). In weiteren Experimenten lieferten Naveh-Benjamin und Kollegium Evidenz dafür, dass ein Assoziationsdefizit (AD) eher bei unrelatierten Paaren als bei relatierten auftrete, und dass ein AD bei freiem Erinnern am größten und bei Rekognition am geringsten erscheine (Naveh-Benjamin, 2000). Außerdem konnte das AD auf weitere Stimulusmaterialien, wie Objektpaare (Naveh-Benjamin et al., 2003) oder Assoziationen zwischen Namen und Gesichtern (Naveh-Benjamin et al., 2004), ausgeweitet werden. Eine Übersicht zu Befunden zur ADH liefern Old und Naveh-Benjamin (2008) oder Naveh-Benjamin und Mayr (2018).

Während Naveh-Benjamin und Kollegium davon auszugehen scheinen, dass das Assoziationsdefizit durch eine verringerte Assoziationsleistung im höheren Lebensalter bedingt sei, scheinen Campbell, Hasher und Thomas (2010) (Campbell, Zimmerman, Healey, Lee & Hasher, 2012; Campbell, Trelle & Hasher, 2014; Campbell & Hasher, 2016) davon auszugehen, dass bei Senioren und Seniorinnen ein „Hyperbinden“

(„Hyperbinding“) vorliege. Als „Hyperbinden“ definieren sie die Erstellung von Assoziationen zwischen Ereignissen, die zeitlich oder räumlich zusammenhängen. Danach würden Senioren und Seniorinnen eher zu viele Informationen als zu wenige binden und somit auch irrelevante Assoziationen bilden, wodurch der Abruf korrekter Informationen erschwert werde. In einer ersten Untersuchung zum „Hyperbinden“ zeigten Campbell, Hasher und Thomas (ebd.), dass ältere Versuchsteilnehmende auch explizit als irrelevant benannte Informationen enkodieren und diese mit relevanter Information binden. Die Versuchsteilnehmenden bearbeiteten eine 1-zurück-Aufgabe, bei der sie immer dann reagieren mussten, wenn ein Bild direkt wiederholt wurde. Es wurden ihnen immer Bild-Wort-Paare präsentiert, wobei sie die Wörter ignorieren sollten. Zehn Minuten später lernten sie in einer Paarassoziationsaufgabe Bild-Wort-Paare, in denen in der 1-zurück-Aufgabe vorgekommene Kombinationen als alte und rekombinierte Assoziationen sowie neue präsentiert wurden. In der Rekognition wurde ihnen das Bild als Cue gegeben und sie sollten das zugehörige Wort nennen. Ältere Versuchsteilnehmende zeigten bessere Leistungen bei Paaren, die in der vorherigen Aufgabe dargeboten wurden und schlechtere Leistungen für Paare, die rekombiniert wurden. Jüngere Versuchsteilnehmende zeigten diesen Effekt nicht. Interessanterweise konnten weder jüngere noch ältere Versuchsteilnehmende eine Verbindung zwischen den beiden Aufgaben herstellen, sodass Campbell, Hasher und Thomas (ebd.) vermuten, dass das Binden bei Senioren und Seniorinnen eher implizit als explizit stattfindet.

In einer späteren Studie (Campbell, Trelle & Hasher, 2014) wurde untersucht, ob das Konzept des „Hyperbindens“ auch auf das Paarassoziationslernen (PAL) anwendbar ist. Die Autorinnen manipulierten die Zusammensetzung der rekombinierten Paare, indem die Paare entweder mit einem Stimulus aus dem vorherigen Paar oder einem aus einem weiter entfernten (N-9) Paar gebildet wurden. Sie verglichen jüngere und ältere Erwachsene. Während die Fehlalarmrate bei Älteren mit der zeitlichen Nähe der Rekombinationen anstieg, blieb sie bei Jüngeren gleich. Zudem unterschieden sich die Trefferraten nicht zwischen den beiden Altersgruppen. Auch wenn die Neupaarungen aus Stimuli bestanden, die weiter als ein Paar auseinander lagen, war der „Hyperbindungs-Effekt“ zu beobachten.

Campbell und Hasher (2018) postulieren, dass der Bindungsprozess in höherem Alter weitgehend, jedoch abgeschwächt, erhalten sei, da implizites Binden von

Informationen nicht beeinträchtigt sei. Defizite im expliziten assoziativen Gedächtnis seien durch geschädigte Abrufprozesse bedingt. Die Autorinnen der „Hyperbindungshypothese“ interpretieren die Befunde zur ADH im Sinne der Inhibitionsdefizithypothese (z. B. Campbell, Hasher & Thomas, 2010). Da Seniorinnen und Senioren generell schwächere Bindung zeigten, und aufgrund inhibitorischer Defizite auf der Zugangs- und Löschungsebene eher mehr Stimuli binden als Jüngere, könnten diese geschwächten Bindungen zu „Hyperbindung“ mit zuvor erlernten Informationen oder aber auch durch Gedankenwandern produzierte Informationen führen (Campbell, Hasher & Thomas, 2010). Da bei Tests der ADH in der Regel ein Mix aus nahen und fernen Neupaarungen auftritt, könnten altersbedingte Unterschiede in assoziativen Rekognitionstests teilweise durch fälschliche Bindungen von interferierenden, nah beieinanderliegenden Stimuli bedingt sein (Campbell, Trelle & Hasher, 2014) und somit teilweise auf ein Inhibitionsdefizit zurückgehen.

In Anlehnung an die „Hyperbindungshypothese“ sollte ein Training der Zugangs- und LösCHFunktion also dazu führen, dass weniger fälschliche Assoziationen gebildet werden und somit das Verhältnis von Treffern zu Fehlalarmen in einem assoziativen Rekognitionstest nach dem Training zurückgeht; also das AD reduziert wird (für eine ausführlichere Formulierung der Hypothesen siehe Kap. 1.9).

## **1.8 Assoziationsdefizithypothese im Arbeitsgedächtnis**

Während das AD im episodischen Gedächtnis in vielen Studien gezeigt wurde, ist die Evidenz für ein AD im Arbeitsgedächtnis eher uneinheitlich. Zur Erforschung von Bindung im Arbeitsgedächtnis werden häufig Change Detection (Kap. 1.6) oder Paarassoziationslernaufgaben (Kap. 1.7) verwendet. Während einige Studien ein AD im Arbeitsgedächtnis zeigen konnten (z. B. Cowan, Naveh-Benjamin, Kilb & Saults, 2006; Chen & Naveh-Benjamin, 2012; Mitchell, Johnson, Raye & D'Esposito, 2000; Mitchell, Johnson, Raye, Mather & D'Esposito, 2000), konnten andere keine Evidenz dafür liefern (z. B. Brockmole, Parra, Sala, & Logie, 2008; Parra, Abrahams, Logie, & Della Sala, 2009; Read, Rogers & Wilson, 2016; Rhodes, Parra, Cowan & Logie, 2017).

Kirmße, Zimmer und Ecker (2018) vermuten, dass diese Diskrepanz zu teilen darauf zurückzuführen sei, dass ein Bindungsdefizit im Arbeitsgedächtnis nur beim relationalen Binden und nicht beim konjunktiven Binden von Stimulusinformationen

aufetrete. Relationales Binden beschreibe das Assoziieren separater visueller Informationen, wie zum Beispiel Objekt-Ort-Assoziationen. Konjunktives Binden beschreibe das Assoziieren direkt zusammenhängender Informationen, wie beispielsweise Objekt-Farb-Assoziationen.

Ein weiterer Einflusspunkt auf das Vorliegen eines ADs im Arbeitsgedächtnis scheint die Interferenz durch zuvor enkodierte Stimuli zu sein. So konnten beispielsweise Rhodes, Parra, Cowan und Logie (2017) im Vergleich zu Cowan, Naveh-Benjamin, Kilb und Saults (2006) kein AD zeigen, nachdem sie im Change Detection doppelte Stimuli entfernten und somit Anforderungen an die Interferenzkontrolle reduzierten. Auch Read, Rogers und Wilson (2016) konnten mit einem Change Detection Paradigma keine Evidenz für ein AD liefern, wenn sie die Interferenz reduzierten.

In oben beschriebener Studie von Campbell, Trelle und Hasher (2014) wurde der Rekognitionstest direkt nach dem PAL oder zwei Minuten später durchgeführt, sodass man davon ausgehen kann, dass Inhibitionsdefizite auch beim PAL im Arbeitsgedächtnis auftreten. Unter der Prämisse, dass ein ADH im Arbeitsgedächtnis nur bei relationalen Bindungen unter hoher Interferenz durch konkurrierende Stimuli auftritt, könnte das ADH im Arbeitsgedächtnis auch durch „Hyperbindung“ erklärt werden. Ähnlich wie beim episodischen Gedächtnis, könnten die Bindungen bei Älteren generell schwächer sein als bei Jüngeren und dann miteinander interferieren und im Sinne des „Hyperbindens“ implizit weitere Bindungen erstellen. Dieses könnte auch die Befunde von Ko und Kollegium (2014) (Kap. 1.6) erklären. Sie gingen davon aus, für ein Assoziationsdefizit und Inhibition kontrolliert zu haben. Durch verringerte Bindungsfähigkeit könnte Interferenz zwischen den Objekt-Orts-Assoziationen entstanden sein, die wiederum zu „Hyperbindung“ geführt hat, sodass das Defizit im Change Detection durch Bindungs- und Inhibitionsdefizite erklärbar sein könnte.

Ähnlich wie im episodischen Gedächtnis sollte nun ein Training der Inhibitionsfähigkeit die Inhibitionsfähigkeit auf der Zugangs- und Löschungsebene verbessern, sodass ein AD im Arbeitsgedächtnis verringert werden sollte. Das AD sollte auftreten, wenn Stimuli häufiger verwendet werden und somit interferieren könnten (für eine ausführlichere Formulierung der Hypothesen siehe Kap. 1.9).



## 1.9 Hypothesen

Wie in den vorherigen Kapiteln herausgearbeitet, ist die Wirksamkeit kognitiven Trainings im Sinne eines fernen oder nur nahen Transfers sehr umstritten (Kap. 1.3; z. B. Delius & Lindenberger, 2014; Dougherty, Hamovitz & Tidwell, 2016; Kray & Fehér, 2017). Um einen fernen Transfer zu erzielen, sollte das Training eine dem Training unterliegende kognitive Kapazität steigern (z. B. Strong & Alvarez, 2017) und kognitive oder neuronale Plastizität induzieren (Kap. 1.3; z. B. Lövdén et al., 2010). Oft kann jedoch nur ein naher Transfer (z. B. Kray & Fehér, 2017; Takeuchi & Kawashima, 2012; Pereg, Shahar & Meiran, 2013) oder auch gar kein Transfer (z. B. Owen et al., 2010; Strong & Alvarez, 2017) erzielt werden. Einige Autoren, wie beispielsweise Strong und Alvarez (2017), nehmen an, dass durch kognitives Training eher eine spezifische Aufgabenexpertise statt einer kognitiven Kapazität aufgebaut wird, was das Erzielen eines Transfers eher unwahrscheinlich machen sollte (Kap. 1.3).

Wenn Trainingserfolge in Form eines Transfers bestehen, scheinen diese eher bei älteren als bei jüngeren Versuchspersonen aufzutreten (z. B. Karbach & Kray, 2009; Karbach, Könen & Spengler, 2017). Eine mögliche Erklärung dafür könnte darin bestehen, dass ältere, aufgrund vorheriger Abnahmen der kognitiven Kapazität in für die Aufgaben relevanten kognitiven Funktionen, eher dazu in der Lage erscheinen, eine dem Trainingsprogramm unterliegende kognitive Kapazität zu steigern. Dies könnte zu einem Transfer auf andere Aufgaben führen, sofern diese Aufgaben die gleiche kognitive Kapazität ansprechen wie das Training (Kap. 1.3).

Bei Senioren und Seniorinnen konnten Transfereffekte teilweise in Folge eines Trainings exekutiver Funktionen gezeigt werden (z. B. Karbach & Kray, 2009; Anguera et al., 2013; Au et al., 2015; Gaál & Czigler, 2018), wobei diese am häufigsten im nahen Transfer auf strukturell zur trainierten Aufgabe ähnliche Aufgaben auftraten. Ein ferner Transfer wurde teilweise auf fluide Intelligenz oder andere exekutive Funktionen wie die Arbeitsgedächtnisleistung gezeigt. Selten wurde ein ferner Transfer eines Trainings der exekutiven Funktionen auf das Langzeitgedächtnis untersucht, obwohl es Überlegungen gibt, die darauf hindeuten, dass exekutive Funktionen wie die Inhibitionsfähigkeit daran beteiligt sein könnten (Kap. 1.2.2.1; Kap. 1.7; z. B. Lustig, Hasher & Zacks, 2007; Campbell, Lustig & Hasher 2020). Die Inhibitionsfähigkeit scheint jedoch, wie die kognitive Flexibilität, selten als Trainingsintervention untersucht

worden zu sein. Die häufigsten Studien scheint es zum Training des Arbeitsgedächtnisses zu geben (Pereg, Shahar & Meiran, 2013; Nguyen, Murphy & Andrews, 2019; Kap. 1.3). Ferne Transfereffekte konnten teilweise durch ein Training exekutiver Funktionen in Aufgabenwechselfaradigmen gezeigt werden (z. B. Karbach & Kray, 2009; Anguera et al., 2013; Kray & Fehér, 2017; Gaál & Czigler, 2018), wobei die verschiedenen Autoren als Erklärung für ferne Transfereffekte neben anderen Funktionen häufig die Inhibitionsfähigkeit nennen.

Auf der Grundlage der Inhibitionsdefizithypothese (Kap. 1.2.2.1; Hasher & Zacks, 1988; Lustig, Hasher & Zacks, 2007) erscheint es schlüssig, dass bei Seniorinnen und Senioren das Training von Inhibitionsfunktionen zu einem nahen oder fernen Transfer führen kann. Derzeit scheint es jedoch wenig Evidenz für Transfereffekte durch inhibitionsfokussierte Trainingsprogramme zu geben. Das direkte Training der Inhibitionsfähigkeit bezog sich meist auf das Training der Reaktionsinhibition und seltener auf das Training der Distraktordinhibition (für eine aktuelle Übersicht siehe Nguyen, Murphy & Andrews, 2019). Das Training der LösCHFunktion im Sinne der Aktualisierung von Arbeitsgedächtnisinhalten wurde häufiger im Rahmen von Arbeitsgedächtnisstudien untersucht (ebd.). Alle drei Funktionen könnten am Aufgabenwechseln beteiligt sein (Kap. 1.4) und somit könnten alle drei in der Inhibitionsdefizithypothese postulierten Inhibitionsfunktionen durch ein Aufgabenwechseltraining angesprochen werden (angelehnt an: Koch et al., 2010; Kiesel et al., 2010; Kray & Fehér, 2017). Das direkte Training der Reaktionsinhibition, also der Zurückhaltefunktion nach der Inhibitionsdefizittheorie, scheint nur selten zu einem fernen Transfer zu führen, sodass wahrscheinlich die Inhibitionsfunktionen der Zugangsfunktion oder der LösCHFunktion stärker an möglichen fernen Transfererfolgen durch das Aufgabenwechseln beteiligt sein könnten. Das Aufgabenwechseltraining könnte eine effektive Möglichkeit bieten, die Inhibition mental repräsentierter Distraktoren zu trainieren, weil das konkurrierende Aufgabenset inhibiert werden muss. Jedoch wurde die Rolle der Inhibition an Transfererfolgen durch das Aufgabenwechseltraining eher selten direkt erforscht. Eine aktuelle Studie zur Inhibitionsfähigkeit im Aufgabenwechseltraining ist jene von Kray und Fehér (2017), welche in einem AR-TS-Training einen Einfluss der Inhibitionsfähigkeit in Trainingseffekten im Aufgabenwechseltraining bei Seniorinnen und Senioren zeigen konnten. Sie konnten aber nur einen nahen und keinen fernen Transfer erzielen. Dass Kray und Fehér (2017) den Einfluss der Inhibitionsfähigkeit auf einen nahen Transfer im Aufgabenwechseln zeigen konnten, aber keinen fernen Transfer,

könnte aus Sicht des Autors daran liegen, dass in diesem Paradigma möglicherweise die Inhibitionsanforderungen zu gering waren, um einen fernen Transfer erzielen zu können. Wie in Kap. 1.4 beschrieben, sollten die Inhibitionsanforderungen in einem Cued-TS Paradigma höher sein als in einem AR-TS Paradigma. In einem AR-TS-Training sollte eher die Arbeitsgedächtnisleistung im Vordergrund stehen und in einem Cued-TS-Training eher die Inhibitionsfähigkeit, weil u. a. aufgrund der größeren Aufgabenungleichheit immer beide Aufgabensets gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis Aktivierung erhielten und somit Interferenz erzeugen (Kray, Li & Lindenberger, 2002).

Eine alternative Erklärung zur Inhibitionsdefizittheorie über einen weiteren potentiellen kognitiven Generalfaktor bietet die Verarbeitungsgeschwindigkeitstheorie des kognitiven Alterns (Kap. 1.2.1; z. B. Salthouse, 1996; 2000). In Trainingsprogrammen mit Reaktionszeitfokussierung, wie dem Aufgabenwechseltraining, wird oft auch diese angesprochen. In Studien, die verschiedene Altersgruppen vergleichen, wird die Verarbeitungsgeschwindigkeit zwar mathematisch kontrolliert, dennoch könnten Defizite durch eine im Alter verringerte Verarbeitungsgeschwindigkeit über eine generelle Verlangsamung hinausgehen und somit Prozesse beeinflussen, die nicht durch eine mathematische Kontrolle erfasst werden würden (Überlegung angelehnt an: Kap. 1.2.1; Salthouse, 1996; 2000; Bunce & Macready, 2005; Chen & Chen, 2013). Es wäre also möglich, dass Transfererfolge in reaktionszeitfokussierten Aufgaben neben anderen diskutierten Funktionen auch auf eine verbesserte Verarbeitungsgeschwindigkeit zurückzuführen sind. Ein Training der Reaktionsgeschwindigkeit scheint bisher nur selten als Kontrolltraining verwendet worden zu sein. Transfereffekte durch ein einfaches Training der Reaktionsgeschwindigkeit zeigten jedoch oft nur einen nahen und meist keinen fernen Transfer. Aktive Kontrollgruppen in Trainingsstudien scheinen oft nur leichtere Aufgaben wie z. B. die Einzelaufgaben in Aufgabenwechselparadigmen oder leichtere Variationen der Trainingsaufgaben als Kontrollaufgabe zu nutzen (z. B. Minear & Shah, 2008; Karbach & Kray, 2009).

In dieser Arbeit soll hypothesengeleitet weitere Evidenz für Transfereffekte auf verschiedene kognitive Domänen (Kap. 1.2.2.1; Kap. 1.5 – Kap. 1.8) durch ein Inhibitionstraining, welches über die Reaktionsinhibition hinausgeht und auch die Inhibition von (mentalen) Distraktoren sowie die Löschrückmeldung der Inhibition mit einbezieht, geliefert werden. Es soll auch die Beteiligung der Inhibition proaktiver Interferenzen durch das konkurrierende Aufgabenset an Transfereffekten im Aufgabenwechseln

gezeigt werden. Hierüber soll zudem Evidenz für die Inhibitionsfähigkeit als kognitiver Generalfaktor im Vergleich zur Verarbeitungsgeschwindigkeit geliefert werden, indem angenommen wird, dass Transfererfolge eher durch inhibitionsfokussiertes als durch verarbeitungsgeschwindigkeitsfokussiertes Training erzielt werden können. Weiterhin soll in dieser Arbeit Evidenz für einen Aufbau kognitiver Kapazität in der Inhibition durch inhibitionsfokussiertes Training im Vergleich zu einem Aufbau der spezifischen Aufgabenexpertise gegeben werden. Ausgehend von der Inhibitionsdefizithypothese wird in dieser Arbeit angenommen, dass die Inhibitionsfähigkeit einen kognitiven Generalfaktor darstellt, dessen Abnahme die alterskorrelierte Abnahme anderer kognitiver Funktionen mediiert. Die Abnahme der Inhibitionsfähigkeit sollte einen größeren Einfluss auf kognitive Alterungsprozesse haben als die Abnahme der Verarbeitungsgeschwindigkeit und somit sollte ihr Training auch zu stärkeren nahen und fernen Transfereffekten führen (Kap. 1.2 – Kap. 1.4).

Um weitere Evidenz für die Wirksamkeit eines inhibitionsfokussierten Trainings zu liefern, sollen in dieser Arbeit Transfereffekte eines Trainings der Inhibitionsfähigkeit mit steigenden Schwierigkeitsgraden im Cued-TS erfasst werden. Dieses Paradigma kann modifiziert werden, um entweder einen Fokus auf die Inhibitionsfähigkeit oder die Verarbeitungsgeschwindigkeit zu legen. Letzteres soll als Kontrolltraining dienen. Wie zuvor hergeleitet (Kap. 1.2 – Kap. 1.3) sollte ein Training der Inhibitionsfähigkeit zu stärkeren Transfereffekten führen als ein Training der Verarbeitungsgeschwindigkeit.

Die gleichzeitige Darbietung eines Ziel- und eines Distraktorstimulus, welcher im vorherigen Trial der Zielstimulus gewesen sein kann, sollte nun die Anforderungen an die Inhibitionsfähigkeit auf der Ebene der Selektion des Aufgabensets, der Stimulusattribute sowie der Reaktionsselektion erhöhen können. Die Darbietung des vorherigen Stimulus als Distraktor könnte das vorherige Aufgabenset stärker aktivieren und müsste auf der Ebene der Distraktoringhibition (Zugangsfunktion) inhibiert werden. Sollte es genügend Aktivierung erhalten, um ins Arbeitsgedächtnis zu gelangen, so müsste es auf der Ebene der LösCHFunktion entfernt werden oder, sollten konkurrierende Reaktionen erforderlich sein, auf Ebene der Reaktionsinhibition (Zurückhaltefunktion) die irreguläre Reaktion inhibiert werden. Auch wenn Distraktor- und vorheriger Zielreiz nicht übereinstimmen, sollte die Darbietung eines zweiten Stimulus, der ebenfalls eine konkurrierende Stimulus-Reaktions-Beziehung aktivieren könnte, zu

erhöhter Interferenz führen. Auch diese müsste auf einer der drei in der Inhibitionsdefizithypothese postulierten Ebenen inhibiert werden. Diese Prozesse könnten implizit sein, was aber nicht dazu führen sollte, dass sie nicht trainierbar sind. Das Training sollte die Distraktorinhibition und die Reaktionsinhibition, die nach Friedman und Miyake (2004) stark überlappen, ansprechen. Auch die LösCHFunktion sollte angesprochen werden. Welche der Funktionen im individuellen Fall am relevantesten ist, könnte an der individuellen, vielleicht impliziten Bearbeitungsstrategie liegen und kann hier nicht weiter erfasst werden. Die einzelnen Transferaufgaben sollten jedoch, wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben, durch unterschiedliche Inhibitionsfunktionen angesprochen werden (Kap. 1.5 – Kap. 1.8).

Im Gegensatz dazu sollte die Verringerung des Stimulus-Reaktions-Intervalls die Reaktionsgeschwindigkeit und somit die Verarbeitungsgeschwindigkeit (Salthouse, 2000) fördern, ohne bedeutende Auswirkungen auf Vorbereitungs- oder Inhibitionsprozesse sowie den Aufgabensetzerfall zu haben.

Die sukzessive Steigerung der Inhibitionsanforderungen oder der Anforderungen an die Verarbeitungsgeschwindigkeit sollte die Schwierigkeit im Training im Sinne einer Adaptivität erhöhen. Somit sollte sie, in Anlehnung an u. a. Lövdén und Kollegium (2010), zu stärkeren Trainingserfolgen im Sinne einer Steigerung der kognitiven Kapazität und Induktion plastischer Prozesse führen können (Kap. 1.3).

*Über die Trainingssitzungen hinweg sollten beide Aufgabenwechseltrainings unabhängig voneinander zu Verbesserungen in den Wechselkosten und den Reaktionszeiten führen, was darauf hindeuten würde, dass das Training zu Verbesserungen in kognitiven Fähigkeiten führte, die transferiert worden sein könnten.*

In allen Transfereffekten wurde erwartet, dass durch das inhibitionsfokussierte Cued-TS stärkere Transfereffekte auftreten als durch das verarbeitungsgeschwindigkeitsfokussierte. Ein stärkerer Transfereffekt würde bedeuten, dass in den jeweiligen Transfertests durch das inhibitionsfokussierte Training signifikant größere Verbesserungen vom Prä- zum Posttest erzielt werden als durch das verarbeitungsgeschwindigkeitsfokussierte. Da beide Trainingsparadigmen Inhibitionsfunktionen trainieren sollten, sollten auch beide Paradigmen zu einem Transfer führen. Weil aber im inhibitionsfokussierten Training das Training der Inhibition stärker ausfallen sollte, sollte auch der

Transfer stärker ausfallen, sofern die Inhibitionsfähigkeit stärker an Alterungsprozessen beteiligt ist als die Verarbeitungsgeschwindigkeit.

Ein nah-ferner Transfer wurde auf die Reaktionsinhibition erwartet. Diese soll über den Stroop-Test (Kap. 1.2.2.1) gemessen werden. Das inhibitionsfokussierte Aufgabenwechseln könnte auf der Reaktionsebene durch die Aktivierung des vorherigen Aufgabensets eine präpotente Reaktion auslösen, die wie im Stroop-Test unterdrückt werden muss und somit einen Transfer auf den Stroop-Test erzielen lässt. Auch wenn der Distraktorstimulus vom vorherigen Zielstimulus abweicht, sollten konkurrierende Stimulus-Reaktions-Beziehungen aktiviert werden, die zu Reaktionsinterferenz führen sollten.

*Das inhibitionsfokussierte Training sollte zu einer stärkeren Prätest-Posttest-Verbesserung im Stroop-Effekt führen als das geschwindigkeitsfokussierte Training.*

Ein fern-ferner Transfer des inhibitionsfokussierten Trainings wurde auf Aufmerksamkeitsnetzwerke (Kap. 1.5), die Distraktorinhibition im visuellen Arbeitsgedächtnis (Kap. 1.6) sowie das Assoziationsdefizit im episodischen (Kap. 1.7) und im Arbeitsgedächtnis (Kap. 1.6 und 1.8) erwartet. An all diesen Funktionen sollte die Inhibitionsfähigkeit stärker beteiligt sein als die Verarbeitungsgeschwindigkeit.

In den Aufmerksamkeitsnetzwerken wurde besonders ein Transfer auf das exekutive Aufmerksamkeitsnetzwerk erwartet. Das Training der Distraktorinhibition könnte auf die Inhibition der Flanker transferiert werden. In Anlehnung an Gaál und Czigler (2018) könnte eine Verbesserung der Inhibitionsfähigkeit auch Verbesserungen im Aktivierungs- und Orientierungsnetzwerk erwarten lassen. Hier kann allerdings keine klare Hypothese abgegeben werden, da nicht auszuschließen ist, dass das Training der Reaktionsgeschwindigkeit einen starken Einfluss auf das Aktivierungsnetzwerk hat.

*Das inhibitionsfokussierte Training sollte zu einer stärkeren Prätest-Posttest-Verbesserung im exekutiven Aufmerksamkeitsnetzwerk führen als das geschwindigkeitsfokussierte Training.*

Im Bereich des Arbeitsgedächtnisses wurde davon ausgegangen, dass das Training der Distraktorinhibition auf der Zugangsebene auch die Inhibition von Distraktoren vor der Enkodierung ins Arbeitsgedächtnis oder die Inhibition irrelevanter mentaler Repräsentationen verbessern sollte. Auch das Training der LösCHFunktion sollte die Inhibition fälschlicherweise enkodierter Distraktoren im Arbeitsgedächtnis verbessern

können. Dies sollte einen stärkeren Transfer durch das inhibitionsfokussierte Training als durch das verarbeitungsgeschwindigkeitsfokussierte Training auf die Change Detection Aufgabe mit Filterbedingung nach sich ziehen.

*Das inhibitionsfokussierte Training sollte zu einer stärkeren Prätest-Posttest-Verbesserung im Filtern irrelevanter Stimuli im Change Detection mit Filter führen als das geschwindigkeitsfokussierte Training.*

Im Bereich des assoziativen Arbeits- und episodischen Gedächtnisses wurde vermutet, dass ein u. a. von Naveh-Benjamin (2000) beschriebenes Assoziationsdefizit durch das, in der Hyperbindungs-Hypothese (Campbell, Hasher & Thomas, 2010) beschriebene Hyperbinden von Informationen bedingt ist und weniger durch ein tatsächliches Defizit im Bilden von Assoziationen. Letzteres sollte durch defizitäre Inhibitionsmechanismen auf der Zugangs- und Löschungsebene begründet sein (ebd.). Das Training der Inhibitionsfähigkeit könnte Inhibitionsmechanismen auf der Zugangs- und Löschungsebene stärken und somit das Assoziationsdefizit verringern.

*Das inhibitionsfokussierte Training sollte zu einer stärkeren Prätest-Posttest-Verbesserung in der Veränderungsdetektion, im Lernen von Paarassoziationen im Arbeitsgedächtnis und im Lernen von Paarassoziationen im episodischen Gedächtnis führen als das geschwindigkeitsfokussierte Training.*

Ein nah-naher Transfer wurde auf eine andere Cued-TS-Aufgabe mit ähnlicher Trialstruktur, aber anderen Aufgabensets und Stimuli erwartet. Weil davon ausgegangen wurde, dass die Inhibitionsfähigkeit eine zentrale Rolle an Wechsel- und Mixingkosten im Cued-TS spielt (Kap. 1.4), sollte das inhibitionsfokussierte Training zu einer stärkeren Verbesserung der Wechselkosten, aber auch der Mixingkosten führen als das Training mit Fokus auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit.

*Das inhibitionsfokussierte Training sollte zu einer stärkeren Prätest-Posttest-Verbesserung in den Wechsel- und Mixingkosten in einer nicht trainierten Cued-TS-Aufgabe führen als das geschwindigkeitsfokussierte Training.*

Die Evidenz für Transfereffekte wurde aufgrund der vorhergehenden Ausführungen als gering bis maximal mittelgradig eingestuft. Sollten lediglich Trainingsverbesserungen, aber kein ferner Transfer vorliegen, dann könnte dies darauf hindeuten, dass die trainierte Funktion entweder nicht oder nur geringer als angenommen an den kritischen Werten der jeweiligen Prätest-Posttest-Messverfahren (Kap. 2.4 – Kap. 2.9) beteiligt

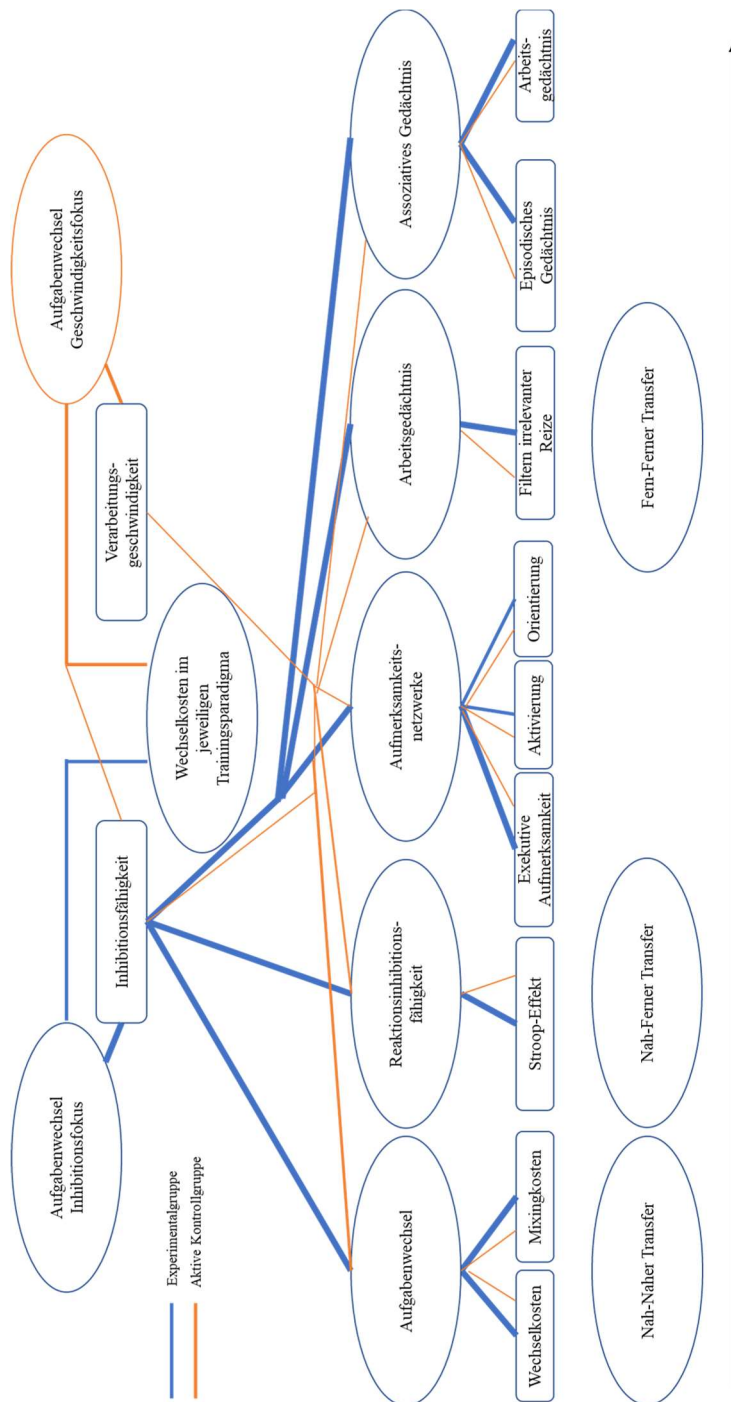
ist oder durch das Training die mit den Transferaufgaben überlappende kognitive Kapazität nicht gestärkt werden konnte. Sollte jedoch auch kein naher Transfer gefunden werden, aber Verbesserungen im Training vorliegen, würde dies für einen Aufbau der aufgabenspezifischen Expertise sprechen.

Falls keine Evidenz für die oben formulierten Unterschiedshypothesen, aber für Veränderungen über die Trainingssitzungen gezeigt werden könnte, sollte die Wahrscheinlichkeit der Nullhypothese: *keine unterschiedliche Entwicklung zwischen den Gruppen in den kritischen Testmaßen*, bestimmt werden können, um Aussagen über einen Expertiseaufbau treffen zu können. Neben der klassischen Analyse nach dem frequentistischen Wahrscheinlichkeitsbegriff, der die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses als die relative Häufigkeit einer möglichst unendlich langen Folge von gleichen, wiederholten und voneinander unabhängigen Experimenten definiert, sollen in dieser Arbeit auch Analysen nach dem bayesschen Wahrscheinlichkeitsbegriff über den Bayes-Faktor durchgeführt werden (Kap. 2.10). Der bayessche Wahrscheinlichkeitsbegriff definiert die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis eher als Grad der persönlichen Einschätzung der Plausibilität und lässt somit auch Aussagen über die Abwesenheit eines Effektes zu.

*Nullhypothese: Es liegen keine unterschiedlichen Prätest-Posttest-Verbesserungen zwischen den beiden Gruppen vor. Bei Veränderungen im Training könnte dies auf einen Aufbau der aufgabenspezifischen Expertise hindeuten.*

Die oben formulierten Hypothesen werden zur besseren Übersichtlichkeit in Abbildung eins illustriert.





**Abbildung 1:** Grafische Darstellung der Hypothesen. In beiden Trainingsinterventionen sollten, unabhängig voneinander, die Wechselkosten gestärkt werden, was darauf hindeuten würde, dass im Training exekutive Funktionen trainiert wurden, die hätten transferiert werden können. Das inhibitionsfokussierte Training der Experimentalgruppe sollte zu stärkeren Transfereffekten führen als das geschwindigkeitsfokussierte. Weil das geschwindigkeitsfokussierte Training einerseits mit der Verarbeitungsgeschwindigkeit einen möglichen kognitiven Generalfaktor trainiert, der auch am Altern anderer Funktionen beteiligt sein sollte und zudem auch, aber in geringerem Maße, die Inhibitionsfähigkeit verbessern sollte, sollte aber auch dieses Training einen Transfer erzielen. Ein stärkerer Transfer würde bedeuten, dass die kritischen Werte in Prätest-Posttest-Messungen beim inhibitionsfokussierten Training stärker verbessert werden als beim geschwindigkeitsfokussierten. Die postulierte Stärke des Transfers ist durch die Strichstärke der Verbindungslinien gekennzeichnet. Je dicker, desto stärker sollte der Transfer sein. Die statistische Nullhypothese würde bedeuten, dass keine unterschiedliche Prätest-Posttest-Veränderung durch die Trainingssitzungen induziert werden kann. Dies könnte, besonders wenn kein nah-naher Transfer vorliegen sollte, auf einen Aufbau der aufgabenspezifischen Expertise hindeuten.

## 2 Methode

### 2.1 Stichprobe

Die optimale Stichprobengröße für die zwei Gruppen ( $N = 30$  pro Gruppe) wurde über eine a-priori Poweranalyse mittels des Programmes G-Power 3.1 (Faul et al., 2007; 2009) ermittelt. Aufgrund einer ähnlichen Voruntersuchung in einem Cued-TS mit ähnlichen Transfertests, jedoch mit geringer Versuchspersonenanzahl und ohne Kontrollgruppe (Friedrich, 2015, unveröffentlichte Masterarbeit) sowie weiteren Studien zu einem Aufgabenwechseltraining (Karbach & Kray, 2009; Gaál & Czigler, 2018), wurde eine mittlere Effektstärke ( $\eta_p^2 = 0.06$ ) erwartet.

Versuchspersonen wurden über persönliche Ansprache, Flyer, über soziale Netzwerke sowie größtenteils über Zeitungsanzeigen rekrutiert. Die Probandinnen und Probanden erhielten für ihre Teilnahme keine Entlohnung, sodass sie intrinsisch für die Teilnahme an der Studie motiviert gewesen sein sollten.

An der Studie nahmen insgesamt 61 (27 männlich, 34 weiblich) Probandinnen und Probanden teil. Sie wurden quasi-randomisiert, immer im Wechsel auf die Experimental- und aktive Kontrollgruppe aufgeteilt. Die Versuchspersonen sollten nicht in der Lage gewesen sein, vorherzusehen, in welcher Gruppe sie an der Studie teilnahmen. Weil die Versuchspersonen in der Reihenfolge ihrer Anmeldung für die Studie den Gruppen zugeteilt wurden, hatte auch der Versuchsleiter keinen Einfluss auf die Gruppenzuordnung. Es wurden 32 Versuchspersonen der Experimentalgruppe (Alter:  $MW = 67.75$ ;  $SD = 5.69$ ;  $Min = 60$ ;  $Max = 89$ ) und 29 der aktiven Kontrollgruppe (Alter:  $MW = 66.38$ ;  $SD = 5.99$ ;  $Min = 60$ ;  $Max = 85$ ) zugeteilt. Die beiden Gruppen unterschieden sich nicht signifikant in Hinsicht auf das Alter ( $t(59) = 0.916$ ;  $p = 0.364$ ; Cohens  $d = 0.235$ ) oder das Geschlecht ( $\chi^2(1) = 0.186$ ;  $p = 0.797$ ). Beruflich konnten in der Experimentalgruppe vier Versuchsteilnehmende dem Bereich Bildung (Lehrer und Lehrerinnen, Sozialpädagoginnen und Pädagogen), 13 dem Bereich Technik, Naturwissenschaften oder Medizin und 15 dem wirtschaftlichen Bereich zugeordnet werden. In der aktiven Kontrollgruppe konnten sieben Probanden und Probandinnen dem Bereich Bildung, 13 dem Bereich Technik, Naturwissenschaften oder Medizin und neun dem Bereich Wirtschaft zugeordnet werden. Auch in Bezug auf die erlernten und ausgeübten Berufsbereiche unterschieden sich die beiden Gruppen nicht signifikant ( $\chi^2(2) = 2.176$ ;  $p = 0.337$ ).

Alle Versuchsteilnehmenden wurden daraufhin exploriert, ob sie klinisch neuropsychologische Defizite, z. B. durch Gehirnverletzungen haben könnten und in diesem Falle von der Studie ausgeschlossen. Ebenfalls wurden Versuchspersonen, die jünger als 60 Jahre alt waren, von der Studie ausgeschlossen. Weil alle Programme selbstständig zu Hause am PC oder Laptop absolviert werden mussten, konnten nur Versuchspersonen mit zumindest rudimentären Computerkenntnissen teilnehmen. Weitere Ausschlusskriterien wurden nicht definiert. Alle Versuchsteilnehmenden wiesen eine normale oder normalisierte Sehschärfe auf. Die meisten der Versuchsteilnehmenden berichteten im Vorfeld oder auf Nachfrage, Abnahmen der Gedächtnisfähigkeit bemerkt zu haben oder sich schlechter konzentrieren zu können. Nur  $N = 3$  Versuchsteilnehmende berichteten nicht davon, alterskorrelierte Defizite bemerkt zu haben. Aufgrund der hohen Anzahl berichteter Defizite kann davon ausgegangen werden, dass die Probandinnen und Probanden intrinsisch für die Studienteilnahme motiviert waren, da sie sich eine Verbesserung ihrer subjektiv wahrgenommenen kognitiven Defizite erhofften. Subjektiv wahrgenommene Verbesserungen in Folge des Trainings zu erfassen, war nicht Teil dieser Studie und sie wurden somit auch nicht weiter systematisch erfasst.

Acht potenzielle Versuchsteilnehmende brachen die Studie entweder während des Prätestes oder während des Trainings, ohne den Posttest absolvieren zu wollen, ab. Elf weitere potenzielle Versuchsteilnehmende bekundeten zwar Interesse an der Studie, begannen sie aber niemals. Vier weitere Probandinnen und Probanden mussten aufgrund technischer Probleme ausgeschlossen werden. Die Programme starteten auf ihren PCs nicht und es konnte kein Ersatzlaptop gestellt werden. Diese insgesamt 23 potenziellen Versuchspersonen wurden nicht in die oben genannten 61 mit eingerechnet.

## **2.2 Material und Versuchsdesign**

Die Datenerhebung erfolgte von Juli 2018 bis August 2019. In einem Prätest-Training-Posttest-Design bearbeiteten Experimental- und aktive Kontrollgruppe unterschiedliche Aufgabenwechseltrainingsaufgaben: Die Experimentalgruppe mit Fokus auf die Inhibition und die aktive Kontrollgruppe mit Fokus auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit. Die gesamten Experimentalprogramme wurden von den Versuchspersonen in Eigenregie selbstständig zu Hause durchgeführt. In Anlehnung an Wadley und

Kollegium (2006) sollte kein Unterschied in den Ergebnissen zwischen Heim- und Labortraining bestehen. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung zwei dargestellt.

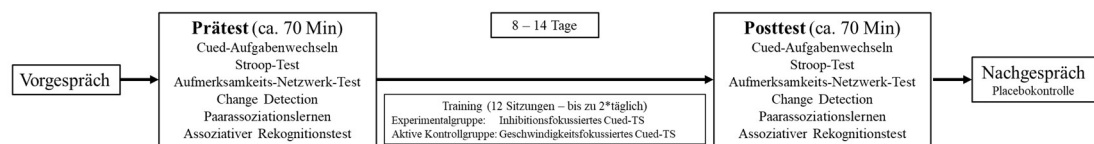
Beide Gruppen bearbeiteten dieselben sechs Prä- und Posttestverfahren jeweils im Prä- und im Posttest. Die Prä- und Posttestverfahren zur Messung eines Transfers waren eine Cued-TS-Aufgabe (Kap. 2.4), der Stroop-Test (Kap. 2.5), der ANT (Kap. 2.6), Change Detection mit und ohne Filterbedingung (Kap. 2.7), PAL (Kap. 2.8) und ein assoziativer Rekognitionstest zur Erfassung des AD im episodischen Gedächtnis (Kap. 2.9). Für das PAL und den assoziativen Rekognitionstest wurden Parallelformen mit unterschiedlichen Objekten angeboten. Die Präsentationsreihenfolge der Parallelformen wurde über die Versuchspersonen ausbalanciert, um Positionseffekte zu vermeiden.

Zur Analyse von Trainingsfortschritten und Transfereffekten wurde der Median eines jeden Versuchsteilnehmenden in den jeweiligen Testvariablen (siehe Kap. 2.3 bis 2.9) erfasst. Ein Trainingsfortschritt wurde als eine signifikante Verbesserung zwischen den Trainingssitzungen definiert. Eine trainingsassoziierte Verbesserung wurde als eine signifikante Verbesserung vom Prätest zum Posttest im kritischen Testwert eines jeden Tests (siehe Kap. 2.3 bis 2.9) definiert. Eine Verbesserung konnte, je nach Testverfahren, in einer Erhöhung oder Verringerung des Medians liegen.

Um Positionseffekte in den Transfertests zu vermeiden, wurde die Bearbeitungsreihenfolge der Tests unter den Probanden und Probandinnen ausbalanciert. Zwischen Prä- und Posttest bearbeiteten die Versuchsteilnehmenden 12 Trainingssitzungen, die jeweils ca. 25 bis 30 Minuten dauerten. Sie durften maximal zwei Sitzungen täglich bearbeiten und diese auch nicht hintereinander, da die Anzahl der Sitzungen als wichtiger eingeschätzt wurde als deren Dauer (siehe Kap. 1.3). Zudem durften die Versuchsteilnehmenden auch Trainingspausen von bis zu zwei Tagen einlegen. Insgesamt dauerte die Datenerhebung pro Versuchsteilnehmendem zwischen acht und 14 Tagen, wobei manche Probanden und Probandinnen auch nicht täglich trainierten. Zudem wurden die Versuchsteilnehmenden instruiert, Prä- und Posttest zur selben Tageszeit durchzuführen, um circadiane Einflüsse zu vermeiden (Hasher, Zacks & May, 1999). Für das Training wurde dieser Einfluss aus pragmatischen Gründen nicht kontrolliert, obwohl er für den Vergleich der Trainingssitzungen sicherlich hilfreich gewesen wäre. Die Versuchsteilnehmenden wären jedoch nicht in der Lage gewesen, das Training

durchzuführen, wenn es immer zur gleichen Tageszeit hätte durchgeführt werden müssen.

Die Probandinnen und Probanden wurden in einem persönlichen Gespräch und schriftlich in einer „Versuchsanleitung“ instruiert, in welcher Reihenfolge die Prä- und Posttests bearbeitet werden sollten und darüber informiert, dass die Gesamtdauer auch auf zwei jeweils 35-minütige Termine aufgeteilt werden könne. Sie wurden instruiert, in diesem Falle auch den Posttest auf zwei 35-minütige Sitzungen aufzuteilen. Insgesamt dauerte die Bearbeitung von Prä- und Posttest jeweils ca. 70 Minuten. Dieses eher variable Design der Versuchsdurchführung wurde aus pragmatischen Gründen gewählt, weil die Versuchsteilnehmenden alle Aufgaben eigenständig durchführen sollten und sie diese somit einfacher in ihren jeweiligen Alltag einbauen konnten. Zudem konnten sie so zu starken Erschöpfungssituationen vorbeugen.



**Abbildung 2:** Schematischer Versuchsablauf. Die Versuchspersonen durchliefen zunächst ein Vorgespräch, während dessen die Programme erläutert wurden. Hiernach begannen sie den Prätest. Die Reihenfolge der aufgeführten Testverfahren war über die Versuchspersonen ausbalanciert. Über acht bis 14 Tage absolvierten die Versuchspersonen die jeweilige Trainingsaufgabe und bearbeiteten schließlich die Posttests, wonach eine Nachbesprechung erfolgte, in welcher allgemein erfragt wurde, wie die Teilnehmenden mit den Programmen zurechtkamen und wie schwierig sie diese empfanden und ob sie das Gefühl gehabt hätten, in einer Kontroll- oder Experimentalgruppe teilgenommen zu haben.

Zu Beginn der Untersuchung wurde zumeist ein persönlicher Termin mit den Versuchspersonen abgehalten, um die Programme auf deren Laptops oder PCs zu installieren, oder ihnen einen vorbereiteten Laptop für die Dauer des Versuches zur Verfügung zu stellen und um sie in die Bedienung der Programme einzuweisen. Bei computerkundigen Versuchsteilnehmenden, die nicht in der Lage waren, einen persönlichen Termin auszumachen, wurde ein Download-Link für die verschiedenen Programme mit Anleitung für Download und Installation bereitgestellt und ein kurzes Telefonat zur Besprechung der Programme abgehalten. Somit wurde die Untersuchung auf sehr unterschiedlicher Hardware durchgeführt, sodass hier keine Angaben dazu gemacht werden können. Durch den persönlichen Kontakt könnte auch nochmals die Motivation zur Versuchsdurchführung und Beendigung der Untersuchung gesteigert worden sein. Zu Beginn des Versuches wurden das Alter der Versuchspersonen, ihr früheres Berufsfeld sowie subjektiv wahrgenommene kognitive Abnahmen erfasst.

Die Versuchsteilnehmenden, denen es möglich war, eine E-Mail zu versenden, wurden gebeten, die Ergebnisse der Prä- und Posttests sofort nach dessen Beendigung und jeweils nach einer Trainingssitzung die Datei des Trainings per E-Mail an den Versuchsleiter zu versenden. Dies sollte auch dazu dienen, sicherzustellen, dass die Instruktionen in Bezug auf die Trainingsfrequenz und Testreihenfolge eingehalten wurden. Da viele der Versuchspersonen entweder keinen Internetzugang hatten (teilweise auch aufgrund der ausgeliehenen Laptops) oder nicht in der Lage waren, E-Mails zu versenden, wurden sie instruiert, die Daten auf einem USB-Stick zu sichern. Ersteres Verfahren könnte auch, über den dauerhaften Kontakt zum Versuchsleiter, zur Verbesserung der Trainingsmotivation beigetragen haben.

Fünf Versuchspersonen überschrieben bei der Sicherung der Daten Trainingsdaten, sodass sie nicht alle Trainingsdaten zur Verfügung stellen konnten. Somit fehlen in den Analysen des Trainings einige Daten von diesen Probandinnen oder Probanden. Weil diese Versuchsteilnehmenden jedoch angaben, das Training absolviert zu haben, wurden ihre Daten aus Prä- und Posttest dennoch in den Analysen berücksichtigt. Das PAL konnte von zwei Versuchsteilnehmenden aufgrund von Sehschwächen oder subjektiv wahrgenommener Überforderung nicht durchgeführt werden, sodass diese von der Analyse des PAL ausgeschlossen wurden. Im Stroop-Test produzierten zwei Versuchsteilnehmende 100 % Fehler in der inkongruenten Bedingung. Sie wurden ebenfalls ausgeschlossen. Das genaue N jeder Analyse findet sich im entsprechenden Teil des Ergebniskapitels.

Nach Beendigung des Posttests erfolgte eine Nachbesprechung mit dem Ziel einer „Placebokontrolle“. Die Versuchsteilnehmenden wurden allgemein daraufhin befragt, wie sie mit den Programmen zurechtkamen und ob sie dachten, in einer Experimental- oder Kontrollgruppe teilgenommen zu haben. Dies sollte dazu dienen, die Motivation und Leistungsbereitschaft der Versuchspersonen zu erfassen, weil diese hätte geringer ausgeprägt sein können, falls die Versuchspersonen dachten, in einer Kontrollgruppe teilgenommen zu haben.

Die im Folgenden vorgestellten Programme wurden mit dem Programm E-Prime 2.0 (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA) erstellt und über E-Run an den jeweiligen PCs ausgeführt. Präsentierte Objekte wurden aus einem „Stimuluspool“ der Arbeitseinheit „Brain and Cognition“ der Universität des Saarlandes ausgewählt. E-Run übernahm die aktuelle Bildschirmauflösung des jeweiligen PCs. Da Objekte auf allen

PCs fehlerfrei dargestellt werden sollten, wurden die Objekte in übergroßen Pixelzahlen erstellt und von E-Run jeweils auf das korrekte, in Prozent der Bildschirmgröße (Länge\*Breite) angegebene Maß skaliert. In der Programmentwicklung wurden die Stimuluspositionen ebenfalls in Prozent der Bildschirmgröße angegeben, sodass sie auf allen Monitoren an der gleichen Stelle dargeboten werden konnten.

Zu Beginn jedes Experimentalprogrammes erhielten die Versuchsteilnehmenden eine ausführliche Beschreibung des jeweiligen Programmes mit Beispielen und einer vereinfachten Erklärung, was durch das jeweilige Programm erfasst werden sollte: Multitasking im Aufgabenwechsel, Reaktionszeit im Stroop-Test, Aufmerksamkeit im ANT oder Kurzzeitgedächtnis im Paarassoziationslernen und Change Detection oder Langzeitgedächtnis im assoziativen Rekognitionstest. Sie konnten während der Beschreibungen immer selbstständig durch Drücken der Leertaste zur nächsten Seite fortschreiten. Wo möglich, wurden ihnen einige Übungstrials vorgestellt. Der Bildschirmhintergrund wurde in allen Experimenten in Grau (RGB: 120, 120, 120) dargestellt. Schrift wurde immer in Weiß (RGB: 255, 255, 255) dargestellt. Es wurde angenommen, dass die Versuchspersonen ca. 60 cm vom Bildschirm entfernt sitzen würden.

### **2.3 Trainingsprogramme**

Im Aufgabenwechseltraining im Cued-TS Paradigma wechselten die Versuchsteilnehmenden über drei Schwierigkeitsstufen jeweils zwischen denselben zwei Aufgaben. In einer Aufgabe sollten sie durch Tastendruck Objekte nach den Kategorien „indoor und outdoor“ kategorisieren und in einer anderen Aufgabe Objekte nach den Kategorien „belebt oder unbelebt“. Die Taste „x“ sollte bei unbelebten oder indoor Objekten betätigt werden und die Taste „m“ bei belebten oder outdoor Objekten.

Die präsentierten Objekte (siehe Anhang A1) waren bivalent konzipiert, sodass sie immer für jeweils eine Kategorie jeder der beiden Aufgaben relevant waren. Sie wurden in einer Größe von 18\*18 % der jeweiligen Bildschirmbreite\*Bildschirmhöhe dargestellt. Über das gesamte Training wurden 48 verschiedene Stimuli, jeweils 12 pro Kategorienkombination (belebt-indoor; belebt-outdoor; unbelebt-indoor; unbelebt-outdoor), verwendet. In jeder der drei Schwierigkeitsstufen wechselten die Objekte, was keine Auswirkungen auf die Schwierigkeit gehabt haben sollte und eher der Abwechslung diente. Pro Schwierigkeitsstufe wurden vier Objekte pro Kategorienkombination präsentiert; also insgesamt 16 verschiedene Objekte.

Die Trialreihenfolge wurde pseudorandomisiert, um eine zu häufige Wiederholung von Wechsel- oder Wiederholungstrials zu vermeiden. Hierzu wurden sechs zufällige Sequenzen erstellt, bei deren Erstellung darauf geachtet wurde, dass niemals mehr als drei Wechsel oder Wiederholungstrials aufeinander folgten, also nicht mehr als vier Mal hintereinander die gleiche Aufgabe präsentiert wurde. Außerdem wurden alle Kategorienkombinationen gleich häufig mit Wechsel- und Wiederholungstrials kombiniert. Jede dieser Sequenzen bestand aus 50 Wiederholungs- und 50 Wechseltrials, also insgesamt 100 Trials. Vor Beginn eines Blocks wurde zufällig eine von sechs Trialsequenzen ausgewählt und ohne Pause während des Blocks bearbeitet. Jede Trainingssitzung bestand aus vier Blöcken (4\*100 Trials), die jeweils durch eine Pause von selbstgewählter Dauer unterbrochen wurden. Eine Trialsequenz konnte auch mehrmals ausgewählt werden.

### **2.3.1 Inhibitionsfokussiertes Aufgabenwechseltraining (Experimentalgruppe)**

Im inhibitionsfokussierten Aufgabenwechseltraining der Experimentalgruppe wurde die steigende Aufgabenschwierigkeit durch eine Erhöhung der Inhibitionsanforderungen für jede Schwierigkeitsstufe hergestellt. Dazu wurden immer gleichzeitig ein Ziel- und ein Distraktorstimulus im Abstand von 37 % bzw. 63 % zum Bildschirmrand auf der Mittellinie (50 %) der Bildschirmgröße präsentiert. In 50 % der Fälle, ausbalanciert über Wechsel- und Wiederholungstrials, war der Distraktorstimulus gleich dem Zielstimulus aus dem vorherigen Trial. Es wurde zudem daraufhin kontrolliert, dass der Zielstimulus nicht der gleichen Kategorienkombination entsprach wie der Distraktorstimulus, um zu verhindern, dass beide Stimuli die gleiche Aufgaben-Zielreiz-Reaktions-Beziehung auslösen.

Es wurden drei unterschiedliche Stärken des Distraktorgrades dargeboten: In Distraktorstärke eins wurde der Distraktor 200 ms nach dem Zielreiz dargeboten, in Stärke zwei parallel zum Zielreiz und in Stärke drei 200 ms vor dem Zielreiz. Die Erhöhung der Schwierigkeitsstufe wurde durch Veränderungen im Verhältnis der dargebotenen Distraktorstärken realisiert. In Schwierigkeitsstufe eins betrug das Verhältnis 60 % Distraktorstärke eins, 30 % Distraktorstärke zwei und 10 % Distraktorstärke drei. In Schwierigkeitsstufe zwei: 20 % Distraktorstärke eins, 60 % Stärke zwei und 20 % Stärke drei. In Schwierigkeitsstufe drei: 10 % Distraktorstärke eins, 30 % Stärke zwei und 60 % Stärke drei. Die Schwierigkeitsstufe wurde jeweils durch das Eingeben eines Passwortes zu Beginn der Trainingssitzung bestimmt (Berlin = leicht, Aachen = mittel,



Hamburg = schwer). Nach jeweils vier Trainingssitzungen wurde das neue Passwort eingegeben. In der ursprünglichen Planung sollte das Passwort nach dem Zusenden der Daten zur vierten und zur achten Sitzung übermittelt werden, da aber schon zu Beginn der Datenerhebung viele der Versuchsteilnehmenden nicht dazu in der Lage waren, die Daten selbstständig zu übermitteln, wurden die Passwörter direkt zu Beginn des Trainings mitgeteilt und die Versuchsteilnehmenden informiert, welches Passwort für welche Sitzungen gültig war.

Zu Beginn jeder Trainingssitzung wurden die Probandinnen und Probanden zunächst darüber informiert, dass durch das Training ihre Multitaskingfähigkeit verbessert werden soll und dass sie dazu zwischen zwei Kategorisierungsaufgaben wechseln werden. Auf den Begriff Aufgabenwechsel oder „Task-Switching“ wurde bewusst verzichtet, um Missverständnissen vorzubeugen.

Im Anschluss wurden ihnen die Aufgaben mitsamt Stimulus-Reaktions-Beziehung erläutert und auch definiert, welche Objekte als belebt, unbelebt, indoor und outdoor einzustufen sind. Sollten die Versuchsteilnehmenden drei Mal hintereinander einen Fehler gemacht haben, so wurde ihnen die Stimulus-Reaktions-Beziehung nochmals angezeigt.

Sie wurden zudem instruiert, immer so schnell und akkurat wie möglich zu reagieren. Die Versuchspersonen wurden auch darüber informiert, dass sie insgesamt vier Blöcke bearbeiten werden, was der Motivation gedient haben könnte, sodass die Versuchsteilnehmenden jederzeit wussten, wie lange die Trainingssitzung noch dauern wird.

Weiterhin wurden sie darüber informiert, dass ihnen am Ende eines jeden Blocks ihre Punktzahl angezeigt werde, und dass sich diese aus der Schwierigkeitsstufe, der Reaktionsgeschwindigkeit und der Genauigkeit zusammensetze. In jedem Trial erhielten die Versuchsteilnehmenden, wie in Tabelle eins dargestellt, einen Punktwert, der sich zusammensetzte aus 30, 45 oder 60 Punkten, je nach Schwierigkeitsgrad, und einem kombinierten Wert für die Geschwindigkeit und Genauigkeit. Dieser Punktwert ging nicht in die Analyse mit ein. Er sollte der Motivation der Versuchsteilnehmenden dienen, indem sie ein unmittelbares Feedback über ihre Leistung erhielten. Sie sollten so motiviert werden, ihre Leistungen in den folgenden Blöcken oder Sitzungen verbessern zu wollen. Viele Probandinnen und Probanden berichteten auch, auf die Punktwerte geachtet zu haben und durch sie motivierter gewesen zu sein. Zudem sollte die

Betonung dessen, dass Reaktionszeit und Genauigkeit wichtig für den Punktwert sind, den beschriebenen Bias Älterer hin zum Fokus auf Genauigkeit (Starns & Ratcliff, 2010; Forstmann et al., 2011) lösen.

**Tabelle 1:** Punktetabelle inhibitionsfokussiertes Aufgabenwechseltraining. In jedem Trial erhalten die Versuchspersonen Punkte für ihre Leistung in diesem Trial nach Genauigkeit und Reaktionszeit sowie Schwierigkeitsgrad (siehe Text).

Genauigkeit	Reaktionsgeschwindigkeit		
	< 800 ms	800 – 1500 ms	1500 – 3000 ms
	Punkte		
Treffer	50	35	20
Fehler	16	10	4

Zu Beginn des Blocks wurde ein schwarzes Fixationskreuz (Größe 1\*1 %) in der Bildschirmmitte präsentiert, welches während des gesamten Blocks präsent blieb. Wie in Abbildung drei dargestellt, wurde zu Beginn eines Trials für 700 ms gleichzeitig der Aufgabencue („Ort?“ oder „Belebtheit?“; Größe: 8\*8 %) sowie der Zielcue dargestellt. Der Aufgabencue wurde in der Bildschirmmitte präsentiert. Der Zielcue war ein schwarzes (RGB: 0, 0, 0; Größe: 4\*8 %) Quadrat, welches an der Position erschien, an welcher der Zielstimulus präsentiert werden würde. In 50 % der Trials erschien der Zielstimulus rechts und in 50 % der Trials links vom Fixationskreuz, somit erschien auch der Distraktor in 50 % der Trials an der Stelle, an der er zuvor als Zielreiz präsentiert wurde. Da ältere stärker als jüngere Personen auch explizit als irrelevant genannte Informationen zu verarbeiten scheinen (Vogel, McCollough & Machizawa, 2005; Campbell, Hasher und Thomas, 2010; Luria et al., 2016), sollte der Distraktorstimulus auch trotz des räumlichen Cues genügend Aktivierung erhalten, um in den Aufmerksamkeitsfokus zu geraten. Anschließend folgte für 300 ms das Fixationskreuz, sodass das Cue-Stimulus-Intervall (CSI) 1000 ms betrug und Cue und Zielposition nur kurz im AG aufrechterhalten werden mussten. Das 1000 ms CSI wurde in Anlehnung an Lawo et al. (2012) sowie Kray, Li und Lindenberger (2002) gewählt, die im Cued-TS bei Senioren und Seniorinnen gleich lange CSI verwendeten. Damit konnten zwar Vorbereitungseffekte nicht ausgeschlossen werden, es wurde aber sichergestellt, dass beide Cues adäquat von Seniorinnen und Senioren, trotz verlangsamter Verarbeitungsgeschwindigkeit, verarbeitet werden konnten.

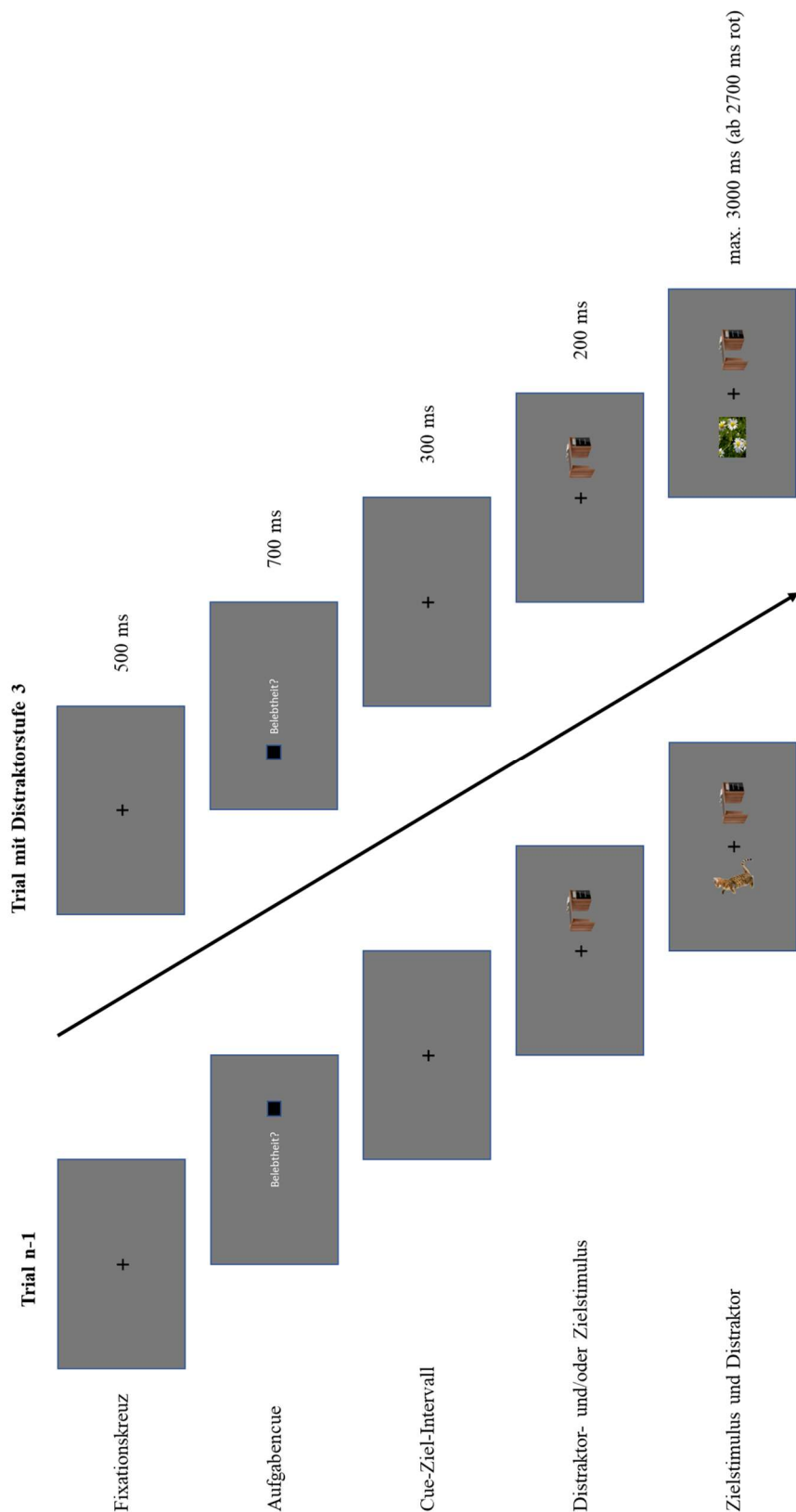
Nach der Präsentation von Distraktor und Stimulus erfolgte das maximal 3000 ms andauernde Reaktionsintervall. Falls innerhalb von 2700 ms keine Reaktion gegeben wurde, färbte sich der Bildschirm als Warnung rot (RGB: 255, 0, 0). Ein

vergleichsweise langes Reaktionsintervall wurde gewählt, um zu vermeiden, dass ein Training der Reaktionsgeschwindigkeit forciert werden könnte. Sobald die Reaktion gegeben wurde, folgte für 500 ms das Reaktions-Cue-Intervall (RCI), sodass sichergestellt war, dass der Aufgabensetzerfall noch nicht weit fortgeschritten war. Ein kurzes RCI wurde gewählt, um einer Überforderung der Verarbeitungskapazität durch zu schnell aufeinanderfolgende Trials vorzubeugen. Diese hätte möglicherweise über die Dauer des Blockes auftreten können, wenn kein RCI implementiert worden wäre.

Zu Beginn der ersten beiden Trainingssitzungen wurden die beiden Einzelaufgaben über jeweils 40 Trials eingeübt, in späteren Trainingssitzungen wurden diese 80 Übungstrials nicht mehr angeboten. Sie gingen nicht in die Analyse ein.

Die kritischen Variablen des Trainings waren die Wechselkosten, also die Differenz aus Wechsel- und Wiederholungstrials. Auch Veränderungen über Wechsel- und Wiederholungstrials wurden analysiert.

Die Gesamtdauer einer Trainingssitzung mit 400 Trials wurde auf 25-30 Minuten (inklusive Pausen) geschätzt.



**Abbildung 3:** Trialablauf im inhibitionsfokussierten Cued-TS-Training. Dargestellt ist ein Trial, auf den ein Trial mit Distraktorstufe drei folgt. Hierbei war der Distraktor der Zielstimulus des vorherigen Trials und er wurde 200 ms vor dem neuen Zielstimulus dargeboten. Nach einem für 500 ms dargebotenen Fixationskreuz (ITI) wurden der Aufgabencue (Belebtheit? oder Ort?) sowie der räumliche Cue für den Zielstimulus dargeboten. Nach einem für 300 ms CTI wurden, je nach Distraktorstufe, der Distraktorstimulus, der Zielstimulus oder beide dargeboten. Die maximale Reaktionszeit bei Darbietung des Zielstimulus und des Distraktors betrug 3000 ms. Für weitere Erläuterungen siehe Text.

### 2.3.2 Verarbeitungsgeschwindigkeitsfokussiertes Aufgabenwechseltraining (aktive Kontrollgruppe)

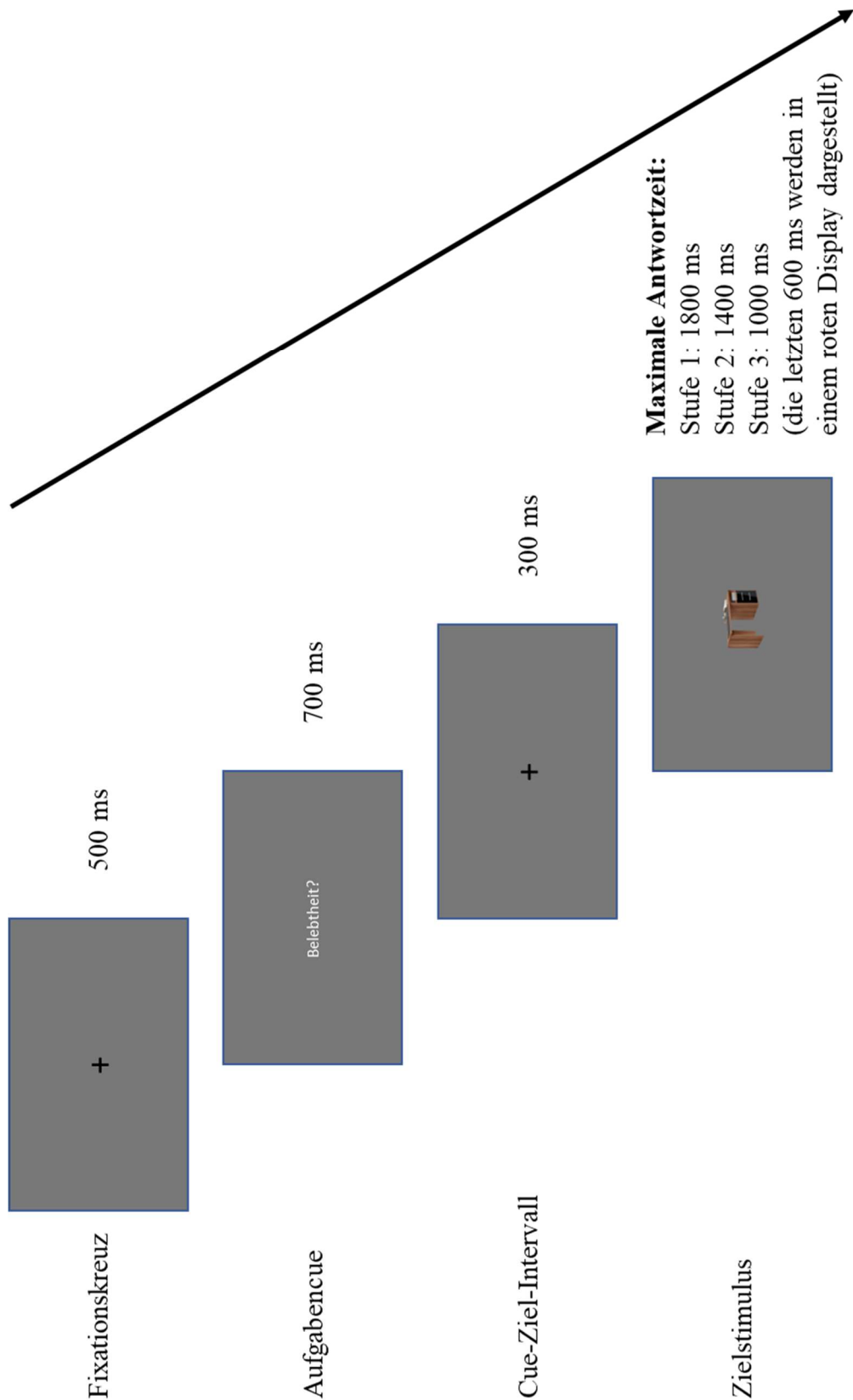
Das Training der aktiven Kontrollgruppe entsprach in seinem Aufbau fast dem der Experimentalgruppe. Beide Gruppen bearbeiteten über insgesamt 400 Trials (4 Blöcke) dieselben Aufgaben mit denselben Stimuli. Ein Unterschied bestand darin, dass nur ein Stimulus präsentiert wurde. Dieser wurde in der Mitte des Bildschirms präsentiert. Somit fiel auch der räumliche Cue zur Anzeige des Zielstimulus weg. In der Trialstruktur (Abbildung vier) entsprachen das RCI und das CTI denen der Experimentalgruppe. Somit war gewährleistet, dass Transfereffekte zwischen den beiden Gruppen nicht durch Vorbereitungs- oder Verfallsprozesse mitbestimmt wurden. Um den Trainingsfokus auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit im Sinne der Reaktionsgeschwindigkeit (vgl. Salthouse, 2000) zu realisieren, ohne andere Einflüsse zu manipulieren, wurde das Reaktionsintervall verringert. Auch das Warndisplay vor dem Ende des Reaktionsintervalls betrug hier 600 statt 300 ms, um die Reaktionszeit eventuell weiter zu verringern. In der ersten Schwierigkeitsstufe betrug das Reaktionsintervall 1800 ms, in der zweiten 1400 ms und in der dritten 1000 ms. Dies führte dazu, dass in der Berechnung der Punkte jener aus Genauigkeit und Geschwindigkeit zusammengesetzte Wert angepasst werden musste. Die Punkte sind in Tabelle zwei dargestellt.

**Tabelle 2:** Punktetabelle reaktionsgeschwindigkeitsfokussiertes Aufgabenwechseltraining. In jedem Trial erhalten die Versuchspersonen Punkte für ihre Leistung in diesem Trial nach Genauigkeit und Reaktionszeit sowie Schwierigkeitsgrad (siehe Text). Da die maximale Reaktionsgeschwindigkeit in Stufe 3 1000 ms betrug, konnten dort nicht 20 oder 4 Punkte erreicht werden.

Genauigkeit	Reaktionsgeschwindigkeit		
	< 600 ms	600 – 1100 ms	1100 – 1800 ms
	Punkte		
Treffer	50	35	20
Fehler	16	10	4

Auch hier wurden in den ersten beiden Trainingssitzungen die Einzelaufgaben als Übungsblöcke präsentiert.

Die Trainingsdauer für eine Sitzung wurde auch hier auf 25 - 30 Minuten geschätzt, wobei sie mit steigender Schwierigkeitsstufe abnehmen sollte. Um die Anzahl an trainierten Trials nicht im Vergleich zur Experimentalgruppe zu verändern, wurde die verringerte Trainingsdauer nicht kompensiert.



**Abbildung 4:** Trialablauf im geschwindigkeitsfokussierten Cued-TS-Training. Variiert wurde die maximale Präsentationsdauer des Stimulus und somit die maximal mögliche Reaktionszeit. Nach einem Fixationskreuz für 500 ms (ITI) wurde der Aufgabencue (Belebtheit? oder Ort?) angezeigt. Das CTI betrug 300 ms und die maximal mögliche RT bei Präsentation des Zielstimulus variierte mit der Schwierigkeitsstufe. Für weitere Erläuterungen siehe Text.

## 2.4 Aufgabenwechseltransfertest

Ziel des nah-nahen Transfertestes war es, zu überprüfen, ob ein stärkerer naher Transfer durch das inhibitionsfokussierte Cued-TS stattgefunden haben könnte als durch das geschwindigkeitsfokussierte Cued-TS. Hierzu wurde in der Aufgabenkonzeption beachtet, dass die Transferaufgabe mit beiden Trainingsaufgaben überlappte, aber nicht stärker mit einer der beiden als mit der anderen. Im Transfertest wurden daher keine Objekte verwendet, weil dieses zu sehr der räumlichen Cue-Stimulus-Beziehung des Trainings der aktiven Kontrollgruppe entsprochen haben könnte. Statt Objekten wurden den Versuchsteilnehmenden weiße (RGB: 255, 255, 255) Ziffern, eins bis neun mit Ausnahme der fünf, angezeigt. In einer Aufgabe sollten die Probandinnen und Probanden die Ziffern nach der Parität (gerade / ungerade) sortieren und in der anderen Aufgabe daraufhin, ob die präsentierte Ziffer größer oder kleiner fünf war. Somit wurden zwar keine Objekte präsentiert, aber wie in den beiden Trainingsaufgaben mussten die Stimuli nach ihren impliziten Eigenschaften kategorisiert werden. Wie auch im Training waren die Stimuli also auch hier bivalent konzipiert, sodass sie Interferenz erzeugt haben sollten.

Die Probanden und Probandinnen reagierten auch hier mit den Tasten „x“ und „m“. Mit „x“, wenn die präsentierte Ziffer gerade oder kleiner fünf war und mit „m“, falls sie ungerade oder größer fünf war.

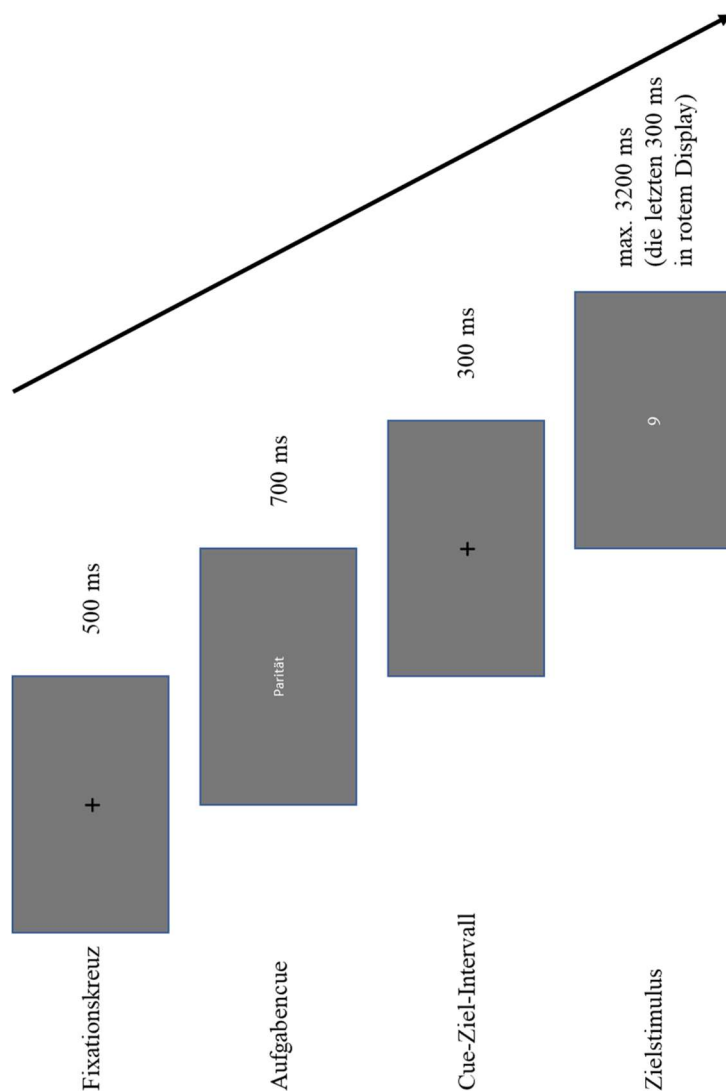
Die Versuchspersonen bearbeiteten insgesamt 100 Trials im Wechselblock. Zudem bearbeiteten sie vor dem Wechselblock jeweils zwei Blöcke mit 50 Trials der Einzelaufgaben. Diese dienten einerseits der Einübung der Aufgabe, wurden aber auch erfasst, um die Mixingkosten zu ermitteln. Die 100 Trials im Wechselblock wurden auf zwei pseudorandomisierte Blöcke mit jeweils 50 Trials aufgeteilt, zwischen denen eine Pause von selbstgewählter Dauer gemacht werden konnte. Die Pseudorandomisierung erfolgte genauso wie im Training. Es wurde daraufhin kontrolliert, dass nie mehr als vier Mal hintereinander die gleiche Aufgabe präsentiert wurde und dass jede Kategorienkombination gleich häufig mit Wechsel und Wiederholung gepaart wurde.

Der in Abbildung fünf dargestellte Trialaufbau war ähnlich demjenigen der Trainingsaufgaben. Zu Beginn eines Trials wurde in der Bildschirmmitte für 700 ms der Aufgabencue (Parität für gerade, ungerade oder Relation für größer, kleiner 5) in der Größe von 10\*10 % der Bildschirmbreite\*-höhe präsentiert. Die Begriffe Parität und Relation

wurden zu Aufgabenbeginn erläutert. Es folgte das 300 ms CTI, woraufhin für maximal 3200 ms die Zielziffer präsentiert wurde. Wie im Training wurden die letzten 300 ms des Reaktionsintervalls als Warnung rot dargestellt. Somit variierte die maximal mögliche Reaktionszeit von den beiden Trainingsgruppen und die Versuchspersonen aus der aktiven Kontrollgruppe sollten weniger „Reaktionsdruck“ verspüren als in ihrem Training. Das RCI betrug, wie im Training, 500 ms.

Neben den SC, also den Wechsel- und Wiederholungstrials, wurden hier noch die MC, also das Verhältnis von Wechseltrials zu Wiederholungsblöcken, analysiert.

Die Gesamtdauer des Tests wurde, inklusive Pausen und Lesen der Instruktionen, auf ca. 15 Minuten (10 Minuten Bearbeitungszeit) geschätzt.



**Abbildung 5:** Trialablauf im Cued-TS-Transfertest. Dargestellt ist ein Trial in der Aufgabe Parität (ist die gezeigte Ziffer gerade oder ungerade?). Nach der Präsentation eines Fixationskreuzes für 500 ms (CTI) wurde der Cue (Parität oder Relation) für 700 ms präsentiert. Das CTI betrug 300 ms und die maximale RT bei Präsentation des Zielstimulus 3200 ms. Für weitere Erläuterungen siehe Text.

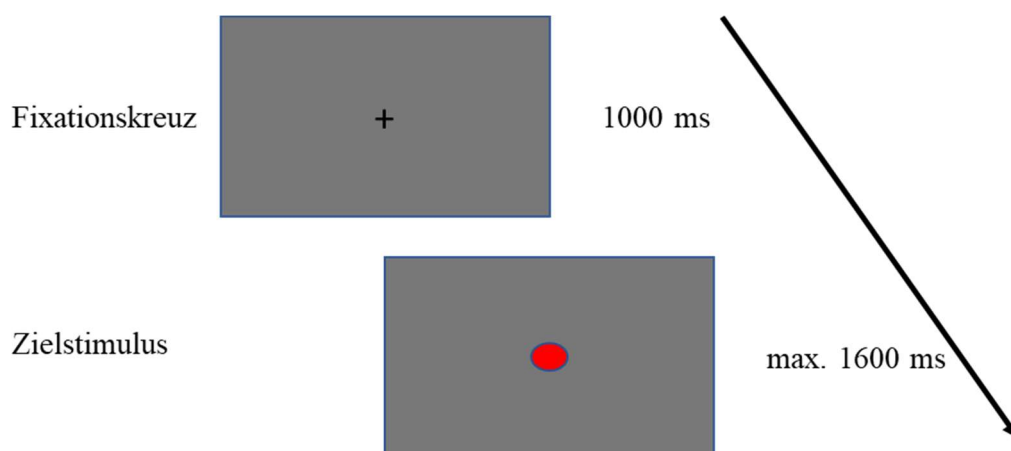


## 2.5 Stroop-Test

Der Stroop-Test (Stroop, 1935) wurde verwendet, um einen nah-fernen Transfer auf die Reaktionsinhibition (Zurückhaltefunktion) zu erheben. Es wurde eine computerisierte Version des Stroop-Tests ohne verbale Antwortmöglichkeiten (z. B. West & Alain, 2000) verwendet. Da die Versuchsteilnehmenden die Tests selbst und ohne Kontakt zum Versuchsleiter durchführen mussten, war nur die Durchführung dieser Form möglich.

Den Versuchsteilnehmenden wurden die Farbwörter Rot (RGB: 255, 0, 0), Blau (RGB: 0, 0, 255) und Gelb (RGB: 255, 255, 0) in der dem Wort entsprechenden Farbe (kongruenter Trial) oder in einer der anderen beiden Farben (inkongruenter Trial) präsentiert. Sie wurden instruiert, immer auf die Farbe zu reagieren, in der das Wort geschrieben war. Wenn das Wort in Rot geschrieben war, sollten sie die linke Pfeiltaste betätigen, war es in Blau geschrieben, die nach unten deutende Pfeiltaste und wenn es in Gelb geschrieben war, sollten sie die nach rechts deutende Pfeiltaste nutzen. Der Stroop-Effekt als kritisches Maß dieses Testes wurde aus der Differenz von kongruenten zu inkongruenten Trials gebildet.

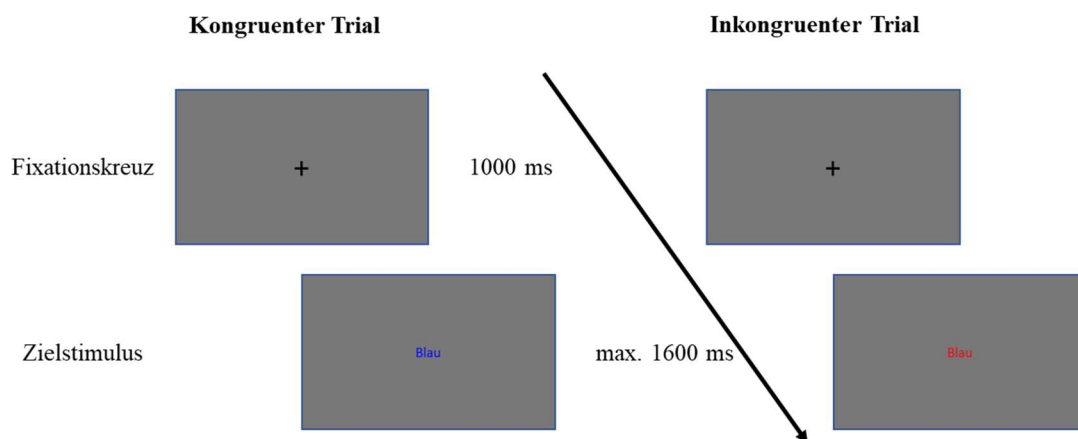
Die Tastenbelegungen wurden in einem Übungsdurchgang trainiert. Über 30 Trials, jeweils 10 für jede Farbe, deren Ablauf in Abbildung sechs dargestellt ist, wurde den Probandinnen und Probanden ein farbiger Kreis (8\*10 %) in der Bildschirmmitte präsentiert, auf den sie mit der entsprechenden Taste reagieren sollten. Vor Beginn der Übung wurden sie über die Stimulus-Reaktions-Beziehung informiert. Nach drei falschen Reaktionen wurde ihnen die Zuordnung mitsamt Instruktion erneut angezeigt.



**Abbildung 6:** Übungstrials des Stroop-Tests. Die Versuchspersonen sollten so schnell wie möglich auf die in der Bildschirmmitte dargestellte Farbe (Gelb, Rot oder Blau) reagieren, um die Tastenzuordnung der Farben zu erarbeiten. Für weitere Erläuterungen siehe Text und Kap. 4.3.3.

Das schwarze Fixationskreuz (Größe: 1\*1 %) wurde für 1000 ms angezeigt, danach folgte bis zur Reaktion der Zielstimulus für maximal 1600 ms. Am Ende des Übungsdurchganges wurde den Probandinnen und Probanden ihre durchschnittliche Reaktionszeit zurückgemeldet, um sie implizit zu motivieren, im Stroop-Test möglichst schnell zu reagieren.

Der in Abbildung sieben dargestellte Trialablauf im Stroop-Test war ähnlich dem der Übung. Fixationskreuz und Zielstimulus wurden ebenfalls für 1000 bzw. maximal 1600 ms präsentiert. Die Zielwörter wurden in einer Größe von 10\*7 % dargestellt. Auch hier wurden nach drei Fehlern Instruktion und Tastenbelegung erneut beschrieben.



**Abbildung 7:** Trialablauf des Stroop-Tests. Dargestellt sind ein kongruenter (Wort und Farbe stimmen überein) und ein inkongruenter (Wort und Farbe stimmen nicht überein) Trial. Die Versuchspersonen sollten immer auf die Farbe reagieren. Die maximale Reaktionszeit betrug 1600 ms. Die Trials wurden durch ein 1000 ms andauerndes Inter-Trial-Intervall unterbrochen. Für weitere Erläuterungen siehe Text.

Im Stroop-Test wurde jede Farb-Wort-Kombination acht Mal dargeboten. Die Versuchsteilnehmenden durchliefen zwei Blöcke mit jeweils 36 Trials, in denen jede Kombination jeweils vier Mal präsentiert wurde. Das Verhältnis von kongruenten zu inkongruenten Trials betrug demnach eins zu zwei. Die Pausendauer zwischen den Blöcken konnte von den Versuchspersonen frei gewählt werden. Die gesamte Erhebungsdauer wurde auf ca. vier Minuten geschätzt.

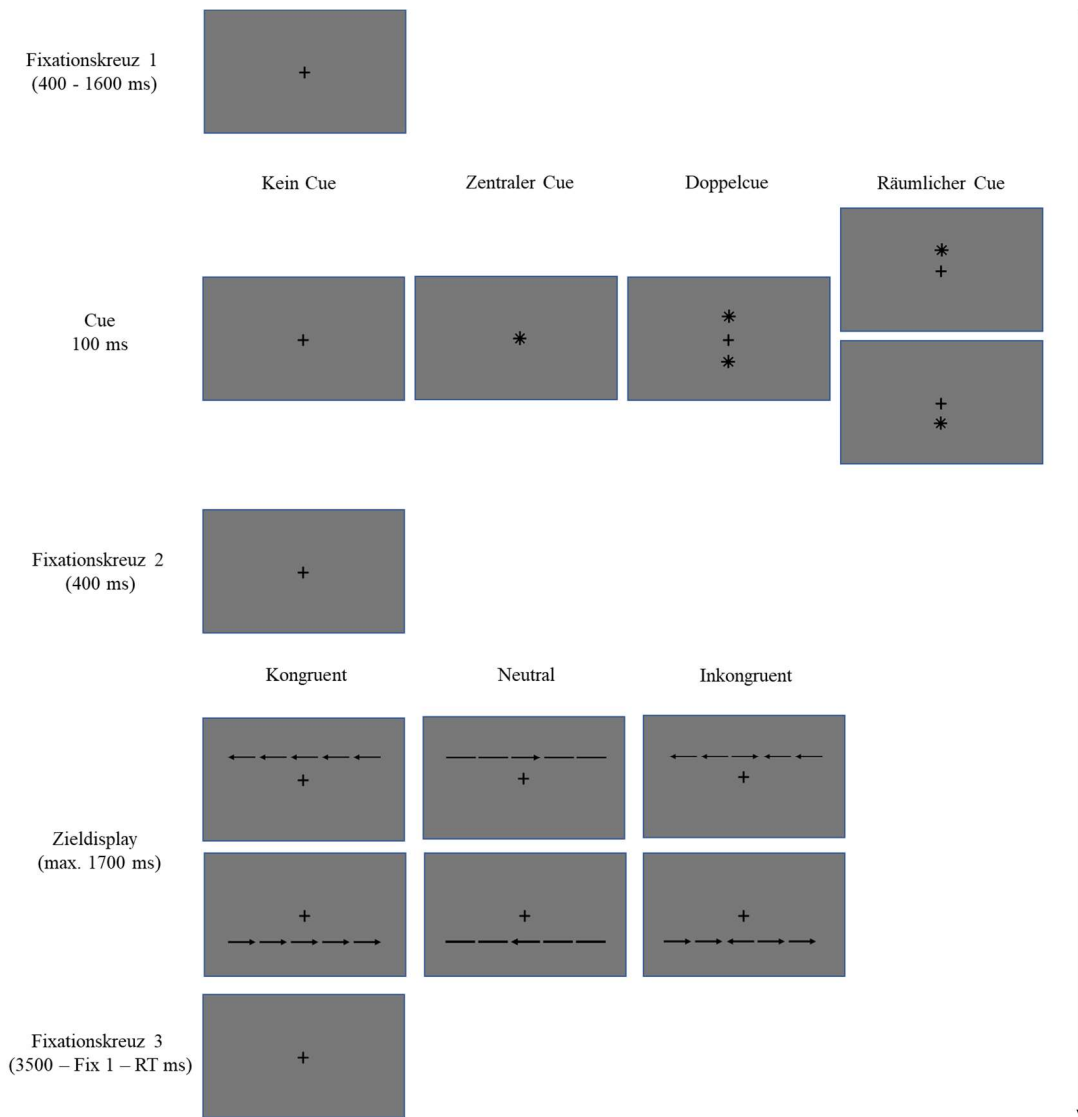
## 2.6 Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test

Zur Messung eines fern-fernen Transfers auf Aufmerksamkeitsnetzwerke (Aktivierungs-, Orientierungs-, exekutives Aufmerksamkeitsnetzwerk; siehe Kap. 1.5) wurde der Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test (Fan et al., 2000) adaptiert. Änderungen zu der Originalversion bestanden in der Anzahl der Trials. Jeder Trial folgte der gleichen, in

Abbildung acht dargestellten Struktur. Für einen zufälligen Zeitraum zwischen 400 und 1600 ms wurde den Versuchspersonen ein schwarzes Fixationskreuz (2\*3 %) präsentiert. Im Anschluss wurde für 100 ms eine der vier Cue-Bedingungen (kein Cue, zentraler Cue, Doppelcue, räumlicher Cue) präsentiert. In der Bedingung mit zentralem Cue wurde der Cue (ein kleiner Stern (\*); 2\*3 %) auf dem Fixationskreuz präsentiert, in der Doppelcuebedingung 14 % ober- und unterhalb des Fixationskreuzes. Der räumliche Cue wurde entweder 14 % über oder unter dem Fixationskreuz, an der Stelle, an welcher der Zielreiz erscheinen wird, präsentiert. Im Training der Experimentalgruppe hätte auch eine räumliche Aufmerksamkeitsverlagerung trainiert werden sein können, jedoch wäre sie dann auf der Horizontalen und nicht auf der Vertikalen trainiert worden. Dieser Unterschied zwischen den räumlichen Cues im ANT und im Training macht es etwas unwahrscheinlicher, dass ein Transfer der räumlichen Aufmerksamkeitsausrichtung stattfinden könnte, gänzlich ausschließen lässt sich diese Möglichkeit dennoch nicht. In der Bedingung ohne Cue wurde nur das Fixationskreuz angezeigt. Das CSI betrug 400 ms. Entweder 14 % unter- oder oberhalb des Fixationskreuzes wurde nun für maximal 1700 ms der Zielstimulus (15\*4 %) präsentiert. Der Zielstimulus war ein schwarzer (RGB: 0, 0, 0) Pfeil, der von vier schwarzen Distraktorpfeilen flankiert wurde. Diese konnten entweder inkongruent oder kongruent zum Zielpfeil sein. Zudem wurde eine neutrale Version präsentiert, in welcher der Zielpfeil von vier Strichen flankiert wurde. Die Versuchspersonen reagierten mit „x“, wenn der Pfeil nach links deutete und mit „m“, wenn er nach rechts deutete. Das ITI betrug 3500 ms abzüglich der Reaktionszeit und abzüglich der eingängig erwähnten Verzögerung von 400 bis 1600 ms. Somit betrug die Dauer aller Trials 4000 ms.

Jede mögliche der 48 Cue-Flanker-Kombinationen wurde zwei Mal dargeboten, so dass insgesamt 96 Trials bearbeitet wurden. Nach 48 Trials folgte eine Pause von selbstgewählter Dauer. Zu Beginn des Tests wurden vier zufällig ausgewählte Cue-Flanker-Kombinationen als Probetrials präsentiert. Die Versuchspersonen konnten die Probe wiederholen. Die Probetrials gingen nicht in die Analyse mit ein. Inklusive Pausen wurde die Bearbeitungsdauer des ANT auf 10 Minuten geschätzt.

Als kritische Werte wurde die Funktionalität der drei Aufmerksamkeitsnetzwerke ermittelt. Zudem wurden die Einflüsse des Trainings auf Cue- und Flankertypen analysiert.



**Abbildung 8:** Trialablauf des Aufmerksamkeits-Netzwerk-Tests. Nach einem Fixationskrenz von variabler Dauer zwischen 400 und 1600 ms wird eine der vier Cue-Bedingungen präsentiert. Darauf folgt wiederum ein Fixationskrenz von 400 ms Dauer, worauf eine der sechs Flankervarianten präsentiert wird. Das Inter-Trial-Intervall beträgt 3500 ms abzüglich der Reaktionszeit und der Dauer des ersten Fixationskreuzes, sodass alle Trials gleich lang sind.

Nach Fan und Kollegium (2002) kann die Effizienz der Aufmerksamkeitsnetzwerke wie folgt berechnet werden (RT = Reaktionsgeschwindigkeit):

Aktivierungsnetzwerk:

$$RT_{\text{kein Cue}} - RT_{\text{Doppelcue}}$$

Orientierungsnetzwerk:

$$RT_{\text{zentraler Cue}} - RT_{\text{räumlicher Cue}}$$

Exekutives Aufmerksamkeitsnetzwerk:

$$RT_{\text{inkongruente Flanker}} - RT_{\text{kongruente Flanker}}$$

## 2.7 Change Detection

Die beiden Change Detection Aufgaben waren angelehnt an das ursprünglich von Luck und Vogel (1997; Vogel et al., 2005) vorgestellte Paradigma. Häufig wird das Change Detection Paradigma in Untersuchungen zur lateral verzögerten Aktivität verwendet, weswegen die Stimuli oft bilateral mit einem Cue in die Richtung, welche der beiden Seiten zu beachten ist, präsentiert werden. Da hier keine elektrophysiologische Erhebung stattfand, wurden die Stimuli, wie beispielsweise bei Luck und Vogel (1997), nur einfach und in der Bildschirmmitte präsentiert. Die Change Detection Aufgabe ohne Filter diente dazu, einen fern-fernen Transfer des inhibitionsfokussierten Trainings auf die Veränderungsdetektion zu erfassen. Dies könnte auf ein Hyperbinden in dieser Aufgabe und somit eine Beteiligung verringerter Inhibitionsmechanismen an Altersunterschieden hindeuten. Die Change Detection Aufgabe mit Filter sollte einen fern-fernen Transfer der Zugangs- oder Löschofunktion auf das Arbeitsgedächtnis erfassen.

Beide Testverfahren wurden immer hintereinander, beginnend mit der Version ohne Filter, dargeboten. Zu Beginn jeder Version erhielten die Versuchsteilnehmenden vier Übungstrials (zwei Veränderungs- und zwei Wiederholungstrials), die sie bei Bedarf wiederholen konnten.

### 2.7.1 Change Detection ohne Filter

Wie in Abbildung neun dargestellt, wurde zu Beginn eines Trials den Versuchspersonen für 200 ms ein schwarzes Fixationskreuz (1\*1 %) in der Bildschirmmitte präsentiert und darauffolgend für 200 ms das Lerndisplay. Dort wurden den Versuchspersonen zwei, drei oder vier farbige Quadrate (3\*5 %) präsentiert, die sie memorieren sollten. Eine Farbe konnte maximal zwei Mal in einem Lern- oder Testdisplay präsentiert werden. Es wurden sieben verschiedene Farben verwendet: Schwarz (0, 0, 0), Blau (0, 0, 255), Hellgrün (0, 255, 0), Rot (255, 0, 0), Indigo (75, 0, 130), Weiß (255, 255, 255) und Gelb (255, 255, 0). Die Objekte konnten an den in Tabelle drei dargestellten Positionen um das Fixationskreuz herum erscheinen.

**Tabelle 3:** Stimuluspositionen im Change Detection. Dargestellt sind die Positionen auf der X- und der Y- Achse des Bildschirms in Prozent der Bildschirmgröße.

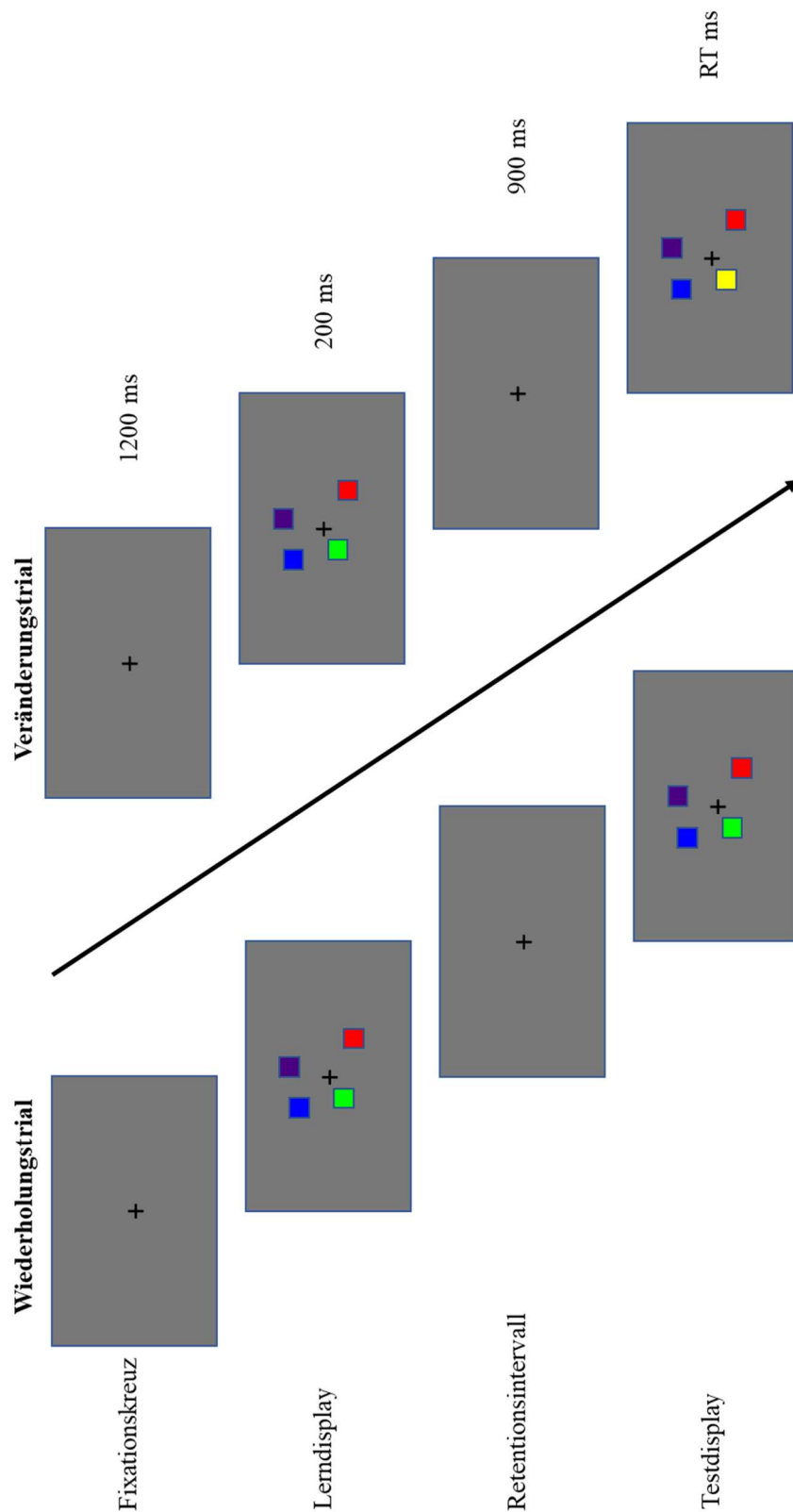
Position	X - Achse	Y - Achse
	44 %	61 %
	44 %	50 %
	44 %	39 %
	47 %	55 %
	47 %	45 %
	50 %	61 %
	50 %	39 %
	53 %	55 %
	53 %	45 %
	56 %	61 %
	56 %	50 %
	56 %	39 %

Nach einem 900 ms andauernden Retentionsintervall wurde bis zur Reaktion das Testdisplay präsentiert. Dieses entsprach in jeweils 50 % der Trials entweder dem Lerndisplay oder eines der Quadrate wechselte die Farbe. Die Versuchspersonen wurden nicht darüber informiert, dass sich maximal eine Farbe ändern könnte. Sie wurden nur instruiert, mit „x“ zu reagieren, wenn beide Displays übereinstimmten und mit „m“, wenn „sich etwas geändert“ habe. Nach der Reaktion folgte ein 1000 ms andauerndes ITI. Die Versuchspersonen bearbeiteten zwei, durch eine Pause getrennte Blöcke mit jeweils 24 Trials. Insgesamt also 48 Trials.

Als Leistungsindex wurde der K-Wert (Cowan, 2001) für jede Setgröße berechnet. Dieser bezieht die Setgröße und die Fehlalarme mit ein und kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$K = S (H - F)$$

Dabei entspricht K der Gedächtniskapazität, S der Setgröße, H der Trefferrate und F der Fehlalarmrate. Als kritisches Maß wurde die Entwicklung von K-Max, dem jeweils maximalen K-Wert einer Versuchsperson, analysiert. Zudem wurden die K-Werte der vier Setgrößen analysiert.



**Abbildung 9:** Trialablauf im Change Detection ohne Filter. Es werden ein Wiederholungs- und ein Veränderungstrial dargestellt. Nach einem insgesamt 1200 ms andauernden ITI wurden im Lerndisplay entweder zwei, drei oder vier farbige Quadrate an diversen Positionen präsentiert. Nach einem 900 ms andauernden Retentionsintervall wurden entweder die gleichen Quadrate an den gleichen Positionen (Wiederholungstrials) oder mit einem farblich veränderten Quadrat (Veränderungstrials) präsentiert. Durch Tastendruck gaben die Versuchspersonen an, ob das Display verändert wurde oder nicht. Für weitere Erläuterungen siehe Text.

## 2.7.2 Change Detection mit Filter

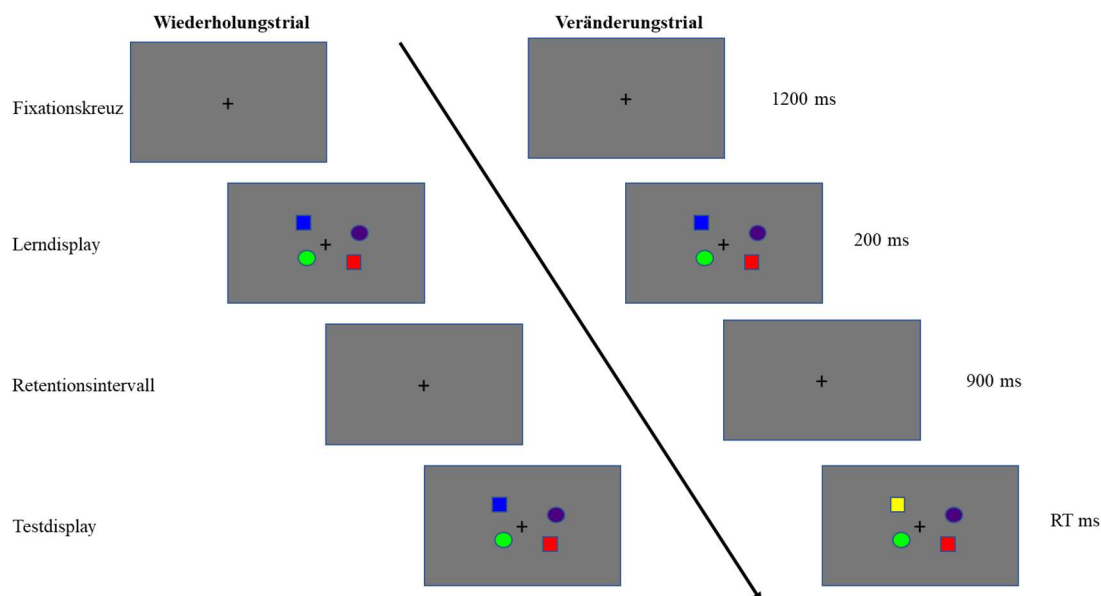
Nach der Bearbeitung des zweiten Blocks ohne Filter schloss sich die Filterbedingung an. Der in Abbildung zehn dargestellte Trialablauf entsprach dem der Bedingung ohne Filter. Im Lerndisplay wurden jedoch entweder zwei oder vier farbige Quadrate oder aber zwei farbige Quadrate mit zwei farbigen Kreisen als Distraktoren (Filtertrial) dargestellt. In Filtertrials konnten sich nur die Zielstimuli, nicht aber die Distraktorstimuli ändern. Die Versuchspersonen wurden instruiert, nur die Quadrate zu memorieren und die Kreise zu ignorieren.

Als kritisches Maß wurde die unnötige Speicherung (US) (Lee et al., 2010; Li et al., 2017) nach folgender Formel berechnet:

$$US = K_2 \text{ Stimuli} - K_{\text{Filter}}$$

In der Version mit Filter wurden zwei, durch eine Pause getrennte Blöcke mit jeweils 36 Trials bearbeitet. Es wurden zwei Mal 16 Filtertrials, und jeweils zwei Mal acht Trials mit Setgröße zwei bzw. vier präsentiert. Auch hier waren 50 % der Trials Wiederholungs- und 50 % Veränderungstrials.

Die gesamte Bearbeitungsdauer des Change Detections wurde auf ca. 10 Minuten geschätzt.



**Abbildung 10:** Trialablauf im Change Detection mit Filter. Es werden ein Wiederholungs- und ein Veränderungstrial mit Filterstimuli dargestellt. Der Trialablauf war ähnlich dem des Change Detection ohne Filter. Es wurden jedoch entweder zwei, vier oder zwei Stimuli gemeinsam mit zwei Distraktoren dargestellt. Für weitere Erläuterungen siehe Text.



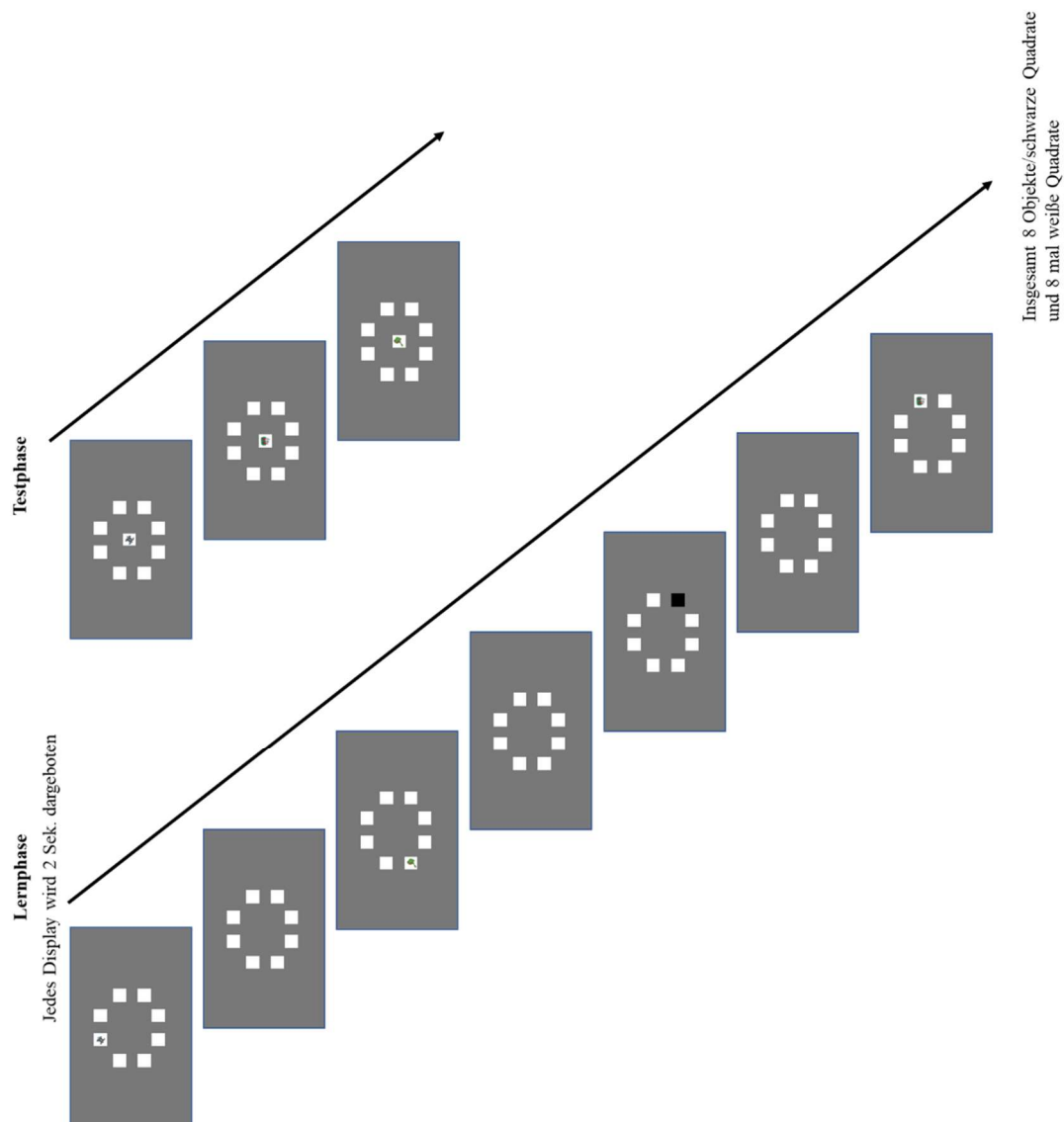
## 2.8 Paarassoziationslernen

Das PAL zur Erfassung der assoziativen Arbeitsgedächtniseffektivität wurde an der Version der „Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery“ (Sahakian & Owen, 1992; CANTAB) orientiert. Aufgrund oben zitierter unveröffentlichter Masterarbeit (Friedrich, 2015) wurden einige Modifikationen vorgenommen. In dieser Arbeit berichteten viele Versuchspersonen, durch diese Aufgabe sehr frustriert gewesen zu sein. In der Ursprungsversion aus der CANTAB steigt die gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis zu haltende Menge mit jedem Trial an. Wird ein Fehler gemacht, so wird der Trial wiederholt. Wird der Trial zu oft wiederholt, wird der Test beendet. Die ansteigende Leistung und die mit steigender Kapazität auch steigende Anzahl an Wiederholungen hätten die Versuchspersonen unzufrieden gemacht, da sie dadurch ihre Leistung als schlecht eingeschätzt hätten. Dies hätte sich auf die weiteren Tests auswirken können, weshalb in der vorliegenden Arbeit versucht wurde, diesen Effekt zu verhindern. Zudem ist die Bearbeitungszeit des PAL in der CANTAB Version sehr variabel und könnte bei guten Leistungen viel länger andauern als bei schlechten. Um die Gesamtdauer von Prä- oder Posttest nicht so lange zu halten, dass kognitive Erschöpfung eintritt und zudem die Gesamtbearbeitungsdauer für alle Versuchspersonen ähnlich zu halten, wurde die Anzahl der Trials angepasst und alle Versuchspersonen bearbeiteten gleich viele Trials.

Im Paarassoziationslernen wurde die Arbeitsgedächtnisspanne für Orts-Objekt-Assoziationen erfasst. Zu Beginn des Tests wurden die Versuchspersonen darüber informiert, dass sie im Folgenden kreisförmig angeordnete weiße Kästchen sehen werden, die sich „nacheinander öffnen“ werden. Das Kästchen färbte sich entweder schwarz oder ein farbiges Objekt (siehe A2) erschien. Die Versuchspersonen wurden darüber informiert, dass die Objekte keine realen Entsprechungen hätten und deswegen nicht benannt werden könnten. Die Versuchspersonen sollten nur die Objekte lernen, ohne sich Gedanken über ihre Benennung zu machen. Es wurden zwei Parallelformen des PAL mit jeweils acht Objekten, also insgesamt 16 Objekte, verwendet. Die geringe Anzahl von verfügbaren Objekten sollte zu häufigen Wiederholungen und dadurch zu mehr Interferenz und Hyperbinden geführt haben.

Die Prätest-Posttest-Reihenfolge der Parallelformen war über die Versuchspersonen ausbalanciert, um mögliche Einflüsse der Objektschwierigkeit zu kontrollieren. In jedem Trial lernten die Versuchspersonen randomisiert entweder zwei, vier, sechs oder

acht Orts-Objekt-Assoziationen. Jede Variante wurde drei Mal dargeboten. Der Trialablauf ist in Abbildung 11 beschrieben.



**Abbildung 11:** Trialablauf im Paarassoziationslernen. Es wurden Trials mit entweder zwei, vier, sechs oder acht Objekten dargeboten. Es wurden immer acht kreisförmig angeordnete Quadrate gezeigt. In einem dieser Quadrate wurde für zwei Sekunden entweder ein Objekt präsentiert oder das Quadrat wurde schwarz. Die schwarzen Quadrate konnten ignoriert werden, die Objekte sollten enkodiert werden. Darauf folgend wurden für zwei Sekunden die acht weißen Quadrate präsentiert; gefolgt von einem neuen Objekt oder schwarzen Quadrat. Dies erfolgte so lange, bis in jedem Quadrat ein Objekt oder eine schwarze Fläche erschien. Im Anschluss begann nach Ankündigung die Testphase. In der Mitte der acht Quadrate wurde eines der zuvor präsentierten Objekte dargeboten und mit der Maus wurde das Quadrat, in dem das Objekt erschien, angeklickt. Nachdem alle zuvor präsentierten Objekte in der Testphase dargestellt und einem Quadrat zugeordnet wurden, begann der nächste Trial. Für eine vollständige und größere Darstellung der Objekte siehe Anhang A2. Für weitere Erläuterungen siehe Text.

Lern- und Testdisplay waren gleich aufgebaut. Kreisförmig angeordnet sahen die Versuchsteilnehmenden acht weiße Kästen (5\*8 %) an den in Tabelle vier vorgestellten Positionen.

**Tabelle 4:** Stimuluspositionen im Paarassoziationslernen. Dargestellt sind die Positionen auf der X- und der Y-Achse des Bildschirms in Prozent der Bildschirmgröße. Die Positionen bilden einen Kreis mit gleichmäßiger Verteilung der Stimuli.

Position	X - Achse	Y - Achse
	61 %	58 %
	55 %	70 %
	45 %	70 %
	39 %	58 %
	39 %	42 %
	45 %	31 %
	55 %	31 %
	61 %	42 %

Für jeweils 2000 ms, getrennt durch ein 2000 ms Inter-Stimulus-Intervall (alle Kästchen weiß), wurde in jedem der Kästchen entweder ein zufällig ausgewähltes Objekt dargestellt oder das Kästchen schwarz gefärbt. Die Lernphase dauerte also immer 32 Sekunden.

Nach dem Ende der Lernphase erschien die Information, dass jetzt die Testphase beginne. Mit Druck auf die Leertaste startete die Testphase. In der Mitte des Kreises sahen die Versuchspersonen nun zufällig ausgewählt eines der zuvor gelernten Objekte. Mit der Maus klickten sie nun in das Kästchen, in dem das Objekt zuvor erschienen war. Danach erschien das nächste Objekt, bis alle gelernten Objekte abgefragt wurden. Da viele Versuchspersonen die Aufgaben an einem Laptop-Bildschirm bearbeiteten, und die Objektgröße von der Bildschirmgröße abhängig gemacht wurde, gaben viele Versuchspersonen an, dass die Objekte im PAL sehr klein dargestellt wurden. Die Versuchspersonen erhielten kein Feedback über ihre Leistung.

Als kritischer Wert zur Analyse des PAL wurde die Gesamtzahl memorierter Stimuli gewählt. Beim vorliegenden Design erschien diese am geeignetsten, um die Effektivität des assoziativen Arbeitsgedächtnisses zu erfassen. Je mehr Stimuli im gesamten memoriert werden, desto größer sollte die Arbeitsgedächtniseffektivität sein. Als zusätzliche Analyse wurde die durchschnittlich memorierte Anzahl Stimuli pro Setgröße analysiert.

Die durchschnittliche Bearbeitungszeit des PAL wurde auf 10 Minuten geschätzt. Es wurden keine Übungstrials oder Pausen angeboten.

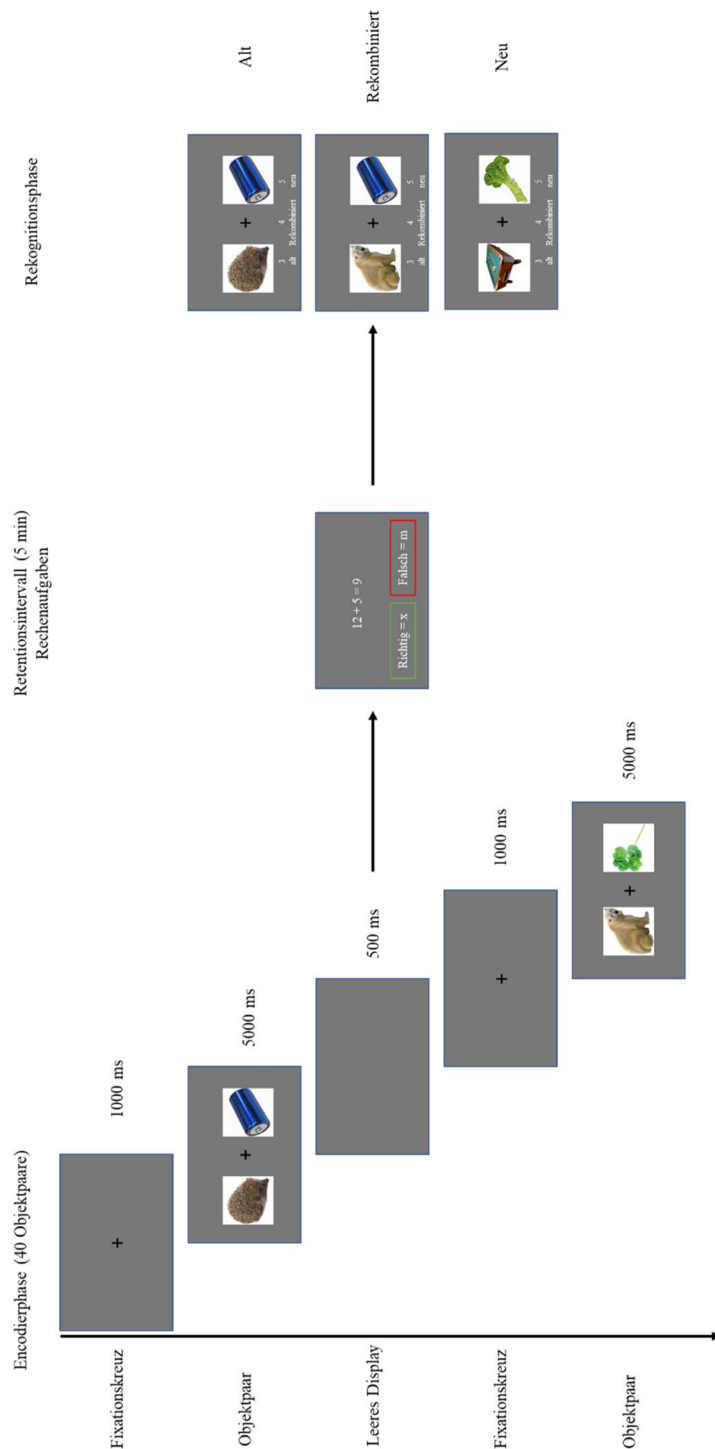
## 2.9 Assoziativer Rekognitionstest

Der in Abbildung zwölf dargestellte assoziative Rekognitionstest (z. B. Naveh-Benjamin, 2000) wurde eingesetzt, um die assoziative Gedächtnisleistung im episodischen Gedächtnis zu erfassen. Den Versuchspersonen wurden in der Lernphase immer zwei zufällig generierte Objektpaare (z. B. Naveh-Benjamin et al., 2003) präsentiert, wobei diese immer unterschiedlichen Objektkategorien (siehe A3) entsprangen, um das AD größer zu halten als es bei relatierten Paaren wäre (Naveh-Benjamin, 2000). Es wurden zwei Parallelformen angeboten. Die Objekte variierten zwischen Prä- und Posttest, aber die Objektsets waren über die Versuchspersonen ausbalanciert, um Reihenfolgeeffekten vorzubeugen. In der Testphase wurden alte, rekombinierte und neue Objektpaare präsentiert.

Die Probandinnen und Probanden wurden zu Experimentalbeginn darüber informiert, dass sie nun Objektpaare lernen würden und in einer späteren Testphase entscheiden müssten, ob die gezeigten Objektpaare alt, rekombiniert oder neu waren. Es wurde ein Beispiel für ein Lerndisplay und später für ein Testdisplay gegeben. Die Lernphase begann jedoch, ohne einen Übungsdurchgang anzubieten. In der Lernphase wurden 40 Objektkombinationen präsentiert. In der Mitte des Bildschirms fixierten die Versuchspersonen ein Fixationskreuz (1\*1 %). 25 % rechts und links des Fixationskreuzes wurden die beiden Objekte in einer Größe von 15\*15 % dargestellt. Jedes Objektpaar wurde für 5000 ms präsentiert. Anschließend wurde für 500 ms ein leerer Bildschirm mit darauffolgender Präsentation des Fixationskreuzes für 1000 ms dargestellt. Nach der Lernphase folgte ein fünf-minütiges Retentionsintervall. Während des Retentionsintervalles bearbeiteten die Versuchspersonen leichtere Rechenaufgaben. Ihnen wurde eine Gleichung präsentiert und sie antworteten mit „x“, wenn die Gleichung wahr und mit „m“, wenn sie falsch war. Die Rechenaufgaben dienten dazu, aktives Memorieren zu verhindern und gingen nicht weiter in die Analyse ein. In der anschließenden Rekognitionsphase wurden 20 alte, 20 rekombinierte und 20 neue Paare präsentiert. Nach 30 Paaren erfolgte eine Pause von selbstgewählter Dauer. Mit der Taste „3“ reagierten die Versuchspersonen bei alten Paaren, mit der „4“ bei rekombinierten und mit der „5“ bei neuen. Die Tastenbelegungen wurden unten auf dem Testdisplay, in einer Höhe von 87 % der Bildschirmhöhe angezeigt. Das nächste Paar wurde präsentiert, sobald eine Antwort gegeben wurde.

Als kritisches Maß wurde das Verhältnis von Treffern zu Fehllarmen (PR-Maß) berechnet (z. B. Naveh-Benjamin, 2000), wobei fälschlich als alt klassifizierte rekombinierte und neue Paare als Fehllarm definiert wurden. Zudem wurde die Entwicklung der Fehllarme separat analysiert, weil diese beim Hyperbinden eine kritische Rolle zu spielen scheinen (siehe Kap. 1.7).

Die Bearbeitungsdauer des assoziativen Rekognitionstests wurde auf ca. 15 Minuten geschätzt.



**Abbildung 12:** Trialablauf des assoziativen Rekognitionstests. In der Encodierphase wurden 40 Objektpaare gelernt. Jedes Objektpaar wurde für 5 Sek. dargeboten. Im Anschluss an die Encodierphase folgte ein 5-minütiges Retentionsintervall, in dem von den Versuchspersonen Rechenaufgaben bearbeitet wurden. In der Rekognitionsphase wurden jeweils 20 alte, 20 rekombinierte und 20 neue Paare präsentiert. Die Versuchspersonen klassifizierten die Objektpaare per Tastendruck. Für weitere Erläuterungen siehe Text.

## 2.10 Statistische Datenanalyse

Bei Reaktionszeitaufgaben wurde immer der Median der Probandenleistungen aus den korrekt ausgeführten Trials bestimmt. Fehler und Reaktionszeiten wurden separat analysiert. Es wurden keine Probanden oder Probandinnen als Ausreißer aus der Analyse entfernt.

Die statistische Datenanalyse der frequentistischen Statistik wurde mit dem Programm SPSS 28 (IBM Corp. Released 2021. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28.0. Armonk, NY: IBM Corp.) durchgeführt. In der Regel wurden Mixed-Model-Varianzanalysen (ANOVA) (ANOVA mit Messwiederholung) mit dem Innersubjektfaktor Testzeitpunkt (Prätest; Posttest) und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (Experimentalgruppe; aktive Kontrollgruppe) gerechnet. In einigen Analysen wurden weitere Innersubjektfaktoren hinzugefügt. Diese werden bei den spezifischen Analysen beschrieben. Als Alpha-Niveau wurde, nach gängiger Konvention, 0,05 gewählt. Als Effektstärkemaß der ANOVAs wurde das partielle Eta<sup>2</sup> ( $\eta_p^2$ ) angegeben. Nach Ellis (2010), in Anlehnung an Cohen (1988), kann  $\eta_p^2$  wie folgt interpretiert werden:

0.01 = kleiner Effekt; 0.06 = mittlerer Effekt; 0.14 = großer Effekt.

Das  $\eta_p^2$  stellt ein Maß für die durch einen Faktor aufgeklärte Varianz dar, nachdem Effekte anderer Faktoren herauspartialisiert wurden (z. B. Sedlmeier & Renkewitz, 2010).

Bei Paarvergleichen mittels t-Test wurde das Effektstärkemaß Cohens d verwendet. Es gibt Informationen über die Effektgröße, bezogen auf die Standardabweichung (SD). Ein Cohens d von 1.0 bedeutet demnach, dass vom Prä- zum Posttest eine Veränderung um eine SD stattgefunden hat. Cohens d wurde auch verwendet, um Trainingseffekte im Sinne einer Veränderung vom Prä- zum Posttest oder von Trainingssitzung eins zu zwölf für jedes Maß und jede Gruppe separiert zu quantifizieren.

Cohens d kann nach Cohen (1988) wie folgt interpretiert werden:

0.2 bis 0.5 = kleiner Effekt; 0.5 bis 0.8 = mittlerer Effekt; > 0.8 = großer Effekt

Weil nach dem zentralen Grenzwertsatz die Stichprobe annähernd normalverteilt sein sollte, sofern sie möglichst groß ist (allgemein wird in der Psychologie von einer Gruppengröße von ca.  $n = 30$  ausgegangen (z. B. Bortz & Schuster, 2010)) und sich überdies die ANOVA mit Messwiederholung als robust gegenüber einer Verletzung der

Normalverteilungsannahme gezeigt hat (ebd.), wird hier von normalverteilten Daten ausgegangen und mit parametrischen Verfahren gerechnet.

Da die Möglichkeit zu einem Trainingstransfer in der Literatur sehr umstritten scheint (siehe Kap. 1.3), wurden, wo möglich, möglichst konservative Testverfahren gewählt, um die Wahrscheinlichkeit eines Alpha-Fehlers zu minimieren. Bei Tests mit  $> 2$  gestuften Faktoren wurden, bei Verletzung der Sphärizitätsannahme, ermittelt durch den Mauchly Test auf Sphärizität, nach Greenhouse-Geisser korrigierte Werte angegeben. Die Daten des Mauchly Tests auf Sphärizität wurden auch in diesem Falle nicht berichtet. Bei kumulierten Paarvergleichen wurde das Alpha-Niveau nach Bonferroni bzw. der Bayes-Faktor nach Westfall und Kollegium (1997) korrigiert.

Zusätzlich zur frequentistischen Statistik wurden die Daten mittels Bayes-Statistik (z. B. Tschirk, 2019; van Doorn, 2021) über das Programm JASP (JASP Team, 2021; v. 0.16.1) analysiert (siehe Kap. 1.9). Im Rahmen der Bayes-Statistik wird eine Kennzahl, der Bayes-Faktor, bestimmt, der angibt, welche der beiden Hypothesen die gemessenen Daten besser erklärt. Bei nicht signifikanten frequentistischen Analysen kann über den Bayes-Faktor analysiert werden, ob die erhobenen Daten eher für die Gleichheit der Gruppen sprechen. Im Gegensatz zur frequentistischen Statistik, die überprüft, ob die erhobenen Daten unter der Annahme einer Nullhypothese zufällig zustande gekommen sein könnten und somit bei einem signifikanten Ergebnis die Nullhypothese ( $H_0$ ) zu Gunsten einer Alternativhypothese ( $H_1$ ) verwirft, vergleicht die Bayes-Statistik zwei konkurrierende Modelle; zum Beispiel ein Nullmodell mit einem Alternativmodell. Die Begriffe Modell und Hypothese werden oft synonym verwendet, wobei in der Bayes-Statistik wohl eher von Modell gesprochen wird und in der frequentistischen Statistik eher von Hypothese. Zur einheitlichen Formulierung wird in dieser Arbeit auch bei der Bayes-Statistik von Hypothese gesprochen. Der Bayes-Faktor gibt an, wie gut durch eine Hypothese im Gegensatz zu einer alternativen Hypothese die empirisch ermittelten Daten vorhergesagt werden. Definiert ist dieser Faktor als das Verhältnis der bedingten Wahrscheinlichkeit der gemessenen Daten unter der Annahme, dass die Alternativhypothese gelte zur Wahrscheinlichkeit der gemessenen Daten unter der Wahrscheinlichkeit, dass die Annahme der Nullhypothese gelte; oder umgekehrt. Durch die Angabe eines Verhältnisses gibt der Bayes-Faktor also die Möglichkeit, die  $H_0$  nicht nur zu verwerfen, sondern auch Evidenz für sie zu liefern. Berechnet wird der Bayes-Faktor aus dem Verhältnis der a-posteriori

Wahrscheinlichkeiten der beiden gegeneinander abzuwägenden Hypothesen unter Berücksichtigung der für das Zutreffen der jeweiligen Hypothesen angenommenen a-priori Wahrscheinlichkeiten. Die a-posteriori Wahrscheinlichkeit einer Hypothese ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Hypothese zutrifft, welche sich aus den erhobenen Daten ergibt. Die a-priori Wahrscheinlichkeit einer Hypothese ist die gegebenenfalls aus Vorwissen abgeleitete Wahrscheinlichkeit für diese Hypothese, welche ohne die erhobenen Daten als plausibel angenommen wird. Für die Bayes-Mixed-Model-ANOVAs wurden die von JASP voreingestellten a-priori Wahrscheinlichkeiten verwendet, die aus einer Cauchy-Verteilung mit Breitenparameter 0.5 für feste Effekte und eins für zufällige Effekte bestimmt werden (van Doorn, Aust, Haaf, Stefan, Wagenmakers, 2021). Diese Werte wurden gewählt, weil aus der Literatur nicht klar zu entnehmen ist, welche a-priori Wahrscheinlichkeiten zu erwarten sind. Weil in dieser Arbeit Unterschiedshypothesen getestet werden, wird hier der Bayes-Faktor  $B_{10}$  berichtet, der den Quotienten aus der Wahrscheinlichkeit des gemessenen Ergebnisses unter der Bedingung, dass  $H_1$  gelte und der Wahrscheinlichkeit des gemessenen Ergebnisses unter der Bedingung, dass  $H_0$  gelte, angibt. Ein  $B_{10}$  von zehn würde beispielsweise angeben, dass die Daten zehn Mal wahrscheinlicher wären, wenn  $H_1$  wahr wäre, als wenn  $H_0$  zutrifft. Der Bayes-Faktor  $B_{01}$ , der den Quotienten aus der Wahrscheinlichkeit des gemessenen Ergebnisses unter der Bedingung, dass  $H_0$  gelte und der Wahrscheinlichkeit des gemessenen Ergebnisses unter der Bedingung, dass  $H_1$  gelte, angibt, ist äquivalent zu  $1/B_{10}$ . Zur Analyse von Interaktionseffekten vergleicht JASP bei der Berechnung des Bayes-Faktors die  $H_0$  mit einem Modell, das die beiden Haupteffekte mit der Interaktion kombiniert. Um dieses Problem zu umgehen, gibt JASP zusätzlich den Bayes-Faktor Inklusiv ( $B_{inkl}$ ) aus, der die Veränderung von prior odds zu posterior odds in den verschiedenen Modellen durch die Hinzunahme eines Faktors (z. B. der Interaktion) betrachtet. Für Interaktionen wird dieser Bayes-Faktor berichtet. Er kann genauso interpretiert werden wie  $B_{10}$ . Ein  $B_{inkl}$  von zehn würde beispielsweise angeben, dass die erhobenen Daten bei Modellen, die den untersuchten Faktor aufnehmen, zehn Mal wahrscheinlicher wären als bei Modellen, die ihn nicht beinhalten. Die Nullhypothese würde in diesem Falle bedeuten, dass der Faktor nicht ins Modell aufgenommen wird und die Alternativhypothese, dass er aufgenommen wird. Nach Wagenmakers, Wetzels, Borsboom und van der Maas (2011) (angelehnt an Jeffrey, 1961) sowie van Doorn et al. (2021) kann der Bayes-Faktor wie in Tabelle fünf interpretiert werden.



Für Bayes-Analysen ist im Prinzip keine Mindeststichprobengröße notwendig (van Doorn et al., 2021). Jedoch kann der Bayes-Faktor mit größerer Stichprobe besser geschätzt werden. Die Fehlerwahrscheinlichkeit sinkt und die Robustheit des Bayes-Faktors steigt mit steigender Stichprobengröße. Für den Bayes-Faktor  $B_{10}$  gibt JASP zusätzlich die Fehlerwahrscheinlichkeit des Faktors aus. Dieser gibt die Robustheit des Monte-Carlo-Algorithmus gegenüber Fehlern an. Fehlerprozentwerte unter 20 % können laut den „JASP Guidelines for Conducting and Reporting a Bayesian Analysis“ (van Doorn et al., 2021) als akzeptabel angesehen werden. Für  $B_{10}$  wurde die Fehlerwahrscheinlichkeit neben dem Bayes-Faktor berichtet. Alle Bayes-Analysen wurden zur besseren Reproduzierbarkeit der Analyse mit dem Startwert eins begonnen.

**Tabelle 5:** Interpretation des Bayes-Faktors  $B_{10}$  (abgewandelt für  $B_{10}$  nach Wagenmakers, Wetzels, Borsboom & van der Maas (2011); van Doorn et al., 2021)

<b>Bayes-Faktor <math>B_{10}</math></b>	<b>Interpretation</b>
> 100	Außergewöhnlich starke Evidenz für $H_1$ , verglichen mit $H_0$
30 – 100	Sehr starke Evidenz für $H_1$ , verglichen mit $H_0$
10 – 30	Starke Evidenz für $H_1$ , verglichen mit $H_0$
3 – 10	Substantielle Evidenz für $H_1$ , verglichen mit $H_0$
1 – 3	Anekdotische Evidenz für $H_1$ , verglichen mit $H_0$
1	Keine Evidenz, weder für $H_1$ , noch für $H_0$
1 – 0.3	Anekdotische Evidenz für $H_0$ , verglichen mit $H_1$
0.3 – 0.1	Substantielle Evidenz für $H_0$ , verglichen mit $H_1$
0.1 – 0.03	Starke Evidenz für $H_0$ , verglichen mit $H_1$
0.03 – 0.01	Sehr starke Evidenz für $H_0$ , verglichen mit $H_1$
< 0.01	Außergewöhnlich starke Evidenz für $H_0$ , verglichen mit $H_1$

Nach einer Beschreibung der Placebokontrolle werden im Folgenden zunächst die Daten des Trainings ausführlich analysiert. Darauffolgend werden die Analysen des Testverfahrens für einen nahen und dann die für einen fernen Transfer berichtet.

Zu Beginn eines jeden Berichtes der Transfertests werden zunächst die in die Analyse einbezogenen AV daraufhin untersucht, ob sie sich schon im Prätest voneinander unterscheiden.

Aufgrund der in die Analysen einbezogenen unterschiedlich großen Stichprobengrößen wird die Stichprobengröße immer zu jeder Analyse einzeln ausgegeben.

Mittelwerte (MW) und deren Standardabweichung (SD) werden zu jeder Analyse tabellarisch ausgegeben.

Für diese Arbeit sind in der Regel nur die Interaktionen zwischen Testzeitpunkt und Gruppe und möglicherweise weiteren Variablen (s. o.) relevant. Zur Vervollständigung des Ergebnisberichtes werden aber auch die Haupteffekte und andere Interaktionen berichtet. Es kann so unter anderem gezeigt werden, dass die theoretischen Annahmen der Testverfahren, wie die Unabhängigkeit der Aufmerksamkeitsnetzwerke im ANT (Fan et al., 2002), auch in dieser Studie zutreffen.

Eine Zusammenfassung und Kurzinterpretation der relevanten Ergebnisse zur Herleitung weiterer Erhebungen und Analyseschritte finden sich am Ende des Ergebnisberichtes. Die Interpretation in Zusammenschau der gesamten Ergebnisse findet sich in der generellen Diskussion (Kap. 6).

### **3 Ergebnisse der ersten Erhebung**

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Trainings und der Transfertests berichtet. Der Begriff der statistischen Signifikanz als gebräuchliches Konzept der frequentistischen Statistik wird hier für Ergebnisse verwendet, die für die  $H_1$  sprechen. Das Effektstärkemaß Cohens  $d$  als Maß für die Veränderung von Trainingssitzung eins zu zwölf oder vom Prä- zum Posttest ist für alle Tests und Gruppen, unabhängig der Signifikanz, tabellarisch im Anhang A4 zu finden. Die Konfidenzintervalle werden jeweils und ausschließlich in den Abbildungen zu den Analysen berichtet. Diese sollen eine weitere Hilfe zur Interpretation, besonders der frequentistischen Analysen geben.

#### **3.1 Placebokontrolle**

In Bezug auf die Experimentalgruppe äußerte lediglich eine Probandin die Vermutung, in der Kontrollgruppe zu sein. Bezüglich der aktiven Kontrollgruppe gab kein Proband oder keine Probandin an, vermutet zu haben, in einer Kontrollgruppe teilgenommen zu haben.

#### **3.2 Ergebnisse des Trainings**

In die Analyse der Trainingseffekte gingen insgesamt 53 (27 Experimentalgruppe; 26 aktive Kontrollgruppe) Versuchspersonen ein. Von den übrigen sieben Versuchspersonen (4 Experimental- und 3 aktive Kontrollgruppe) lagen nicht alle Trainingsdaten vor, sodass diese von der Analyse des Trainings ausgeschlossen wurden.

Zunächst wurde in einer  $12 \times 2 \times 2$  Mixed-Model-ANOVA (Trainingssitzung\*Trialtypen\*Gruppe) analysiert, ob sich das Training unterschiedlich auf Wiederholungs- oder Wechseltrials auswirkte. Die Interaktion von Testzeitpunkt, Trialtypen und Gruppe würde in der frequentistischen Analyse der SC der Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe entsprechen und die Interaktion von Trainingssitzung und Trialtypen dem Haupteffekt für Trainingssitzung, weil die SC die Differenz von Wiederholungs- zu Wechseltrials sind. Weil in den Bayes-Analysen unterschiedliche Bayes-Faktoren für die Haupteffekte und die Interaktionen angegeben werden ( $B_{10}$  bzw.  $B_{inkl}$ ) und unterschiedliche Modelle mit dem Nullmodell verglichen werden, weichen die Ergebnisse der Bayes-Analyse von SC und Trialtypen voneinander ab. Sollte die Bayes-Analyse der SC eine andere Interpretation der Daten zulassen als jene der Trialtypen, so wird

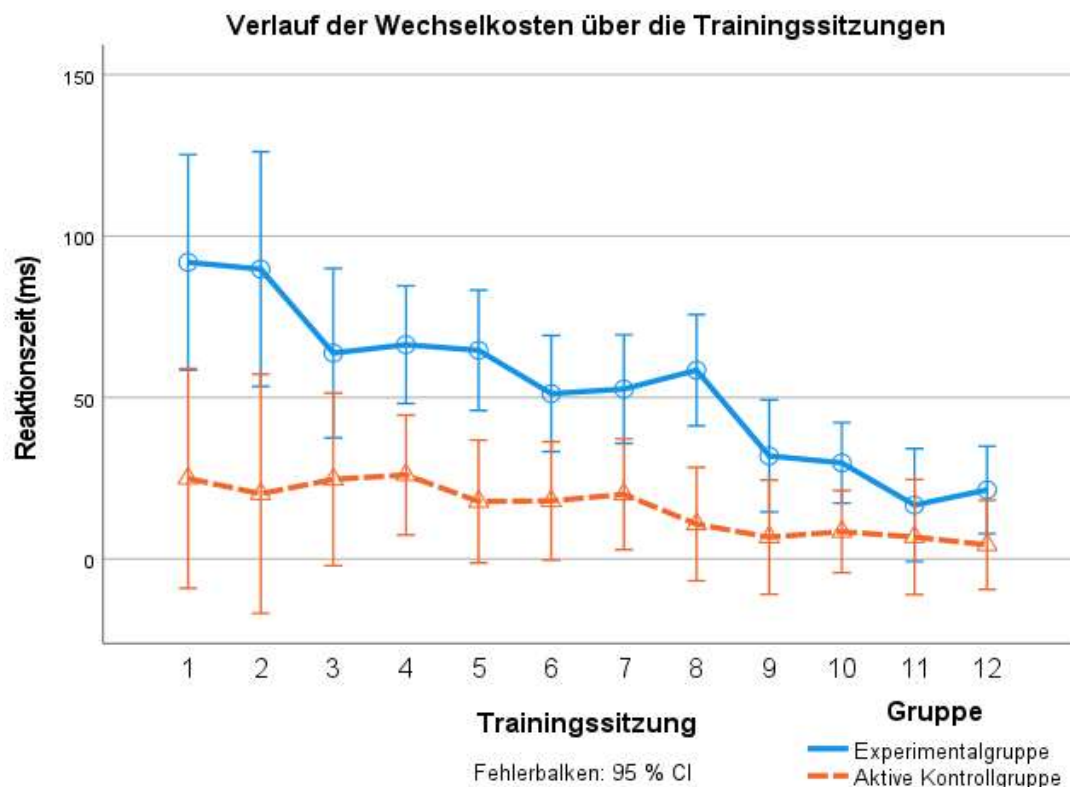
diese Analyse im Fließtext berichtet. Grafisch werden neben den Trialtypen auch die SC dargestellt. Im Anschluss werden die Veränderungen der SC über die Schwierigkeitsstufen hinweg analysiert. Am Ende der Analyse der Trainingsdaten soll ermittelt werden, ob die unterschiedlichen Distraktorstufen tatsächlich unterschiedlich starke Anforderungen an die Inhibitionsfähigkeit gestellt haben könnten und somit die Inhibitionsfähigkeit hätten trainiert haben können.

Zur Analyse der RT der Trialtypen über die Trainingssitzungen finden sich die MW und SD in Tabelle sechs und die Grafik zur Interaktion von Trainingssitzung, Trialtypen und Gruppe in Abbildung 14. Zum besseren Verständnis der Analysen in Bezug auf die Wechselkosten, werden auch diese grafisch in Abbildung 13 dargestellt. Eine tabellarische Darstellung der SC (MW und SD) ist in Anhang A5 zu finden.

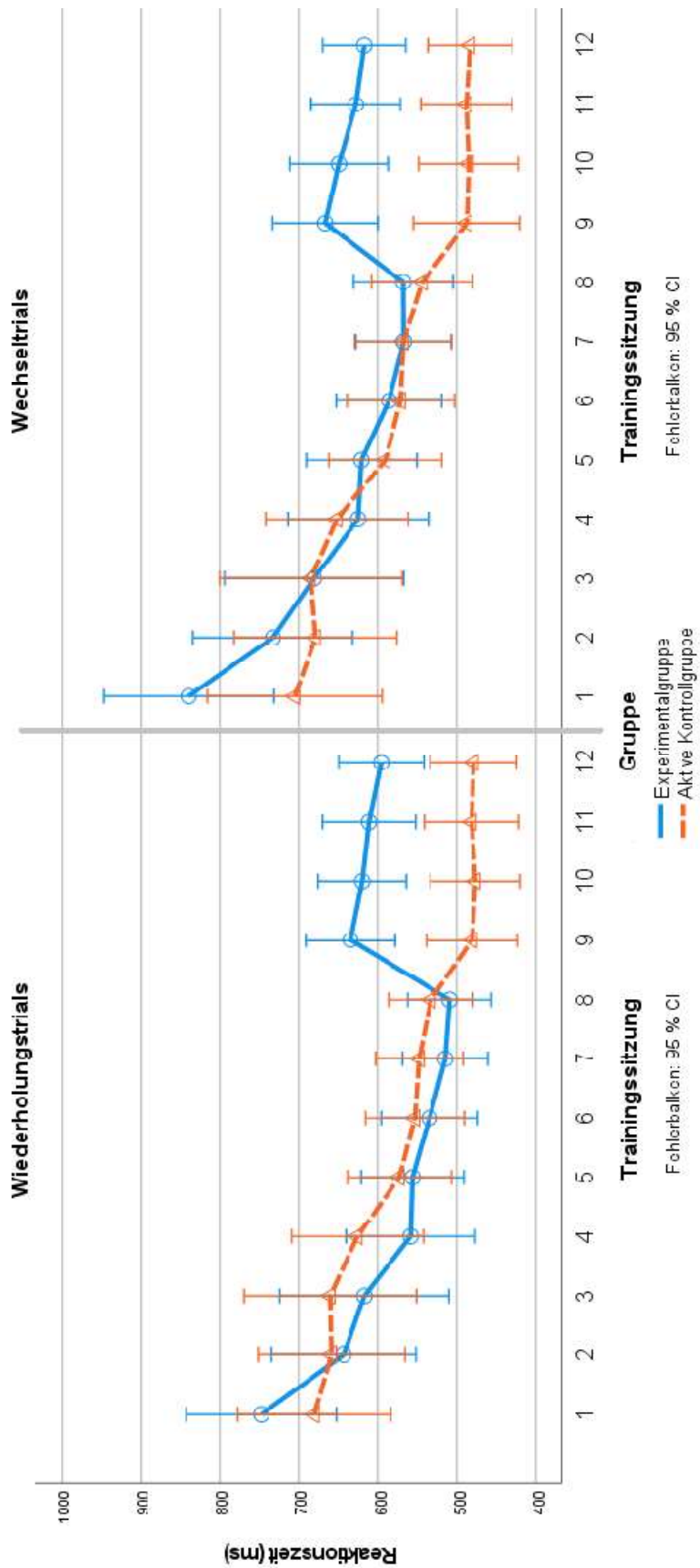
Wie aus Tabelle sieben ersichtlich, konnte eine Interaktion zwischen Trainingssitzung und Trialtypen in der frequentistischen Analyse, jedoch nicht in der Bayes-Analyse unter Berücksichtigung aller Trainingssitzungen sowie der ersten acht Sitzungen ( $F(3.5, 189.737) = 2.73$ ;  $p = 0.036$ ;  $\eta_p^2 = 0.05$ ;  $B_{inkl} = 0.004$ ) gezeigt werden. Die Analyse der ersten acht Sitzungen wurde durchgeführt, da dort kein starker Anstieg der RT in der Experimentalgruppe zu verzeichnen war. Somit konnte ermittelt werden, ob es im Verlauf der Trainingssitzungen zu Verbesserungen kam. Die direkte Analyse der SC sprach in der Bayes-Analyse jedoch für den Haupteffekt Trainingssitzung (Sitzung 1 bis 12:  $B_{10} = 1.548 \cdot 10^7$  (Fehler: 0.209); Sitzung 1 bis 8:  $B_{10} = 1.471$  (Fehler: 0.291)). Über alle Trainingssitzungen hinweg wurden Wechseltrials stärker verbessert als Wiederholungstrials. Die Interaktion von Trainingssitzung und Gruppe wurde nur für den Einbezug aller zwölf Trainingssitzungen signifikant. Für die Analyse von lediglich der ersten acht Trainingssitzungen zeigte sich bei frequentistischer Analyse kein Effekt ( $F(2.664, 141.167) = 2.154$ ;  $p = 0.104$ ;  $\eta_p^2 = 0.039$ ;  $B_{inkl} = 206.321$ ). Der Bayes-Faktor gab jedoch weiterhin Evidenz für die  $H_1$ . Die Interaktion von Testzeitpunkt, Trialtypen und Gruppe, also die Analyse der Entwicklung der SC zwischen den Gruppen sprach in beiden Analysen nicht für die  $H_1$ . Die direkte Analyse der SC sprach nach der Bayes-Analyse jedoch mit „substantieller Evidenz“ für die  $H_1$  ( $B_{inkl} = 5.467$ ), wonach die Experimentalgruppe stärkere Verbesserungen zeigte als die aktive Kontrollgruppe. Da die Experimentalgruppe zu Beginn des Trainings (Sitzung 1) höhere SC zeigte als die aktive Kontrollgruppe ( $F(1, 56) = 10.485$ ;  $p = 0.002$ ;  $\eta_p^2 = 0.158$ ;  $B_{10} = 17.236$  (Fehler:  $3.194 \cdot 10^{-7}$ )), war es für diese Gruppe jedoch auch einfacher, eine stärkere

Verbesserung der SC zu erzielen als für die aktive Kontrollgruppe. Die Interaktion von Gruppe und Trialtypen könnte darauf hindeuten, dass die Differenz zwischen Wiederholungs- und Wechseltrials, und somit die SC bei der Experimentalgruppe insgesamt größer war als bei der aktiven Kontrollgruppe.

Zur Kontrolle potentieller Adaptationseffekte im Sinne einer Gewöhnung und Einarbeitung in die Aufgabe in der ersten Trainingssitzung und veränderten Motivation durch das baldige Trainingsende in der letzten Sitzung, wurde die Analyse unter Einbezug von lediglich zweiter bis elfter Sitzung wiederholt. Die Analyse von Sitzung zwei bis elf lieferte ähnliche Ergebnisse wie die obigen (alle Ergebnisse wurden nach Greenhouse-Geisser korrigiert. Trainingssitzung:  $F(2.412, 130.240) = 11.522$ ;  $p < 0.001$ ;  $\eta_p^2 = 0.176$ ;  $B_{10} = 4.169 \cdot 10^{26}$  (Fehler: 0.311); Trainingssitzung\*Trialtypen:  $F(4.428, 239.092) = 6.602$ ;  $p < 0.001$ ;  $\eta_p^2 = 0.109$ ;  $B_{inkl} = 0.003$ ; Trainingssitzung\*Gruppe:  $F(2.412, 130.240) = 5.117$ ;  $p = 0.004$ ;  $\eta_p^2 = 0.087$ ;  $B_{inkl} = 8.000 \cdot 10^{11}$ ).



**Abbildung 13:** Verlauf der Wechselkosten (RT) über die Trainingssitzungen. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. Exakte MW und SD sind in Anhang A5 zu finden. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 7.)



**Abbildung 14:** Reaktionszeiten der Wiederholungs- und Wechselstrials im Training. Vergleich der Wiederholungs- und Wechselstrials über die 12 Trainings-sitzungen. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. MW und SD finden sich in Tabelle 6. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 7.)

**Tabelle 6:** Reaktionszeiten der Wiederholungs- und Wechseltrials im Training. Tabellarische Übersicht über MW und SD der Trialtypen.

		Training - Trialtypen (Wiederholung/Wechsel) - Reaktionszeit (ms) - MW (SD)																	
		1		2		3		4		5		6							
Sitzung	Trial-typen	Wieder-holung	Wechsel gesamt	Wieder-holung	Wechsel gesamt	Wieder-holung	Wechsel gesamt	Wieder-holung	Wechsel gesamt	Wieder-holung	Wechsel gesamt	Wieder-holung	Wechsel gesamt						
Experimentaltalgruppe (N = 27)	Aktive	748 (288)	839 (341)	793 (311)	643 (253)	733 (308)	687 (275)	617 (241)	680 (276)	649 (256)	558 (216)	624 (249)	592 (232)	556 (191)	620 (214)	588 (200)	534 (183)	586 (207)	560 (193)
Kontrollgruppe (N = 26)	Aktive	680 (193)	705 (198)	692 (194)	658 (217)	679 (203)	669 (209)	660 (309)	685 (312)	672 (310)	626 (206)	651 (207)	639 (206)	572 (139)	590 (140)	581 (139)	553 (127)	571 (128)	562 (127)
Sitzung	Trial-typen	7		8		9		10		11		12							
Experimentaltalgruppe (N = 27)	Aktive	514 (156)	567 (181)	541 (167)	509 (158)	568 (199)	538 (177)	634 (179)	666 (217)	650 (196)	620 (172)	649 (198)	634 (184)	611 (184)	627 (171)	619 (175)	596 (159)	617 (156)	606 (156)
Kontrollgruppe (N = 26)	Aktive	547 (122)	568 (124)	558 (122)	532 (109)	544 (114)	538 (111)	481 (104)	487 (106)	484 (104)	476 (108)	485 (110)	481 (109)	481 (110)	487 (115)	485 (112)	479 (116)	483 (111)	481 (114)

**Tabelle 7:** Reaktionszeit-Analyse des Trainings unter Einbezug der Trialtypen. 12\*2\*2 Mixed-Model ANOVA (Trainings-sitzung\*Gruppe (Experimental- und aktive Kontrollgruppe)\*Trialtypen (Wiederholungs- und Wechseltrials)) und RT als AV. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

Analyse des Trainings (Reaktionszeit)							
Effekte	Greenhouse-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<i>Trainings-sitzung</i>	<i>Ja</i>	<i>2.828, 144.215</i>	<i>17.233</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.253</i>	<i>1.146·10<sup>53</sup></i>	<i>0.291</i>
Gruppe	Nein	1, 51	1.397	0.243	0.027	0.531	2.555
<i>Trialtypen</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 51</i>	<i>49.372</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.222</i>	<i>1681.958</i>	<i>2.684</i>
<i>Trainings-sitzung*Gruppe</i>	<i>ja</i>	<i>2.828, 144.215</i>	<i>6.176</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.108</i>	$\infty$	
<i>Trainings-sitzung*Trialtypen</i>	<i>Nein</i>	<i>4.523, 230.657</i>	<i>6.399</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.111</i>	<i>0.001</i>	
<i>Gruppe*Trialtypen</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 51</i>	<i>14.578</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.222</i>	<i>11.625</i>	
Trainings-sitzung*Gruppe* Trialtypen	Ja	4.523, 230.657	2.195	0.062	0.041	1.631·10 <sup>-5</sup>	

Als geplante Kontrastanalysen für die frequentistische Statistik wurden zunächst Trendanalysen durchgeführt (polynomiale Kontraste in SPSS), um zu ermitteln, wie sich die Gruppen über die Trainings-sitzungen hinweg entwickelten. Zudem wurden messwiederholte Kontraste für die signifikanten Haupteffekte sowie die Interaktionen berechnet. Im Gegensatz zu Helmert-Kontrasten oder umgekehrten Helmert-Kontrasten bieten sie für diese Studie den Vorteil, dass sie eine höhere Auflösung der Daten stellen und somit die Gruppenunterschiede genauer feststellbar sind. Der Nachteil der messwiederholten Kontraste gegenüber umgekehrten Helmert-Kontrasten liegt jedoch darin, dass Verbesserungen über den Trainingsverlauf schlechter gezeigt werden könnten, da Vergleiche mit vorherigen Sitzungen fehlen. Zudem besteht das Problem, dass Versuchsteilnehmende innerhalb des Trainings oder auch innerhalb einer Schwierigkeitsstufe wohl nicht zu großen Teilen zum gleichen Trainingszeitpunkt Veränderungen zeigten. Umgekehrte Helmert-Kontraste sollten den Verlauf weitreichender abbilden als messwiederholte Kontraste, sodass diese möglicherweise eher signifikante Veränderungen über das Training zeigen könnten. Sollten durch umgekehrte Helmert-Kontraste die Ergebnisse der wiederholten Kontraste erweitert dargestellt werden können, so werden auch diese Kontraste berichtet. Kontraste wurden zudem für beide Gruppen einzeln berechnet um zu zeigen, an welchen Stellen es Veränderungen innerhalb einer Trainingsgruppe gab.



Zur Ermittlung des Bayes-Faktors in der Post-hoc-Analyse der Haupteffekte wurden multiple Bayes-t-Tests gerechnet. Die t-Tests wurden für beide Gruppen einzeln angegeben. Die Interaktionen wurden nicht mit Bayes-Post-hoc-Tests analysiert.

Neben den Kontrasten für die Analysen der Trialtypen wurden Kontraste und Bayes-t-Tests für den Haupteffekt Trainingssitzung aus der direkten Analyse der SC berichtet; diese jeweils für beide Gruppen einzeln. Alle Kontrastanalysen und die Bayes-t-Tests sind in Anhang A5 zu finden.

Die Trendanalysen sprachen für einen linearen Trend im Trainingsverlauf ( $F(1, 51) = 4.800$ ;  $p = 0.033$ ;  $\eta_p^2 = 0.086$ ). Für die Analyse der SC zeigte sich ebenfalls ein linearer Verlauf ( $F(1, 51) = 24.400$ ;  $p < 0.001$ ;  $\eta_p^2 = 0.324$ ) über die Trainingssitzungen.

Geplante wiederholte Kontraste für den Faktor Trainingssitzung zeigten signifikante Unterschiede beim Vergleich von Sitzung eins und zwei, drei und vier, fünf und sechs sowie acht und neun. Die Interaktion von Gruppe und Trainingssitzung wurde für den Vergleich von Sitzung acht und neun signifikant, was anzeigt, dass sich zu diesem Zeitpunkt die Reaktionszeiten in unterschiedliche Richtungen entwickelten. Die Interaktion von Trainingssitzung und Trialtypen wurde ebenfalls für den Vergleich von Sitzung acht und neun signifikant, wonach Wiederholungstrials von Sitzung acht zu neun stärker verlangsamt wurden als Wechseltrials. Messwiederholte Kontraste für die Analyse der SC für beide Gruppen einzeln zeigten nur für die Experimentalgruppe signifikante Unterschiede.

Post-hoc-Bayes-t-Tests für die RT zeigten für die Experimentalgruppe in der Regel Veränderungen zwischen unterschiedlichen Messzeitpunkten. Allerdings unterschieden sich die ersten Zeitpunkte von Schwierigkeitsgrad eins nicht von den letzten (Schwierigkeitsgrad drei). Dies sollte jedoch daran liegen, dass die Anforderungen im letzten Schwierigkeitsgrad so anstiegen, dass die Reaktionszeiten denen der ersten Schwierigkeitsstufe entsprachen. Für die aktive Kontrollgruppe zeigte der Bayes-Faktor bei allen Sitzungsvergleichen Evidenz für die  $H_1$ , bis zum Vergleich von Sitzung neun mit höheren Sitzungen. Post-hoc-Bayes-t-Tests für die SC zeigten für die Experimentalgruppe Unterschiede zwischen den vorherigen Trainingssitzungen und den Sitzungen neun, zehn, elf und zwölf. Für die aktive Kontrollgruppe zeigten sich in den SC auch schon vor der neunten Schwierigkeitsstufe Unterschiede. Beide Analysen deuteten jedoch auf eine Abnahme der SC über die Trainingssitzungen hin.

Neben den RT wurde auch die Acc analysiert. Die Mixed-Model-ANOVA mit Acc als AV, zu finden in Tabelle acht, zeigte signifikante Haupteffekte für Trainingssitzung und Trialtypen und eine signifikante Interaktion zwischen Trainingssitzung und Trialtypen. Die Bayes-Analyse jedoch zeigte „außergewöhnlich starke“ Evidenz für die  $H_0$  in Bezug auf die Interaktion von Trainingssitzung und Trialtypen. Die Interpretation der Bayes-Analyse der SC wich in den Ergebnissen nicht von der Bayes-Analyse der Interaktion von Testzeitpunkt und Trialtypen ab. Für eine grafische Abbildung der Ergebnisse siehe Abbildung 15 und für exakte deskriptive Werte (MW und SD) Tabelle neun. Die SC sind grafisch in Abbildung 16 dargestellt und tabellarisch in Anhang A5.

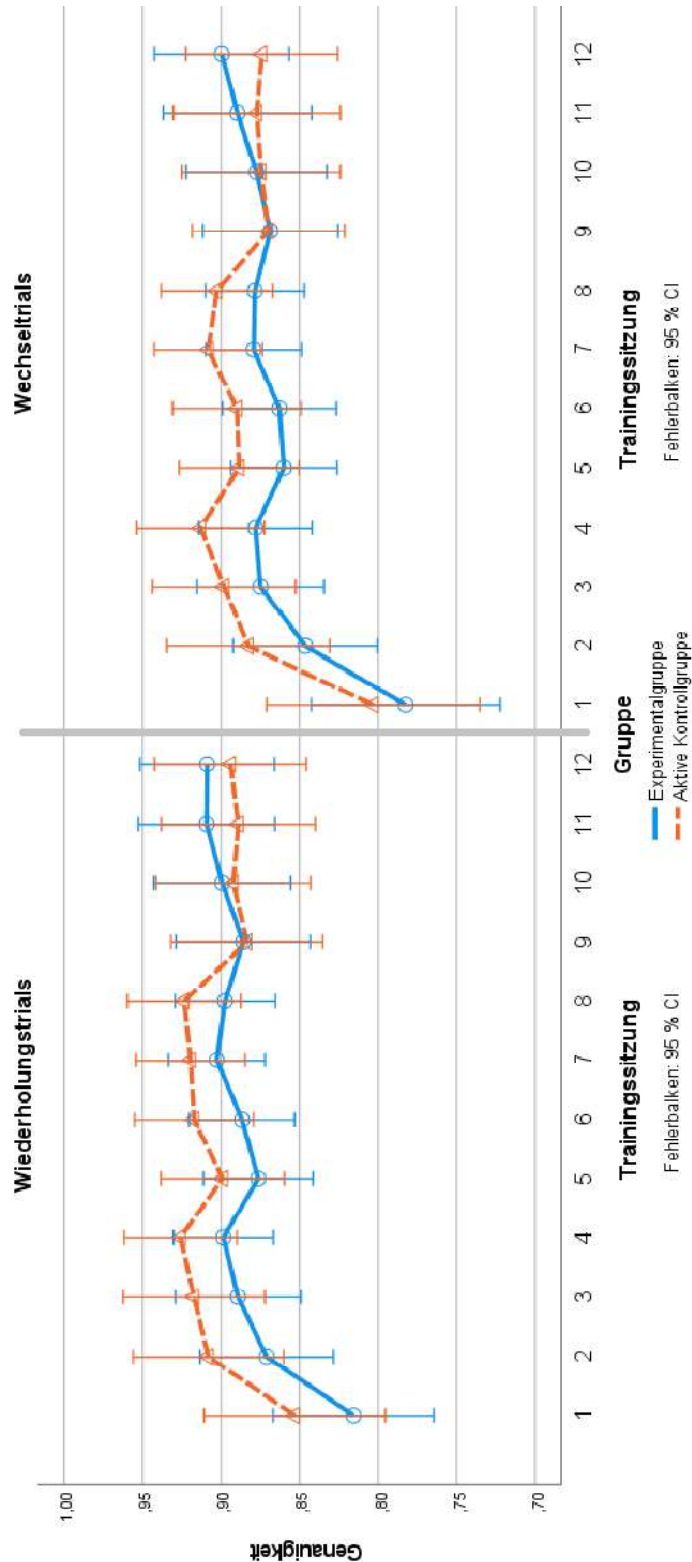
**Tabelle 8:** Genauigkeits-Analyse des Trainings unter Einbezug der Trialtypen. 12\*2\*2 Mixed-Model-ANOVA (Trainingssitzung\*Gruppe (Experimental- und aktive Kontrollgruppe)\*Trialtypen (Wiederholungs- und Wechseltrials) und Acc als AV. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

Analyse des Trainings (Genauigkeit)							
Effekte	Greenhouse-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}/B_{inkl}$	Fehler (%) ( $B_{10}$ )
<b>Trainingssitzung</b>	<b>Ja</b>	<b>2.689, 129.081</b>	<b>7.860</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.141</b>	<b>6.243·10<sup>23</sup></b>	<b>0.276</b>
Gruppe	Nein	1, 48	0.369	0.546	0.008	0.399	1.144
<b>Trialtypen</b>	<b>Nein</b>	<b>1, 48</b>	<b>42.703</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.471</b>	<b>45420.208</b>	<b>2.693</b>
Trainingssitzung*Gruppe	ja	2.689, 129.081	1.345	0.264	0.027	1.599	
<b>Trainingssitzung*Trialtypen</b>	<b>Nein</b>	<b>7.945, 381.352</b>	<b>2.317</b>	<b>0.020</b>	<b>0.046</b>	<b>8.452·10<sup>-4</sup></b>	
Gruppe*Trialtypen	Nein	1, 48	0.002	0.967	0.000	0.104	
Trainingssitzung*Gruppe*Trialtypen	Ja	7.945, 381.352	0.674	0.714	0.014	7.007·10 <sup>-8</sup>	

Die Analyse unter Ausschluss von Sitzung eins und zwölf zeigte für die Bayes-Analyse keine Veränderungen im Vergleich zum Einschluss aller Sitzungen. In der frequentistischen Analyse wurden nun der Haupteffekt für Trainingssitzung (Greenhouse-Geisser:  $F(2.440, 126.871) = 1.500$ ;  $p = 0.233$ ;  $\eta_p^2 = 0.028$ ;  $B_{10} = 142.661$  (Fehler: 0.378)) sowie die Interaktion von Trainingssitzung und Trialtypen (Greenhouse-Geisser:  $F(6.802, 353.705) = 0.629$ ;  $p = 0.727$ ;  $\eta_p^2 = 0.012$ ;  $B_{inkl} = 0.006$ ) nicht mehr signifikant.

Wiederholte Kontraste (A5) für den Faktor Trainingssitzung zeigten Unterschiede für die Vergleiche von Sitzung eins und zwei, zwei und drei, vier und fünf (Übergang Stufe eins zu zwei), sechs und sieben sowie acht und neun (Übergang Stufe zwei zu

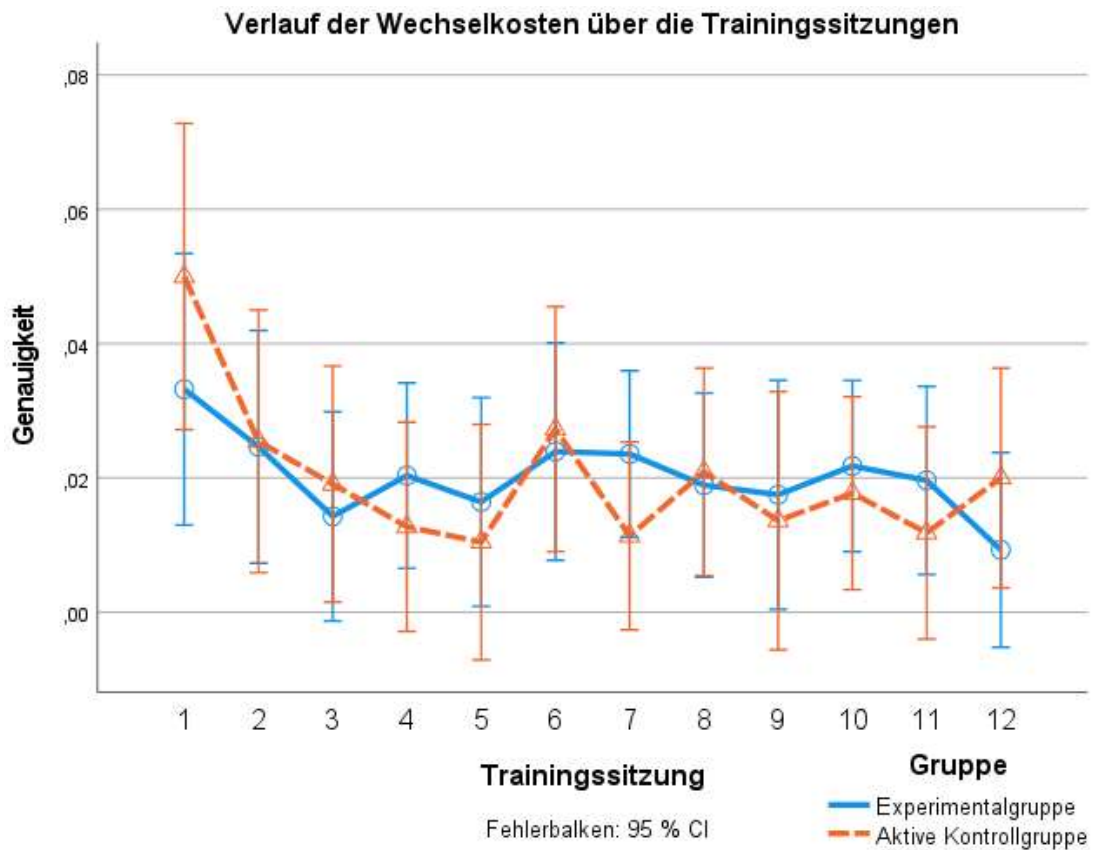
drei). Die Trendanalyse sprach nicht für einen linearen Verlauf ( $F(1, 48) = 3.178; p = 0.081; \eta_p^2 = 0.062$ ). Die Post-hoc-Bayes-t-Tests zeigten, außer für die Vergleiche von Sitzung eins mit den übrigen, in der Regel nur Unterschiede beim Vergleich der Stufenübergänge an (A5).



**Abbildung 15:** Genauigkeit der Wiederholungs- und Wechselstrials im Training. Vergleich der Wiederholungs- und Wechselstrials über die 12 Trainingssitzungen. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. MW und SD finden sich in Tabelle 9. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 8.)

**Tabelle 9:** Genauigkeit der Wiederholungs- und Wechseltrials im Training. Tabellarische Übersicht über MW und SD der Trialtypen.

		Training - Trialtypen (Wiederholung/Wechsel) - Genauigkeit MW (SD)																	
		1			2			3			4			5			6		
Sitzung	Trialtypen	Wiederholung	Wechsel	gesamt	Wiederholung	Wechsel	gesamt	Wiederholung	Wechsel	gesamt	Wiederholung	Wechsel	gesamt	Wiederholung	Wechsel	gesamt	Wiederholung	Wechsel	gesamt
	Experimentaltgruppe (N = 28)	0.82 (0.14)	0.78 (0.15)	0.80 (0.15)	0.87 (0.11)	0.85 (0.11)	0.86 (0.11)	0.89 (0.09)	0.88 (0.10)	0.88 (0.10)	0.90 (0.09)	0.88 (0.10)	0.89 (0.09)	0.87 (0.10)	0.86 (0.09)	0.87 (0.09)	0.89 (0.08)	0.86 (0.10)	0.87 (0.09)
	Aktive Kontrollgruppe (N = 22)	0.85 (0.13)	0.80 (0.16)	0.83 (0.14)	0.91 (0.12)	0.88 (0.13)	0.90 (0.12)	0.92 (0.12)	0.90 (0.11)	0.91 (0.11)	0.93 (0.08)	0.91 (0.09)	0.92 (0.08)	0.90 (0.08)	0.89 (0.08)	0.89 (0.08)	0.92 (0.08)	0.89 (0.09)	0.90 (0.08)
		<b>7</b>			<b>8</b>			<b>9</b>			<b>10</b>			<b>11</b>			<b>12</b>		
Sitzung	Trialtypen	Wiederholung	Wechsel	gesamt	Wiederholung	Wechsel	gesamt	Wiederholung	Wechsel	gesamt	Wiederholung	Wechsel	gesamt	Wiederholung	Wechsel	gesamt	Wiederholung	Wechsel	gesamt
	Experimentaltgruppe (N = 28)	0.90 (0.08)	0.88 (0.09)	0.89 (0.09)	0.90 (0.09)	0.88 (0.08)	0.89 (0.09)	0.89 (0.08)	0.87 (0.10)	0.88 (0.09)	0.90 (0.08)	0.88 (0.09)	0.89 (0.08)	0.91 (0.08)	0.89 (0.09)	0.90 (0.08)	0.91 (0.08)	0.90 (0.08)	0.90 (0.08)
	Aktive Kontrollgruppe (N = 22)	0.92 (0.08)	0.91 (0.06)	0.91 (0.07)	0.92 (0.07)	0.90 (0.08)	0.91 (0.07)	0.88 (0.14)	0.87 (0.13)	0.88 (0.13)	0.89 (0.15)	0.87 (0.15)	0.88 (0.15)	0.89 (0.15)	0.88 (0.16)	0.88 (0.15)	0.89 (0.15)	0.87 (0.14)	0.88 (0.14)



**Abbildung 16:** Verlauf der Wechselkosten (Acc) über die Trainingssitzungen. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. Exakte MW und SD sind im Anhang A5 zu finden. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 8.)

### 3.2.1 Analyse der Schwierigkeitsgrade

Um die Entwicklung der SC über das Training weiter zu evaluieren, wurde die Entwicklung der SC in RT und Acc über die drei Schwierigkeitsgrade in einer 3\*2 (Schwierigkeitsgrad\*Gruppe) Mixed-Model-ANOVA analysiert. Die Analyse ergab, wie in Tabelle zehn beschrieben, nur für die RT einen signifikanten Haupteffekt für die Trainingsstufe und für Gruppe, aber keine signifikante Interaktion von Trainingsstufe und Gruppe. Die deskriptiven Statistiken sind tabellarisch (MW und SD) in Tabelle elf und Abbildung 17 zu finden. Die Bayes-Analyse ergab für alle drei Effekte substantielle Belege für  $H_1$ . Messwiederholte Kontraste gaben Evidenz für  $H_1$  für den Vergleich von Stufe zwei und eins ( $F(1, 58) = 6.760$ ;  $p = 0.012$ ;  $\eta_p^2 = 0.104$ ;  $B_{10} = 3.252$  (Fehler:  $8.401 \cdot 10^{-4}$ )) sowie zwei und drei ( $F(1, 58) = 5.186$ ;  $p = 0.019$ ;  $\eta_p^2 = 0.091$ ;  $B_{10} = 2.156$  (Fehler:  $4.0 \cdot 10^{-4}$ )). Die Experimentalgruppe schien sich stärker zu entwickeln als die aktive Kontrollgruppe, wobei hier gleiches Argument gilt wie oben: Die Experimentalgruppe hatte mehr Entwicklungspotenzial.

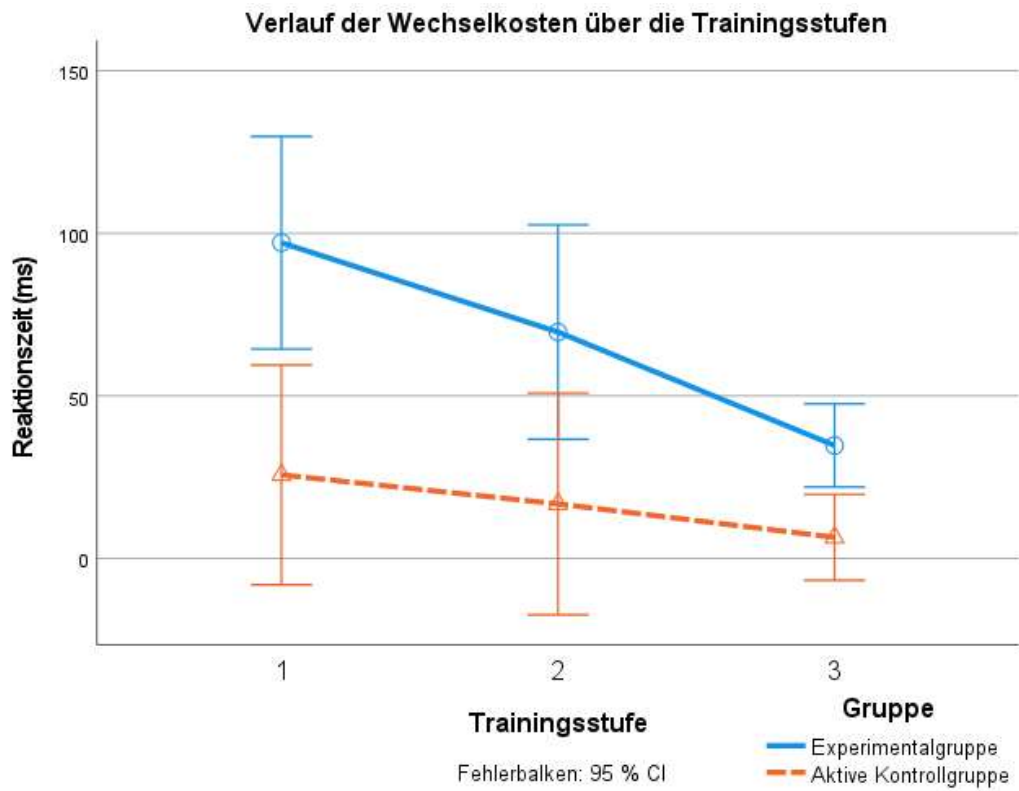
**Tabelle 10:** Analyse der SC in den Schwierigkeitsgraden: Ergebnisse der 3\*2 Mixed-Model-ANOVA (Trainingsstufe\*Gruppe) mit AV Wechselkosten. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

<b>Wechselkosten – Schwierigkeitsgrade (Reaktionszeit)</b>							
Effekte	Greenhouse-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<i>Trainingsstufe</i>	<i>Ja</i>	<i>1.784, 103.474</i>	<i>11.108</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.161</i>	<i>514.744</i>	<i>2.416</i>
<i>Gruppe</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 58</i>	<i>8.645</i>	<i>0.005</i>	<i>0.130</i>	<i>8.990</i>	<i>1.977</i>
<i>Trainingsstufe*Gruppe</i>	<i>ja</i>	<i>1.784, 103.474</i>	<i>3.116</i>	<i>0.054</i>	<i>0.051</i>	<i>4.134</i>	
<b>Wechselkosten – Schwierigkeitsgrade (Genauigkeit)</b>							
Trainingsstufe	Ja	1.904, 91.382	2.592	0.083	0.051	0.502	2.449
Gruppe	Nein	1, 48	0.002	0.967	0.001	0.302	2.040
Trainingsstufe*Gruppe	ja	1.904, 91.382	0.430	0.642	0.009	0.051	

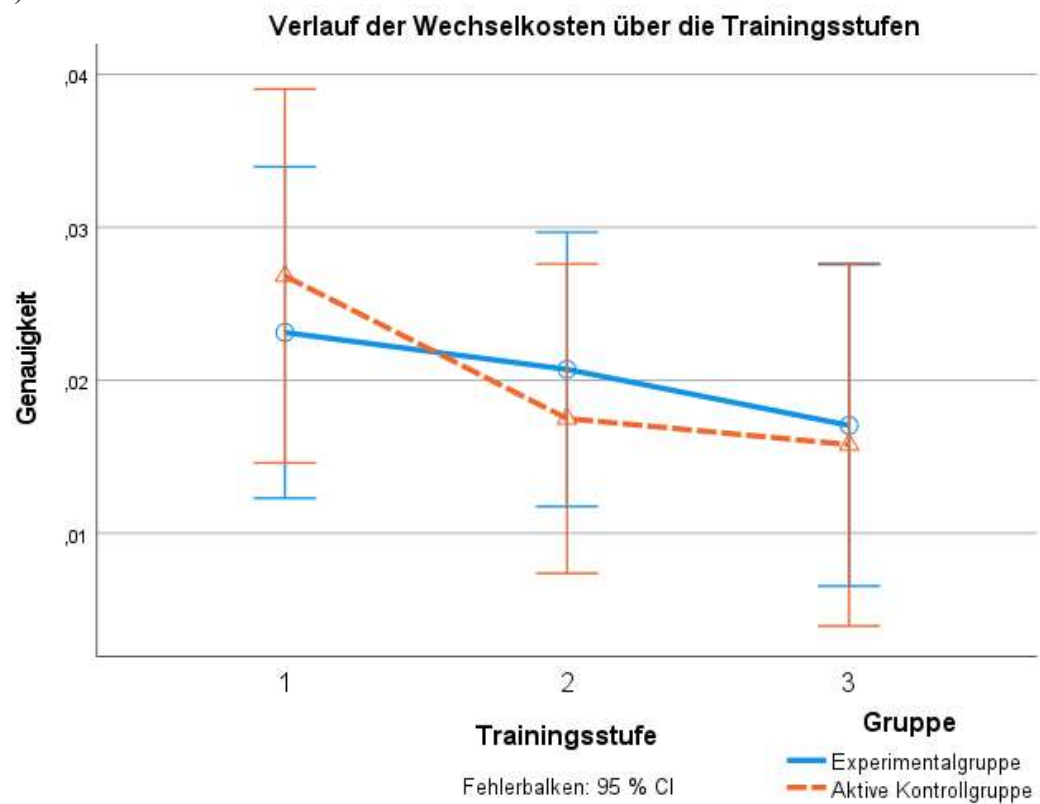
**Tabelle 11:** Wechselkosten in den Schwierigkeitsgraden. Angegeben sind MW und SD der RT und Acc.

<b>Wechselkosten im Training – Schwierigkeitsgrade – Reaktionszeit (ms) (MW (SD))</b>			
Schwierigkeitsstufe	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Experimentalgruppe (N = 31)	97 (123)	70 (127)	35 (48)
Aktive Kontrollgruppe (N = 29)	26 (30)	17 (15)	6 (11)
<b>Wechselkosten im Training – Schwierigkeitsgrade – Genauigkeit (MW (SD))</b>			
Schwierigkeitsstufe	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Experimentalgruppe (N = 28)	0.023 (0.031)	0.021 (0.021)	0.017 (0.030)
Aktive Kontrollgruppe (N = 22)	0.027 (0.024)	0.018 (0.026)	0.016 (0.025)

a)



b)



**Abbildung 17:** Verlauf der Wechselkosten über die Trainingsstufen. a): RT und b): Acc. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an (exakte MW und SD in Tabelle 11). (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 10.)

### 3.2.2 Analyse der Herstellung der Schwierigkeitsstufen der Trainingsverfahren

#### *Analyse der Experimentalgruppe - Distraktorstärken*

Um zu ermitteln, ob das Inhibitionstraining der Experimentalgruppe adaptiv gewesen sein und zu einer Verbesserung der Inhibitionsfähigkeit geführt haben könnte, wurden die Veränderungen in den drei Distraktorstärken über die Trainingssitzungen analysiert.

Eine in Tabelle zwölf aufgeführte  $12 \times 3 \times 2$  (Trainingssitzung\*Distraktorstärke\*Trialtypen) Mixed-Model-ANOVA der Distraktorstärken unter Einbezug der Trialtypen (deskriptive Statistiken: Abbildung 18 für Acc; Abbildung 19 für RT; MW und SD siehe Tabelle 13) zeigte für die RT und die Acc keine Interaktion von Distraktorstärke und Trialtypen oder von Trainingssitzung, Distraktorstärke und Trialtypen. Es zeigte sich jedoch ein Haupteffekt für die Distraktorstärken, wobei  $B_{10}$  nur für die RT Belege für  $H_1$  lieferte, nicht aber für die Acc. Dies deutet darauf hin, dass die verschiedenen Distraktorstärken tatsächlich unterschiedlich hohe Anforderungen an das kognitive System stellten. Dadurch sollten höhere Schwierigkeitsstufen tatsächlich schwieriger sein als niedrigere Stufen, weil mit höherer Schwierigkeitsstufe die Anzahl dargebotener höherer Distraktorstärken anstieg.

Post-hoc-Analysen für die RT in den Distraktorstärken zeigten frequentistisch keinen signifikanten Unterschied für den Vergleich von Distraktorstärke eins und zwei, wobei der Bayes-Faktor jedoch Belege für  $H_1$  lieferte ( $t = 1.066$ ;  $p_{\text{Bonf}} = 0.876$ ; Cohens  $d = 0.222$ ;  $B_{10} = 4.423$  (Fehler:  $2882 \cdot 10^{-7}$ )). Frequentistische und Bayes-Post-hoc-Analysen zeigten für den Vergleich von Distraktorstärke eins und drei ( $t = -22.134$ ;  $p_{\text{Bonf}} < 0.001$ ; Cohens  $d = -4.617$ ;  $B_{10} = 3.709 \cdot 10^{175}$  (Fehler:  $2.145 \cdot 10^{-178}$ )) sowie zwei und drei ( $t = -23.290$ ;  $p_{\text{Bonf}} < 0.001$ ; Cohens  $d = -4.839$ ;  $B_{10} = 6.027 \cdot 10^{208}$  (Fehler:  $2.299 \cdot 10^{-213}$ )) signifikante Unterschiede.

Für die Acc in den Distraktorstärken zeigten die Post-hoc-Analysen keinen Unterschied für den Vergleich von Distraktorstärke eins und zwei ( $t = 1.400$ ;  $p_{\text{Bonf}} = 0.876$ ; Cohens  $d = 0.286$ ;  $B_{10} = 0.255$  (Fehler:  $5.608 \cdot 10^{-6}$ )) sowie zwei und drei ( $t = 1.592$ ;  $p_{\text{Bonf}} = 0.325$ ; Cohens  $d = 0.325$ ;  $B_{10} = 0.384$  (Fehler:  $3.729 \cdot 10^{-6}$ )), aber für den Vergleich von Distraktorstärke eins und drei ( $t = 2.993$ ;  $p_{\text{Bonf}} = 0.013$ ; Cohens  $d = 0.611$ ;  $B_{10} = 13.280$  (Fehler:  $1.066 \cdot 10^{-7}$ )).

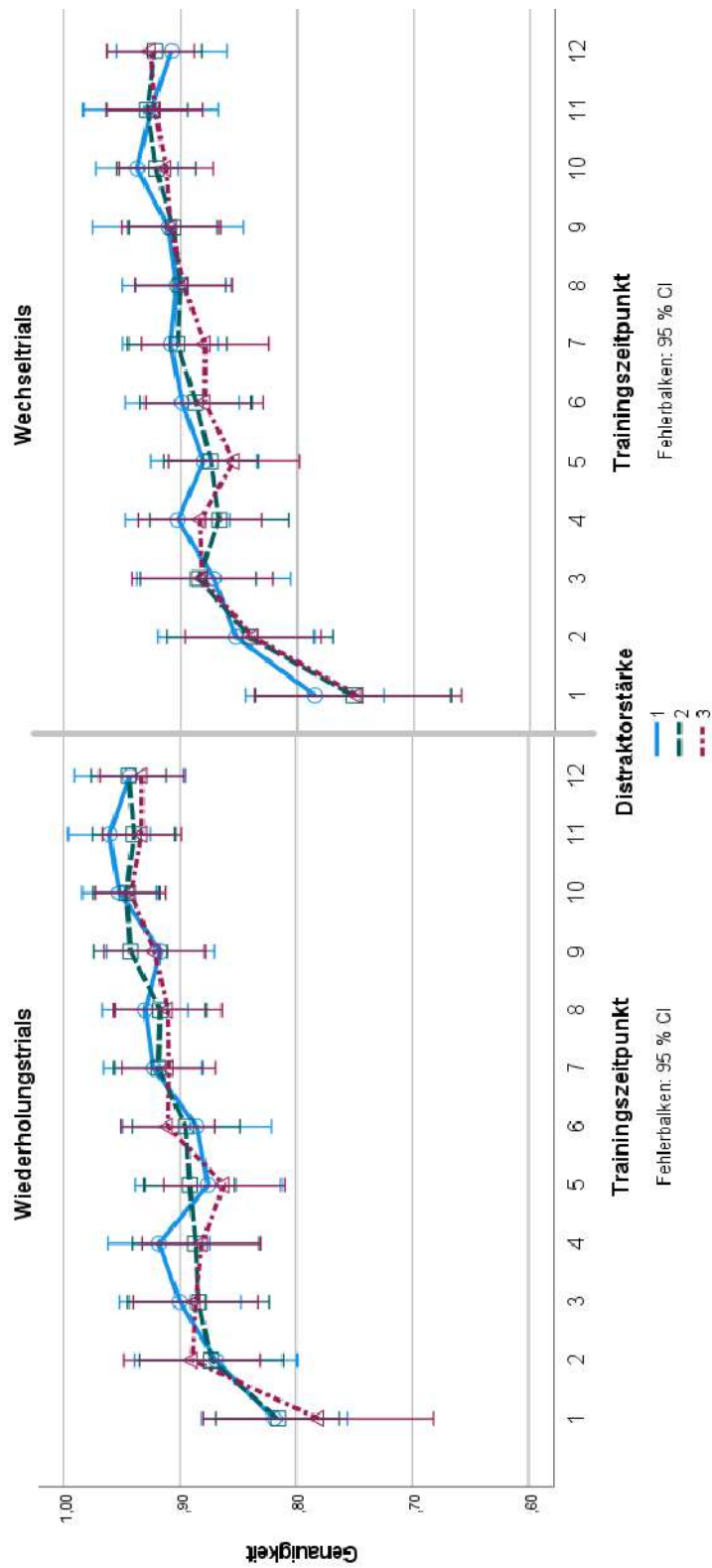


**Tabelle 12:** Analyse der Distraktorstärken unter Einbezug der Trialtypen. 12\*3\*2 Mixed-Model-A-NOVA mit den Faktoren Trainingssitzung, Distraktorstärke und Trialtypen und den RT bzw. Acc als AV. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

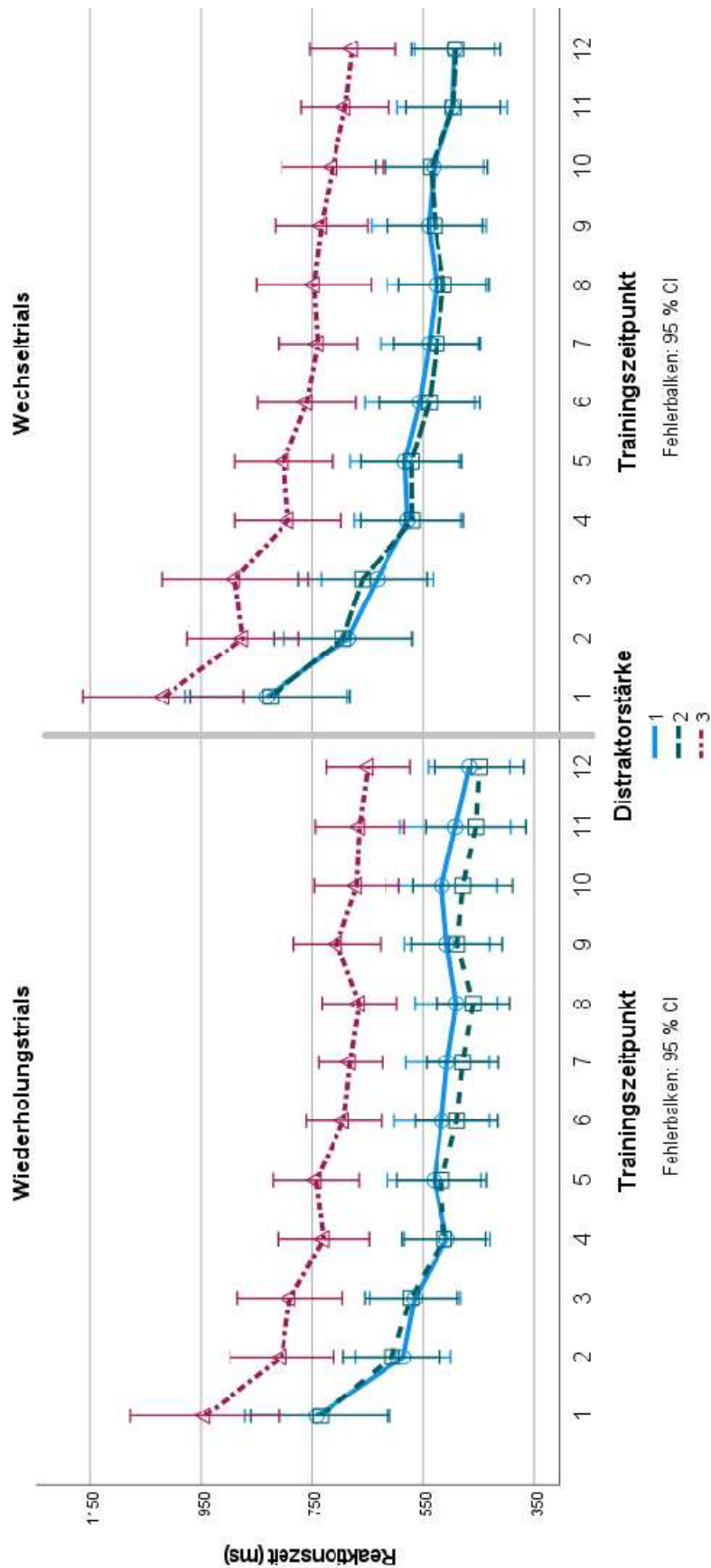
<b>Analyse der Distraktorstärken unter Einbezug der Trialtypen – (Reaktionszeit)</b>							
<b>Effekte</b>	<b>Greenhouse-Geisser Korrektur?</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b>B<sub>10</sub>/B<sub>inkl</sub></b>	<b>Fehler (B<sub>10</sub>)</b>
<i>Trainingssitzung</i>	<i>Ja</i>	<i>3.148, 69.254</i>	<i>18.736</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.460</i>	<i>2.890·10<sup>84</sup></i>	<i>0.346</i>
<i>Distraktorstärke</i>	<i>Ja</i>	<i>1.302, 28.638</i>	<i>343.361</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.940</i>	<i>1.445·10<sup>127</sup></i>	<i>2.362</i>
<i>Trialtypen</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 22</i>	<i>29.856</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.576</i>	<i>4.811·10<sup>7</sup></i>	<i>2.103</i>
Trainingssitzung*	Ja	5.398,	1.464	0.202	0.062	4.710·10 <sup>-5</sup>	
Distraktorstärke		118.757					
<i>Trainingssitzung*Trialtypen</i>	<i>Ja</i>	<i>4.062, 89.368</i>	<i>2.708</i>	<i>0.034</i>	<i>0.110</i>	<i>0.011</i>	
Distraktorstärke*	Ja	1.537,	1.469	0.243	0.063	0.044	
Trialtypen		33.820					
Trainingssitzung*	Ja	6.902,	0.625	0.732	0.028	4.657·10 <sup>-12</sup>	
Distraktorstärke*		151.849					
Trialtypen							
<b>Analyse der Distraktorstärken unter Einbezug der Trialtypen – (Genauigkeit)</b>							
<i>Trainingssitzung</i>	<i>Ja</i>	<i>2.657, 61.118</i>	<i>13.037</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.362</i>	<i>6.727·10<sup>84</sup></i>	<i>0.343</i>
<i>Distraktorstärke</i>	<i>Ja</i>	<i>1.389, 31.946</i>	<i>4.484</i>	<i>0.031</i>	<i>0.163</i>	<i>0.112</i>	<i>0.776</i>
<i>Trialtypen</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 23</i>	<i>28.081</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.550</i>	<i>5410.900</i>	<i>2.197</i>
Trainingssitzung*	Ja	6.358,	1.028	0.411	0.043	2.800·10 <sup>-5</sup>	
Distraktorstärke		146.231					
Trainingssitzung*	Ja	5.930,	1.606	0.151	0.065	0.001	
Trialtypen		136.395					
Distraktorstärke*	Nein	2, 46	0.538	0.587	0.023	0.007	
Trialtypen							
Trainingssitzung*	Ja	7.050,	1.005	0.430	0.042	8.585·10 <sup>-13</sup>	
Distraktorstärke*		162.153					
Trialtypen							

Der Einbezug der Ziel-Distraktoranwesenheit, die definiert wurde als die Anwesenheit des letzten Zieles als Distraktor im aktuellen Trial, in einer 3\*2\*2 Mixed-Model-ANOVA (Distraktorstärke\*Ziel-Distraktoranwesenheit\*Trialtypen) zeigte keine signifikante Interaktion zwischen den drei Faktoren ( $p = 0.122$ ;  $B_{inkl} = 0.001$ ) oder der Ziel-Distraktoranwesenheit und den Trialtypen ( $p = 0.741$ ;  $B_{inkl} = 0.048$ ). Sie zeigte jedoch einen Haupteffekt für die Ziel-Distraktoranwesenheit in der frequentistischen Analyse ( $F(1, 30) = 5.164$ ;  $p = 0.030$ ;  $\eta_p^2 = 0.147$ ;  $B_{10} = 0.133$  (Fehler: 2.724)), wonach die RT, wenn der Distraktor ungleich des vorherigen Zielreizes ( $RT = 630$  ms (SD: 211)) war, höher ausfiel, als wenn er gleich war (624 ms (SD: 211)). Der Bayes-Faktor hingegen lieferte substantielle Belege für die H<sub>0</sub>. Der Einbezug der Ziel-Distraktor-

anwesenheit wirkte sich nicht auf die Ergebnisse zur Acc aus. Eine Abbildung zur Interaktion ist in Anhang A5 zu finden.



**Abbildung 18:** Genauigkeit der Wiederholungs- und Wechseltrials in den Distraktorstärken über die Trainingssitzungen. Die Abbildung zeigt die Acc in den drei Distraktorstärken, verteilt über die 12 Trainingssitzungen. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. Exakte MW und SD sind in Tabelle 13 zu finden. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 12.)



**Abbildung 19:** Reaktionszeiten der Wiederholungs- und Wechseltrials in den Distraktorstärken über die Trainingssitzungen. Die Abbildung zeigt die RT in ms in den drei Distraktorstärken, verteilt über die 12 Trainingssitzungen. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. Exakte MW und SD sind in Tabelle 13 zu finden. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 12.)

**Tabelle 13:** MW und SD der Reaktionszeiten und Genauigkeit der drei Distraktorstärken in den 12 Trainingssitzungen.

Training – Distraktorstärken – Trialtypen (Wiederholung/Wechsel) – Reaktionszeiten (ms) – MW (SD) – (N = 23)																		
Sitzung Distraktor- stärke	1			2			3			4			5			6		
	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3
Wieder- holung	742 (297)	734 (289)	943 (308)	585 (199)	606 (201)	805 (215)	564 (189)	571 (193)	789 (219)	507 (177)	512 (172)	729 (190)	530 (193)	516 (185)	743 (180)	516 (197)	489 (173)	692 (156)
Wechsel	832 (337)	825 (332)	1017 (335)	685 (264)	694 (289)	874 (232)	632 (233)	658 (267)	889 (305)	578 (222)	569 (214)	793 (221)	583 (227)	571 (209)	801 (202)	556 (229)	539 (210)	759 (205)
Gesamt	787 (313)	779 (303)	980 (311)	635 (224)	650 (234)	840 (215)	599 (208)	614 (225)	839 (243)	542 (198)	541 (191)	761 (198)	556 (207)	544 (194)	772 (184)	536 (208)	514 (188)	726 (178)
Sitzung	10																	
Distraktor- stärke	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3
Wieder- holung	506 (172)	478 (151)	681 (133)	490 (173)	460 (153)	664 (157)	507 (176)	488 (190)	705 (181)	515 (232)	478 (208)	669 (177)	491 (231)	455 (209)	664 (185)	466 (171)	449 (187)	649 (175)
Wechsel	539 (204)	524 (178)	740 (165)	525 (204)	513 (187)	746 (238)	540 (238)	528 (196)	733 (193)	529 (205)	535 (232)	713 (210)	496 (230)	495 (197)	689 (183)	492 (168)	490 (186)	676 (179)
Gesamt	522 (182)	501 (162)	710 (145)	508 (183)	486 (168)	706 (193)	523 (202)	508 (191)	719 (185)	523 (212)	507 (216)	691 (193)	494 (228)	475 (199)	677 (183)	479 (164)	469 (182)	663 (176)
Sitzung	11																	
Distraktor- stärke	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3
Wieder- holung	0.819 (0.148)	0.816 (0.126)	0.780 (0.235)	0.869 (0.166)	0.873 (0.146)	0.890 (0.139)	0.900 (0.124)	0.884 (0.143)	0.887 (0.127)	0.918 (0.103)	0.887 (0.129)	0.881 (0.120)	0.876 (0.149)	0.892 (0.092)	0.862 (0.123)	0.885 (0.151)	0.895 (0.110)	0.910 (0.096)
Wechsel	0.785 (0.140)	0.753 (0.199)	0.748 (0.211)	0.853 (0.158)	0.841 (0.168)	0.838 (0.138)	0.872 (0.156)	0.885 (0.117)	0.882 (0.143)	0.902 (0.106)	0.867 (0.141)	0.883 (0.125)	0.880 (0.107)	0.874 (0.096)	0.855 (0.132)	0.899 (0.115)	0.887 (0.113)	0.880 (0.120)
Gesamt	0.802 (0.142)	0.784 (0.154)	0.764 (0.213)	0.861 (0.159)	0.857 (0.152)	0.864 (0.134)	0.886 (0.137)	0.885 (0.128)	0.884 (0.130)	0.910 (0.102)	0.877 (0.130)	0.882 (0.115)	0.878 (0.121)	0.883 (0.092)	0.858 (0.119)	0.892 (0.131)	0.891 (0.108)	0.895 (0.099)
Sitzung	12																	
Distraktor- stärke	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3	Stärke 1	Stärke 2	Stärke 3
Wieder- holung	0.923 (0.102)	0.919 (0.090)	0.910 (0.095)	0.930 (0.088)	0.917 (0.093)	0.910 (0.110)	0.917 (0.110)	0.943 (0.074)	0.922 (0.103)	0.952 (0.076)	0.946 (0.067)	0.943 (0.071)	0.961 (0.084)	0.940 (0.084)	0.933 (0.080)	0.943 (0.114)	0.944 (0.076)	0.933 (0.086)
Wechsel	0.909 (0.097)	0.903 (0.100)	0.879 (0.128)	0.903 (0.111)	0.900 (0.092)	0.897 (0.099)	0.911 (0.153)	0.907 (0.090)	0.908 (0.100)	0.938 (0.082)	0.921 (0.080)	0.912 (0.095)	0.925 (0.137)	0.929 (0.083)	0.922 (0.097)	0.908 (0.112)	0.922 (0.097)	0.926 (0.088)
Gesamt	0.916 (0.097)	0.911 (0.094)	0.894 (0.108)	0.917 (0.092)	0.909 (0.090)	0.904 (0.100)	0.914 (0.117)	0.925 (0.076)	0.915 (0.098)	0.945 (0.075)	0.934 (0.073)	0.927 (0.082)	0.943 (0.104)	0.934 (0.081)	0.927 (0.088)	0.925 (0.098)	0.933 (0.084)	0.929 (0.085)

### *Analyse der aktiven Kontrollgruppe - Herstellung der Schwierigkeit*

Wie die Kontrastanalysen der aktiven Kontrollgruppe zeigten, gab es Unterschiede zwischen Sitzung 4 und 5 sowie 8 und 9, also zwischen den Übergängen der Trainingsstufen. Dies gibt Hinweise darauf, dass auch das Geschwindigkeitstraining der aktiven Kontrollgruppe mit steigender Trainingsstufe tatsächlich schwieriger geworden sein sollte.

#### **3.2.3 Zusammenfassung der Trainingsergebnisse**

Die Analyse der Distraktorstärken zeigte, dass die unterschiedlichen Distraktorstärken unterschiedlich hohe Anforderungen gestellt haben sollten. Zudem gab es einen Leistungseinbruch von Stufe zwei zu Stufe drei im Inhibitionstraining. Somit kann von einer tatsächlichen Veränderung der Schwierigkeit im Inhibitionstraining ausgegangen werden. Auch das Geschwindigkeitstraining sollte mit steigendem Schwierigkeitsgrad tatsächlich schwieriger geworden sein.

Zusammenfassend scheinen beide Trainingsprogramme zumindest marginale Auswirkungen auf die Aufgabenwechselfähigkeit gehabt zu haben. Die SC sanken tendenziell jedoch stärker in der Experimental- als in der aktiven Kontrollgruppe. Dieser Effekt kann jedoch darauf zurückgeführt werden, dass die aktive Kontrollgruppe so geringe SC zeigte, dass eine Verbesserung schwerer möglich war als in der Experimentalgruppe.

Bei mittleren Effektstärken zeigten die frequentistischen Analysen, dass sich das Training beider Gruppen stärker auf die Wechsel- als auf die Wiederholungstrials auswirkte. Bayes-Analysen hingegen sprachen eher dafür, dass beide Trialtypen durch das Training gleich verbessert wurden und somit nur eine allgemeine Verbesserung der Reaktionszeiten stattgefunden haben könnte; wobei sich jedoch die aktive Kontrollgruppe stärker verbesserte als die Experimentalgruppe. Die Ergebnisse werden in der generellen Diskussion (Kap. 6) weiter erläutert.

### 3.3 Analyse der Transfereffekte

Zunächst werden an dieser Stelle die Ergebnisse zum Cued-TS-Transfertest als naher Transfer berichtet. Danach werden die Ergebnisse der Inhibitions-, Aufmerksamkeits- und Gedächtnistests zur Ermittlung eines potenziellen nah-fernen bis fern-fernen Transfers berichtet.

#### 3.3.1 Naher Transfer - Aufgabenwechsel

Wie in Tabelle 14 beschrieben, unterschieden sich die beiden Gruppen in der Acc der Wiederholungstrials bereits im Prätest signifikant voneinander. In allen anderen Variablen zeigten sich keine Unterschiede.

**Tabelle 14:** Cued-TS-Transfertest: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest. Die p-Werte und  $B_{10}$  wurden nicht korrigiert. Im Prätest gab es keine Gruppenunterschiede.

<b>T-Tests zum Vergleich von Experimentalgruppe und aktiver Kontrollgruppe im Prätest</b>						
	<b>df</b>	<b>t</b>	<b>p</b>	<b>Cohens d</b>	<b><math>B_{10}</math></b>	<b>Fehler (<math>B_{10}</math>)</b>
Wiederholungstrials (RT)	59	0.148	0.883	0.038	0.263	0.011
Wechseltrials (RT)	59	0.112	0.911	0.029	0.262	0.011
Wechselkosten (RT)	59	-0.050	0.960	-0.013	0.261	0.011
Wiederholungstrials (Acc)	59	-2.130	0.037	-0.546	1.702	0.009
Wechseltrials (Acc)	59	-1.511	0.136	-0.387	0.677	0.010
Wechselkosten (Acc)	59	-0.914	0.364	-0.234	0.371	0.010
Wiederholungsblock (RT)	59	-0.922	0.360	-0.236	0.373	0.010
Mixingkosten (RT)	59	0.879	0.383	0.225	0.361	0.010
Wiederholungsblock (Acc)	59	-0.330	0.743	-0.085	0.273	0.011
Mixingkosten (Acc)	59	1.867	0.067	0.479	1.109	0.009

##### 3.3.1.1 Wechselkosten

In einer 2\*2\*2 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt\*Gruppe\*Trialtypen) wurde der Einfluss des Trainings auf die Trialtypen und somit die SC analysiert. Wie in der Analyse des Trainings wurden auch hier direkt die Analysen unter Einbezug der Trialtypen berichtet. Die Interaktion von Testzeitpunkt und Trialtypen entspricht in der frequentistischen Analyse wieder einem Haupteffekt für Testzeitpunkt aus einer Analyse der SC und die Interaktion von Testzeitpunkt, Trialtypen und Gruppe der einer Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe. Weil die Bayes-Analysen der SC in ihrer Interpretation nicht von derjenigen der Trialtypen abwichen, wurden diese hier nicht berichtet.

Die Ergebnisse der Analyse der RT sind in Tabelle 15 aufgelistet. Eine Übersicht über MW und SD ist in Tabelle 16 zu finden und die Grafik zur Interaktion von Trainings-sitzung, Trialtypen und Gruppe in Abbildung 21. Zum besseren Verständnis der

Analysen in Bezug auf die SC, werden auch diese grafisch in Abbildung 20 dargestellt.

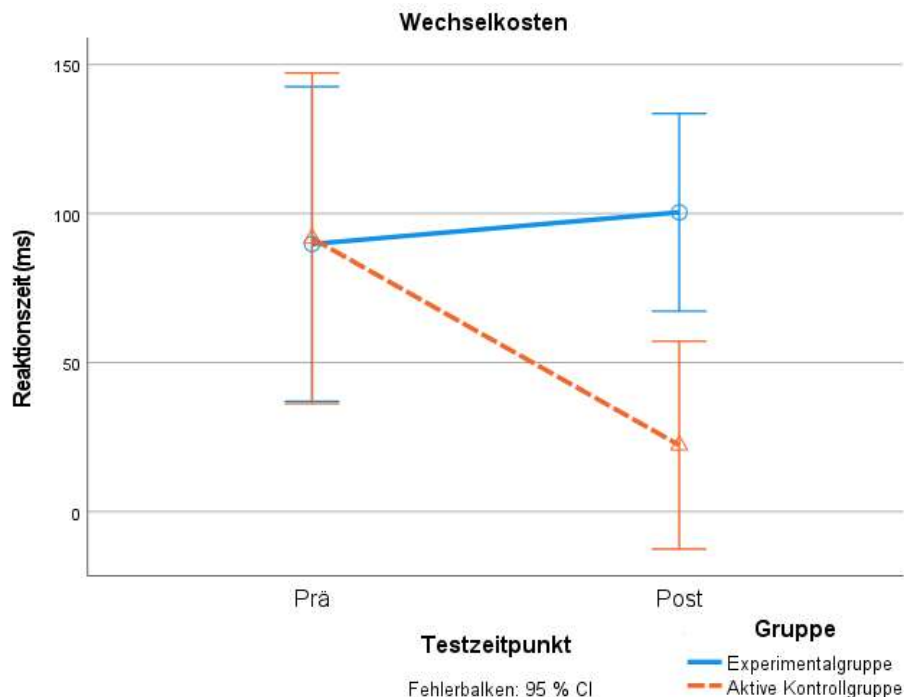
Eine tabellarische Darstellung der SC (MW und SD) findet sich in Anhang A6.

**Tabelle 15:** Analyse des Cued-TS-Transfertests (AV: RT) unter Einbezug der Trialtypen. 2\*2\*2 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt (Prä, Post); Gruppe (Experimental-, aktive Kontrollgruppe); Trialtypen (Wiederholung, Wechsel)). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

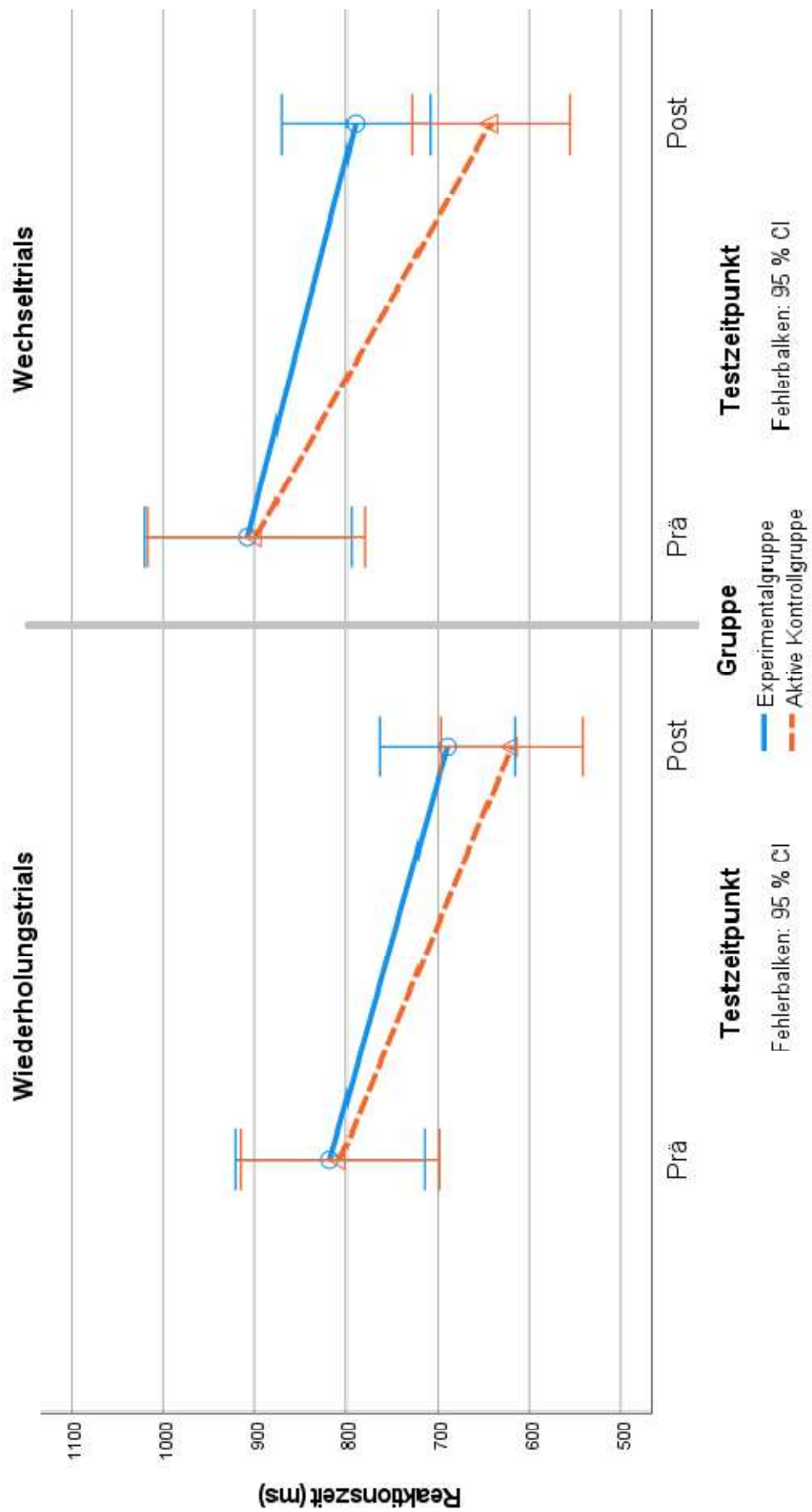
Analyse der Wiederholungs- und Wechseltrials - Reaktionszeit						
Effekt	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>1, 59</b>	<b>43.479</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.424</b>	<b>1.785·10<sup>13</sup></b>	<b>2.514</b>
Gruppe	1, 59	0.959	0.331	0.016	0.472	0.533
<b>Trialtypen</b>	<b>1, 59</b>	<b>47.311</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.445</b>	<b>39.636</b>	<b>2.366</b>
<b>Testzeitpunkt*Gruppe</b>	<b>1, 59</b>	<b>3.582</b>	<b>0.063</b>	<b>0.057</b>	<b>5.593</b>	
Testzeitpunkt*Trialtypen	1, 59	1.622	0.208	0.027	0.572	
Gruppe*Trialtypen	1, 59	2.968	0.090	0.048	0.590	
Testzeitpunkt*	1, 59	3.007	0.088	0.048	0.261	
Trialtypen*Gruppe						

**Tabelle 16:** Cued-TS-Transfertest: Reaktionszeiten der Gruppen nach den Trialtypen.

Trialtypen	Reaktionszeiten (ms) bei den Trialtypen			
	Experimentalgruppe (N = 32)		Aktive Kontrollgruppe (N = 29)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>Wiederholung</b>	818 (330)	690 (232)	807 (241)	619 (178)
<b>Wechsel</b>	908 (362)	790 (269)	899 (265)	642 (175)



**Abbildung 20:** Cued-TS-Transfertest: Wechselkosten im Prä- und Posttest (RT). Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. Für exakte MW und SD siehe Anhang A6. Für eine Analyse siehe Tabelle 15 und Erläuterungen im Fließtext. Es konnten keine signifikanten Ergebnisse gezeigt werden.



**Abbildung 21:** Cued-TS-Transfertest: Reaktionszeiten in den Wiederholungs- und Wechselstrials. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 15.)



Der Vergleich der beiden Trainingsgruppen in Bezug auf die RT in Wechsel- und Wiederholungstrials zeigte einen signifikanten Haupteffekt für Testzeitpunkt (RT Prä > RT Post) und für Trialtypen (RT Wechsel > RT Wiederholung), jedoch nicht für Gruppe. Die Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe wurde in der frequentistischen Analyse nur annähernd signifikant, aber mit substantiellen Belegen für die  $H_1$  nach  $B_{inkl}$ . Besonders Letzteres deutet darauf hin, dass die aktive Kontrollgruppe stärkere Verbesserungen in den RT zeigte als die Experimentalgruppe. Die Interaktionen von Testzeitpunkt und Trialtypen oder Testzeitpunkt, Trialtypen und Gruppe wurde nicht signifikant und  $B_{inkl}$  gab anekdotische Belege für  $H_0$ . Das Training konnte also wahrscheinlich keine unterschiedliche Entwicklung der Trialtypen induzieren.

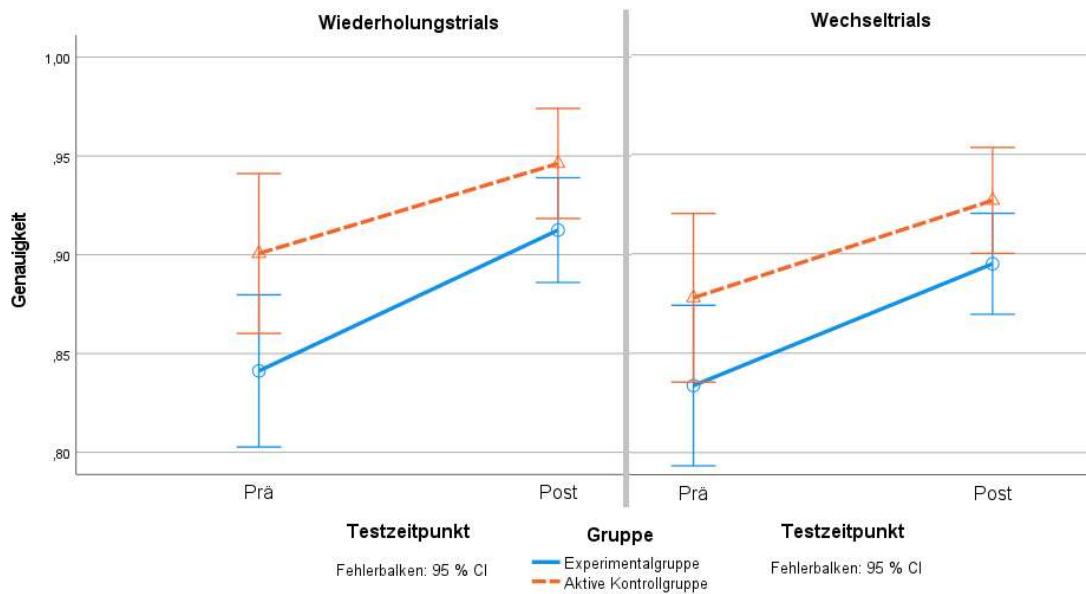
Die in Tabelle 17 zu findende Analyse der beiden Trainingsgruppen in Bezug auf die Acc zeigte signifikante Haupteffekte für Testzeitpunkt, Trialtypen und Gruppe, jedoch keine signifikanten Interaktionen.  $B_{10}$  sprach für anekdotische Belege für  $H_0$  für den Haupteffekt Trialtypen sowie für anekdotische bzw. starke Belege für  $H_1$  für die anderen beiden, nach frequentistischer Analyse signifikanten Haupteffekte. MW und SD sind in Tabelle 18 aufgelistet. Abbildung 22 zeigt die Trialtypen und Abbildung 23 die SC, deren MW exakter im Anhang A6 zu finden sind.

**Tabelle 17:** Analyse des Cued-TS-Transfertests (AV: Acc) unter Einbezug der Trialtypen. 2\*2\*2 mxANOVA (Testzeitpunkt (Prä, Post); Gruppe (Experimental-, aktive Kontrollgruppe); Trialtypen (Wiederholung, Wechsel). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

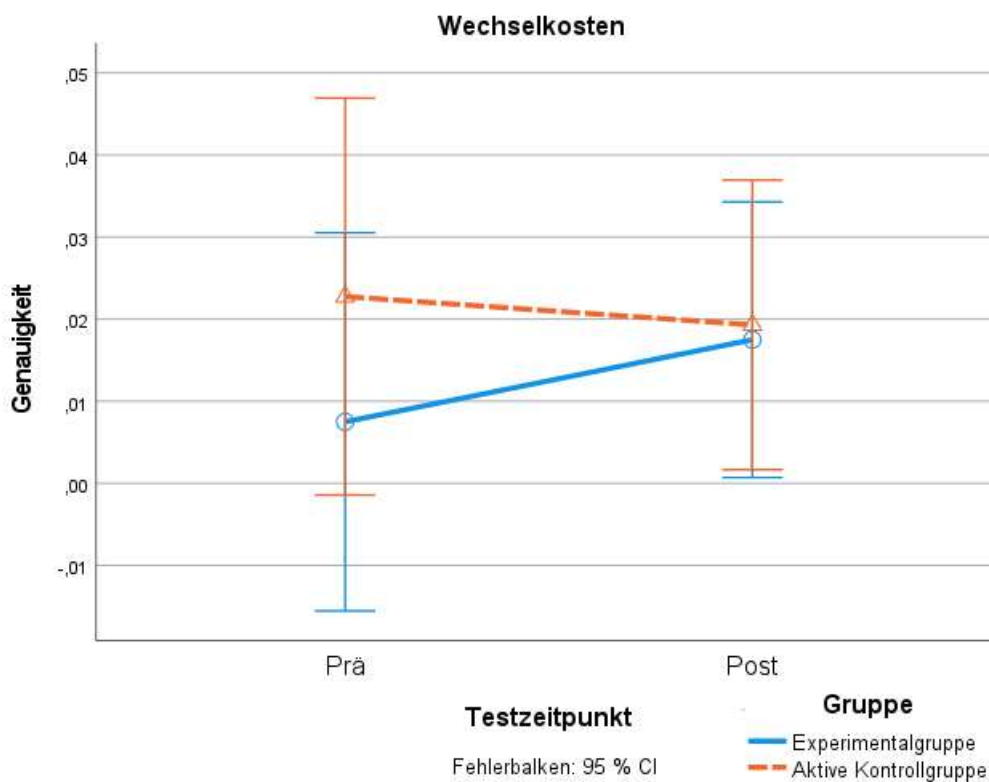
Analyse der Wiederholungs- und Wechseltrials - Genauigkeit						
Effekte	df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}/B_{inkl}$	Fehler ( $B_{10}$ )
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>1, 59</i>	<i>23.321</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.283</i>	<i>3.436·10<sup>8</sup></i>	<i>2.219</i>
<i>Gruppe</i>	<i>1, 59</i>	<i>4.545</i>	<i>0.037</i>	<i>0.072</i>	<i>1.752</i>	<i>2.120</i>
<i>Trialtypen</i>	<i>1, 59</i>	<i>9.870</i>	<i>0.003</i>	<i>0.143</i>	<i>0.678</i>	<i>2.374</i>
Testzeitpunkt*Gruppe	1, 59	0.654	0.422	0.011	0.521	
Testzeitpunkt*Trialtypen	1, 59	0.108	0.744	0.002	0.229	
Gruppe*Trialtypen	1, 59	0.639	0.427	0.011	0.185	
Testzeitpunkt*Trialtypen*Gruppe	1, 59	0.455	0.503	0.008	0.021	

**Tabelle 18:** Cued-TS-Transfertest: Genauigkeit der Gruppen nach den Trialtypen.

Trialtypen	Genauigkeit bei den Trialtypen			
	Experimentalgruppe (N = 32)		Aktive Kontrollgruppe (N = 29)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>Wiederholung</b>	0.84 (0.12)	0.91 (0.08)	0.90 (0.09)	0.94 (0.04)
<b>Wechsel</b>	0.83 (0.12)	0.90 (0.09)	0.88 (0.10)	0.93 (0.05)



**Abbildung 22:** Cued-TS-Transfertest: Genauigkeit in den Wiederholungs- und Wechseltrials. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 17.)



**Abbildung 23:** Cued-TS-Transfertest: Wechselkosten im Prä- und Posttest (Acc). Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. Für exakte MW und SD siehe Anhang A6. Für eine Analyse siehe Tabelle 17 und Erläuterungen im Fließtext. Es konnten keine signifikanten Ergebnisse gezeigt werden.

### 3.3.1.2 Mixingkosten

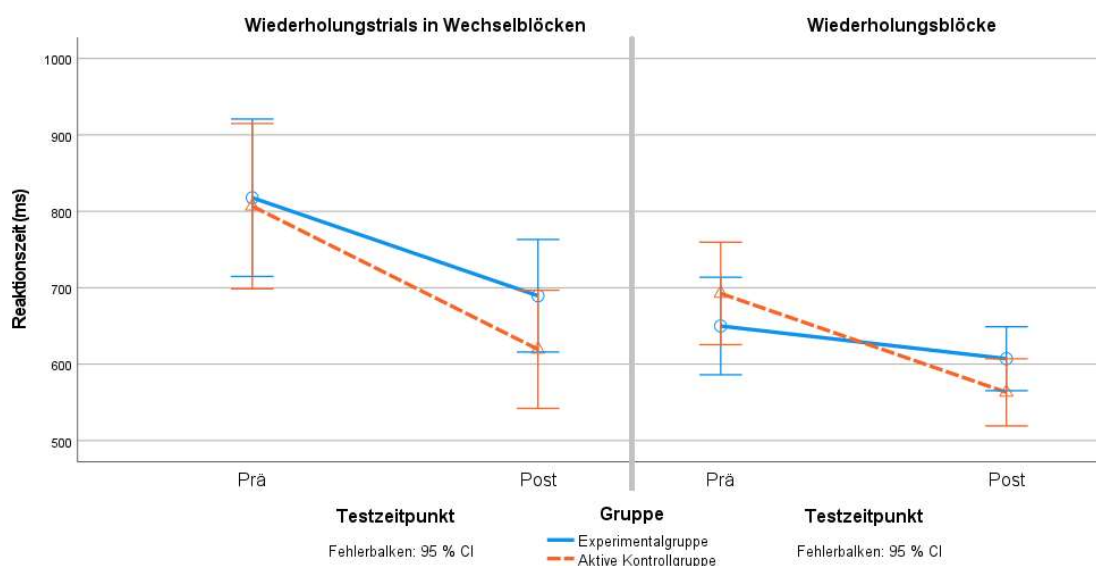
Neben den Wechselkosten wurden auch die Mixingkosten analysiert. Auch hier wurde direkt die Analyse der Blocktypen (Wiederholungstrials in Wechselblöcken und Wiederholungsblöcke) in einem 2\*2\*2 Design (Testzeitpunkt\*Blocktypen\*Gruppe) berichtet und auf den Bericht der Analyse der MC verzichtet. Auch hier entspricht die Analyse von Testzeitpunkt und Blocktypen dem Haupteffekt Testzeitpunkt aus einer Analyse der MC und die Interaktion von Testzeitpunkt, Blöcken und Gruppe der Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe.

Eine tabellarische Übersicht von RT und Acc (MW und SD) der Blocktypen ist in Tabelle 19 zu finden. Abbildung 24 gibt eine grafische Übersicht über RT und Acc der Blocktypen und Abbildung 25 für die direkten Mixingkosten, deren exaktere Werte (MW und SD) in Anhang A6 zu finden sind. Die Ergebnisse der Analysen sind in Tabelle 20 dargestellt.

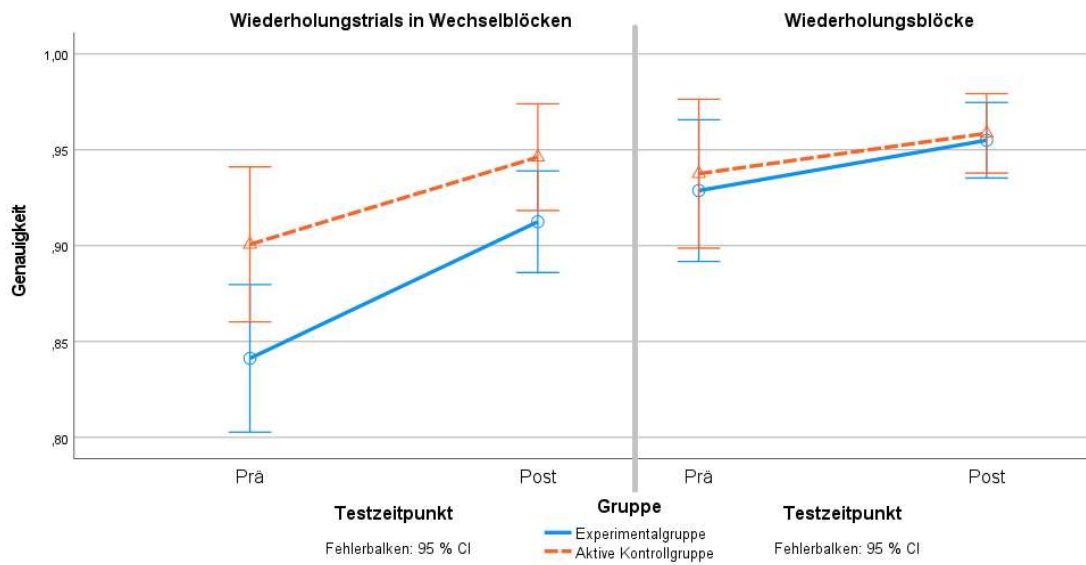
**Tabelle 19:** Cued-TS-Transfertest: RT und Acc der Wiederholungstrials und des Wiederholungsblocks. Es werden die MW und SD der Reaktionszeit und der Genauigkeit dargestellt.

Blocktypen	Experimentalgruppe (N = 32)		Aktive Kontrollgruppe (N = 29)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>Reaktionszeit (ms) bei den Blocktypen</b>				
<b>Wiederholungstrials</b>	818 (330)	690 (232)	807 (241)	619 (178)
<b>Wiederholungsblock</b>	650 (149)	607 (113)	693 (209)	563 (124)
<b>Genauigkeit bei den Blocktypen</b>				
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>Wiederholungstrials</b>	0.84 (0.12)	0.91 (0.08)	0.90 (0.09)	0.94 (0.04)
<b>Wiederholungsblock</b>	0.93 (0.08)	0.96 (0.06)	0.94 (0.12)	0.96 (0.05)

a)

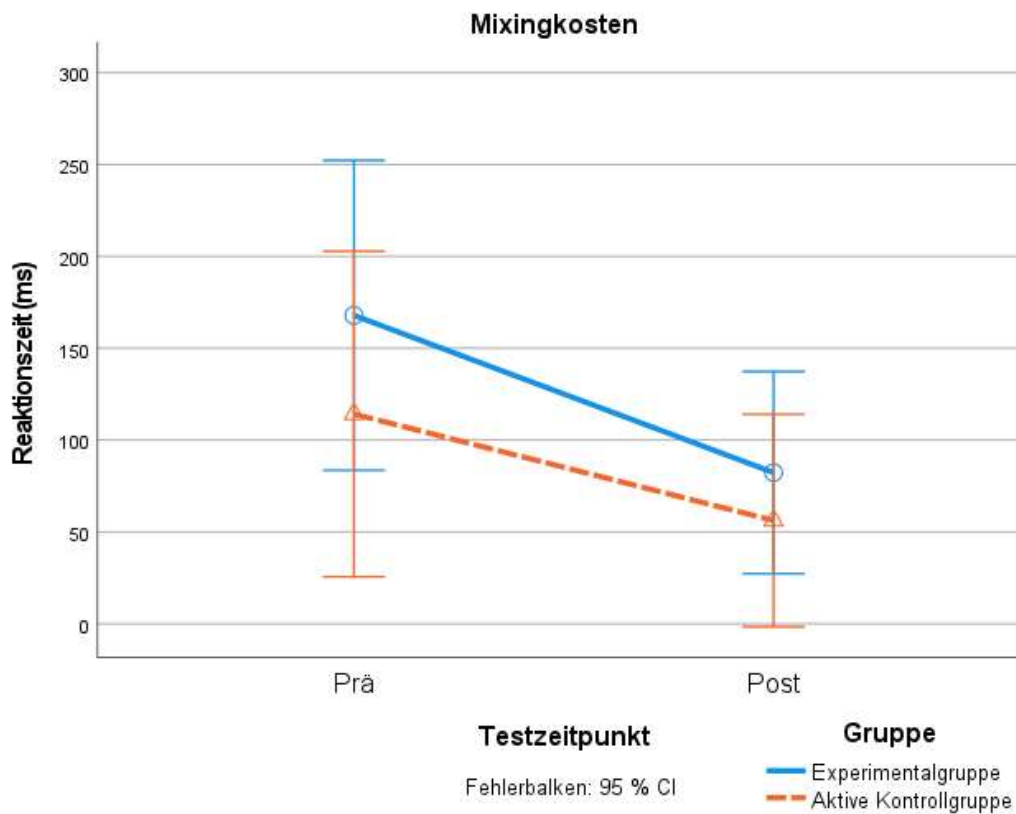


b)

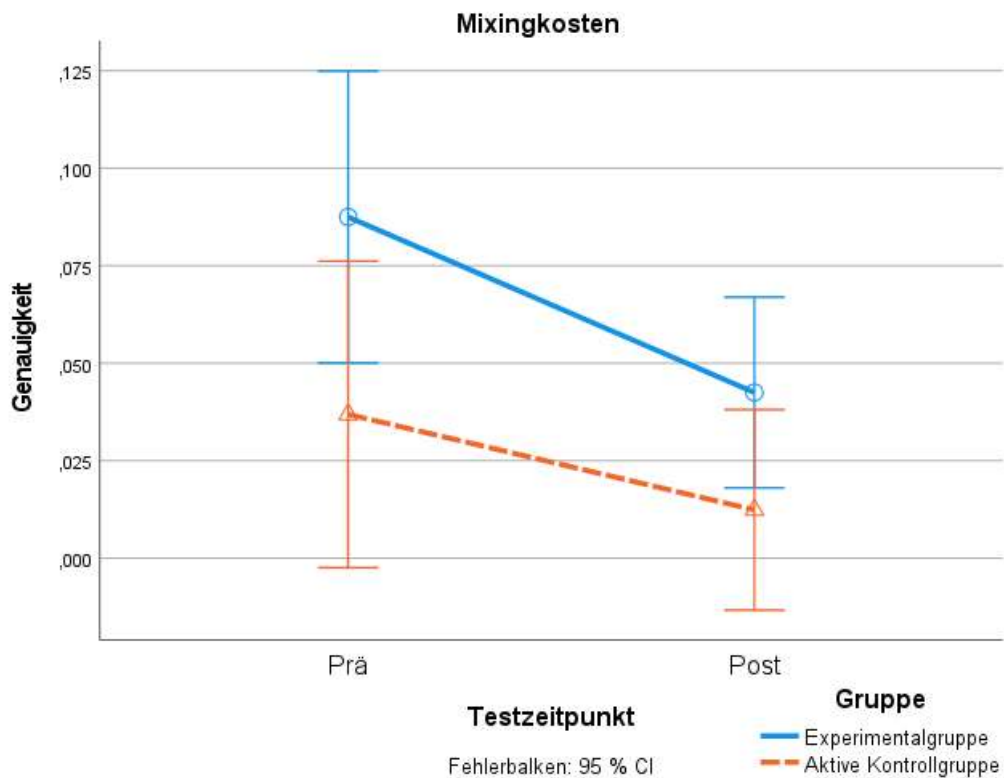


**Abbildung 24:** Cued-TS-Transfertest: Wiederholungstrials und -blöcke. A) Reaktionszeiten; b) Genauigkeit. Die Fehlerbalken geben jeweils das 95 %-Konfidenzintervall an. Für exakte MW und SD siehe Tabelle 19. (Für Ergebnisse der Analysen siehe Tabelle 20.)

a)



b)



**Abbildung 25:** Cued-TS-Transfertest: Mixingkosten im Prä- und Posttest. Abbildung a) zeigt die RT und b) die Acc. Die Fehlerbalken geben jeweils das 95 %-Konfidenzintervall an. Für exakte MW und SD siehe Anhang A6. (Für Ergebnisse der Analysen siehe Tabelle 20.)

**Tabelle 20:** Cued-TS-Transfertest: Analyse der Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Wiederholungsblock/-trial. 2\*2\*2 (Testzeitpunkt (Prä/Post)\*Blocktypen (Wiederholungstrials/Wiederholungsblöcke)\*Gruppe (Experimentalgruppe/aktive Kontrollgruppe)) Mixed-Model-ANOVA. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

Analyse der Mixingkosten - Blöcke - Reaktionszeiten						
Effekte	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>1, 59</b>	<b>38.064</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.392</b>	<b>490194.632</b>	<b>2.079</b>
Gruppe	1, 59	0.235	0.630	0.004	0.266	2.329
<b>Block</b>	<b>1,59</b>	<b>22.862</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.279</b>	<b>13721</b>	<b>2.083</b>
Testzeitpunkt*Gruppe	1,59	3.394	0.070	0.054	0.661	
<b>Testzeitpunkt*Block</b>	<b>1, 59</b>	<b>7.075</b>	<b>0.010</b>	<b>0.107</b>	<b>2.186</b>	
Testzeitpunkt*Block*Gruppe	1, 59	0.262	0.610	0.004	0.134	

Analyse der Mixingkosten - Blöcke - Genauigkeit						
Effekte	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>1, 59</b>	<b>13.929</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.191</b>	<b>444.740</b>	<b>2.224</b>
Gruppe	1, 59	2.627	0.110	0.043	0.662	2.423
<b>Block</b>	<b>1, 59</b>	<b>23.780</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.287</b>	<b>3086</b>	<b>2.191</b>
Testzeitpunkt*Gruppe	1, 59	0.496	0.484	0.008	0.416	
<b>Testzeitpunkt*Block</b>	<b>1, 59</b>	<b>6.465</b>	<b>0.014</b>	<b>0.009</b>	<b>2.250</b>	
Testzeitpunkt*Block*Gruppe	1, 59	0.564	0.456	0.009	0.281	

Die Ergebnisse der Analysen von RT und Acc unterschieden sich nicht. Wie zu erwarten, unterschied sich der Wiederholungsblock von den Wiederholungstrials. Nach frequentistischer und Bayes-Analyse interagierten Testzeitpunkt und Block bzw. Wiederholungstrial insofern, dass in Wiederholungstrials stärkere Verbesserungen erzielt werden konnten als in den Wiederholungsblöcken. Zwischen den Gruppen schien es nach beiden Analysen keine unterschiedliche Entwicklung zu geben.

### 3.3.2 Ferner Transfer

Im Folgenden werden die Ergebnisse zu den Tests zur Ermittlung eines fernen Transfereffekts dargestellt. Begonnen wird mit dem Stroop-Test als Verfahren zur Messung eines nah-fernen Transfers. Darauffolgend werden der Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test, das Change Detection, das Paarassoziationslernen sowie der assoziative Rekognitionstest dargestellt.

#### 3.3.2.1 Stroop-Test

Im Prätest unterschieden sich die beiden Gruppen nicht signifikant voneinander. Die Ergebnisse der Analysen sind in Tabelle 21 zu finden.

**Tabelle 21:** Stroop-Test: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest. Die p-Werte und  $B_{10}$  wurden nicht korrigiert. Im Prätest gab es keine Gruppenunterschiede.

T-Test Vergleich von Experimental- und aktiver Kontrollgruppe im Prätest						
	df	t	p	Cohens d	$B_{10}$	Fehler ( $B_{10}$ )
Inkongruent (RT)	54	0.152	0.880	0.041	0.273	0.009
Kongruent (RT)	54	-0.636	0.527	-0.170	0.320	0.009
Stroop-Effekt (RT)	54	1.790	0.079	0.480	1.009	0.009
Inkongruent (Acc)	54	-0.101	0.920	-0.027	0.272	0.009
Kongruent (Acc)	54	0.019	0.985	0.005	0.271	0.009
Stroop-Effekt (Acc)	54	0.144	0.886	0.039	0.273	0.009

In einer 2\*2\*2 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt, Gruppe und Trialtypen (inkongruent/kongruent) wurde der Einfluss auf die Trialtypen und damit den Stroop-Effekt analysiert. Auf den Bericht der direkten Analyse des Stroop-Effektes wurde verzichtet. Die Interaktion von Testzeitpunkt und Trialtypen würde in der frequentistischen Analyse dem Haupteffekt Testzeitpunkt aus der Analyse des Stroop-Effektes entsprechen und die Interaktion von Testzeitpunkt, Trialtypen und Gruppe der von Testzeitpunkt und Gruppe. Die Interpretation der Bayes-Faktoren zwischen der Analyse der Trialtypen und der entsprechenden Analysen des Stroop-Effekts

unterschieden sich in ihrer Interpretation nicht. Die Ergebnisse der Analyse sind in Tabelle 22 zu finden.

Eine Übersicht über RT und Acc (MW und SD) der Trialtypen ist in Tabelle 23 aufgeführt. Eine grafische Darstellung zur Interaktion von Testzeitpunkt, Trialtypen und Gruppe ist in Abbildung 26 zu sehen. Eine grafische Darstellung des Stroop-Effektes bietet Abbildung 27. Exakte RT und Acc (MW und SD) zum Stroop-Effekt sind in Anhang A7 zu finden.

**Tabelle 22:** Stroop-Test: Analyse der Trialtypen (RT und Acc). 2\*2\*2 mxANOVA (Testzeitpunkt (Prä/Post)\*Gruppe (Experimental-/aktive Kontrollgruppe)\*Trialtypen (inkongruent/kongruent)). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

<b>Stroop-Test - Trialtypen - Reaktionszeit</b>						
<b>Effekte</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b><math>B_{10}/B_{inkl}</math></b>	<b>Fehler (<math>B_{10}</math>)</b>
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>1, 54</i>	<i>19.933</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.205</i>	<i>32956.518</i>	<i>2.379</i>
<i>Trialtypen</i>	<i>1, 54</i>	<i>72.550</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.573</i>	<i>1140.233</i>	<i>2.374</i>
Gruppe	1, 54	0.079	0.779	0.001	0.388	2.517
Testzeitpunkt*Trialtypen	1, 54	0.244	0.623	0.005	0.450	
Testzeitpunkt*Gruppe	1, 54	1.557	0.217	0.028	0.906	
<i>Trialtypen*Gruppe</i>	<i>1, 54</i>	<i>6.326</i>	<i>0.015</i>	<i>0.105</i>	<i>0.517</i>	
Testzeitpunkt*Trialtypen*Gruppe	1, 54	0.094	0.760	0.002	0.088	

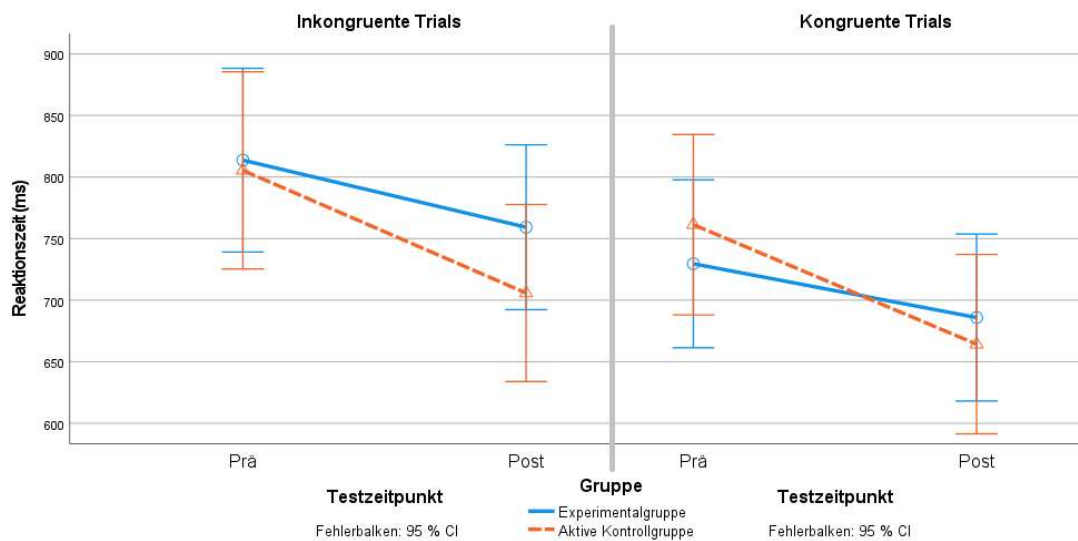
<b>Stroop-Test – Trialtypen - Genauigkeit</b>						
<b>Effekte</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b><math>B_{10}/B_{inkl}</math></b>	<b>Fehler (<math>B_{10}</math>)</b>
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>1, 54</i>	<i>14.757</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.215</i>	<i>355.053</i>	<i>2.357</i>
<i>Trialtypen</i>	<i>1, 54</i>	<i>43.496</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.446</i>	<i>1.362·10<sup>6</sup></i>	<i>2.209</i>
Gruppe	1, 54	0.128	0.722	0.002	0.228	2.767
<i>Testzeitpunkt*Trialtypen</i>	<i>1, 54</i>	<i>14.275</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.209</i>	<i>16.978</i>	
Testzeitpunkt*Gruppe	1, 54	0.144	0.706	0.003	0.116	
Trialtypen*Gruppe	1, 54	0.273	0.604	0.005	0.119	
Testzeitpunkt*Trialtypen*Gruppe	1, 54	0.169	0.682	0.003	0.043	

Frequentistische Analysen und Bayes-Analysen lieferten die gleichen Ergebnisse. Für RT und Acc sprachen die Analysen beim Haupteffekt Testzeitpunkt für die  $H_1$ , wonach es Verbesserungen in RT und Acc vom Prä- zum Posttest gegeben haben sollte. Auch für den Haupteffekt Trialtypen sprachen die Analysen für die  $H_1$ , wonach die Leistungen in kongruenten Trials besser als in inkongruenten Trials waren, was so zu erwarten war. Die Interaktion von Testzeitpunkt und Trialtypen sprach für die Acc für die  $H_1$ , wonach eine stärkere Verbesserung in den inkongruenten Trials als in den kongruenten stattfand. Dies bedeutet also eine Verbesserung des Stroop-Effektes in der Acc. Für die RT konnten keine Interaktionen gezeigt werden.

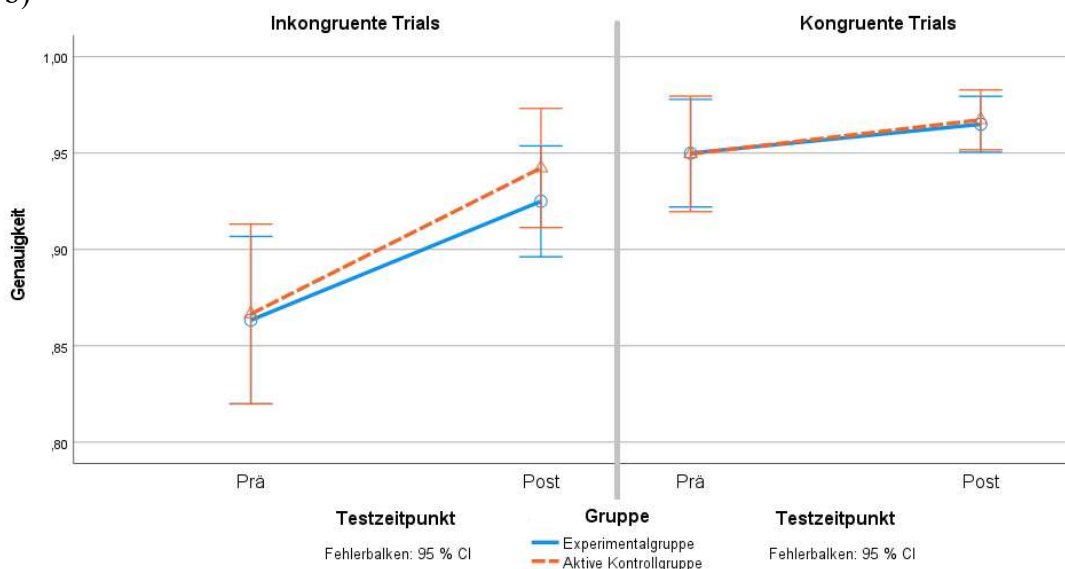
**Tabelle 23:** Stroop-Test: Reaktionszeiten und Genauigkeiten der Trialtypen im Stroop-Effekt. Angegeben werden Mittelwert und Standardabweichung im Prä- und Posttest der beiden Gruppen.

Trialtypen	Experimentalgruppe (N = 30)		Aktive Kontrollgruppe (N = 26)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>Reaktionszeit (ms)</b>				
<b>Inkongruent</b>	813 (173)	759 (180)	805 (233)	705 (185)
<b>Kongruent</b>	729 (148)	685 (172)	761 (222)	664 (199)
<b>Genauigkeit</b>				
<b>Inkongruent</b>	0.86 (0.12)	0.92 (0.07)	0.87 (0.11)	0.94 (0.08)
<b>Kongruent</b>	0.95 (0.07)	0.96 (0.04)	0.95 (0.08)	0.97 (0.04)

a)



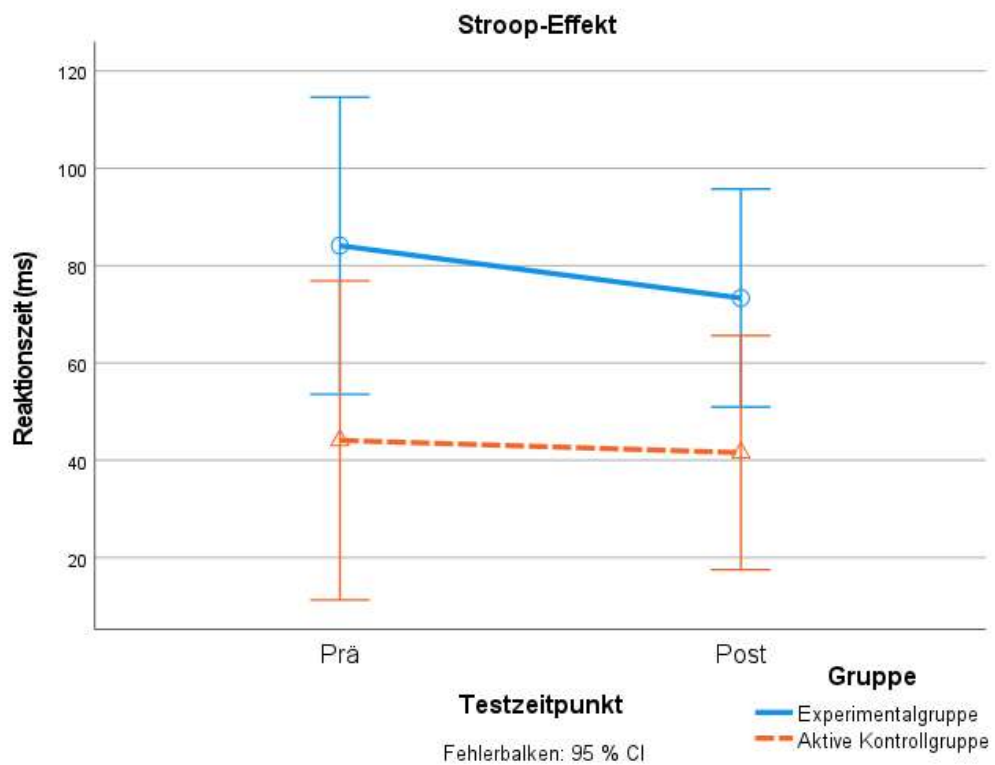
b)



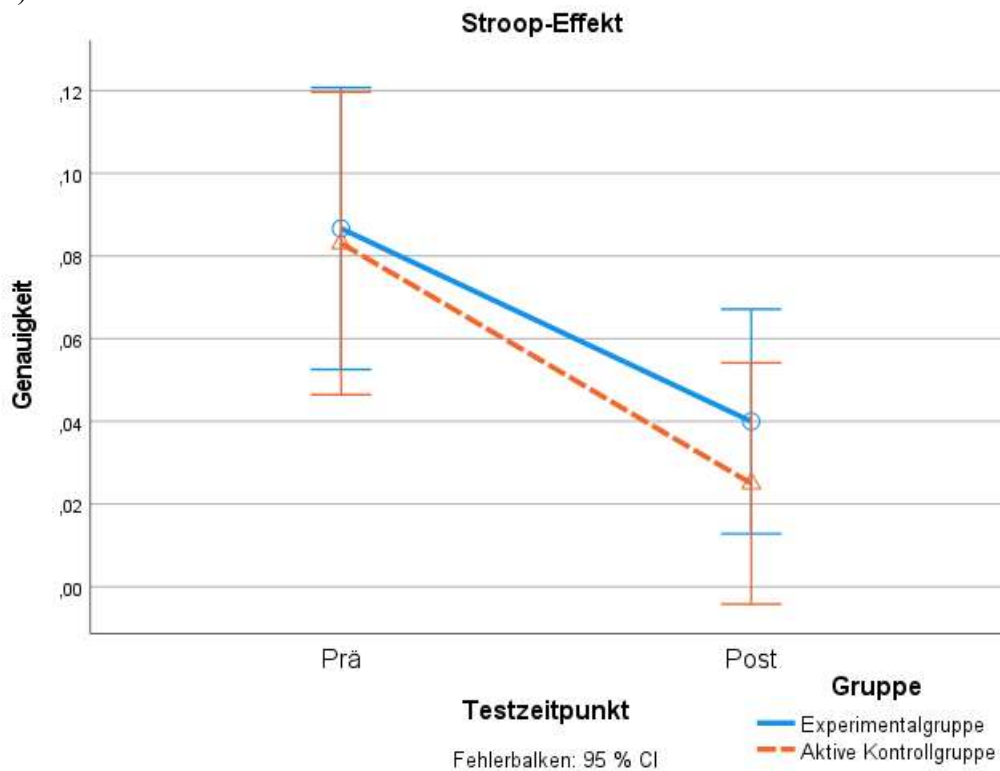
**Abbildung 26:** Stroop-Test: Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Trialtypen. A) zeigt die Reaktionszeiten und b) die Genauigkeit. In der Genauigkeit konnte eine signifikante Interaktion von Testzeitpunkt und Trialtypen gezeigt werden. Weitere Interaktionen wurden nicht signifikant. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 22.)



a)



b)



**Abbildung 27:** Stroop-Test: Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe beim Stroop-Effekt. A) zeigt die RT und b) die Acc. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 22.)

### 3.3.2.2 Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test

Im Prätest unterschieden sich die AV nicht zwischen den beiden Gruppen. Die Analyseergebnisse sind in Tabelle 24 zu finden.

**Tabelle 24:** ANT: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest. Die p-Werte und  $B_{10}$  wurden nicht korrigiert. Im Prätest gab es keine Gruppenunterschiede.

<b>T-Test Vergleich von Experimental- und aktiver Kontrollgruppe im Prätest</b>						
	<b>df</b>	<b>t</b>	<b>p</b>	<b>Cohens d</b>	<b><math>B_{10}</math></b>	<b>Fehler (<math>B_{10}</math>)</b>
Aktivierung	1.017	1.017	0.313	0.261	0.403	0.010
Orientierung	-1.081	-1.081	0.284	-0.277	0.426	0.010
Exekutive Aufmerksamkeit	1.640	1.640	0.106	0.421	0.801	0.010
Zentraler Cue	-0.228	-0.228	0.821	-0.058	0.267	0.011
Doppelcue	-0.614	-0.614	0.542	-0.157	0.306	0.010
Kein Cue	-0.157	-0.157	0.876	-0.040	0.264	0.011
Räumlicher Cue	0.204	0.204	0.839	0.052	0.265	0.011
Inkongruente Flanker	0.199	0.199	0.843	0.051	0.265	0.011
Kongruente Flanker	-0.562	-0.562	0.576	-0.144	0.298	0.010
Neutrale Flanker	-0.108	-0.108	0.914	-0.028	0.262	0.011

Im Folgenden wird zunächst die Analyse der drei Aufmerksamkeitsnetzwerke (Aktivierung, Orientierung und exekutive Aufmerksamkeit) dargestellt. Darauf folgend werden Veränderungen in den unterschiedlichen Cue- und Flankertypen berichtet.

Da sich bei der Berechnung des exekutiven Aufmerksamkeitsnetzwerkes die kongruenten Flanker nicht von den neutralen unterschieden (Prä:  $t(105) = 0.706$ ;  $p = 0.482$ ; Cohens  $d = 0.069$ ;  $B_{10} = 0.137$  (Fehler:  $4.346 \cdot 10^{-5}$ ); Post:  $t(105) = 0.614$ ;  $p = 0.541$ ; Cohens  $d = 0.06$ ;  $B_{10} = 0.129$  (Fehler:  $4.520 \cdot 10^{-5}$ )), wurde die Berechnung des Netzwerkeffektes nur mit den kongruenten Flankern durchgeführt.

Weil die meisten der Versuchsteilnehmenden nur keinen bis einen Fehler machten, wurde auf die Analyse der Acc verzichtet.

#### 3.3.2.2.1 Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test - Aufmerksamkeitsnetzwerke

Eine in Tabelle 25 dargestellte  $2 \times 3 \times 2$  Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt\**Aufmerksamkeitsnetzwerke*\*Gruppe zeigte keine signifikanten Effekte außer für den Haupteffekt „Netzwerkeffekte“. Die deskriptiven Statistiken sind in Abbildung 28 bzw. Tabelle 26 (MW und SD) zu finden. Die einzelnen Netzwerke unterschieden sich in der Regel in Post-hoc-Tests allesamt signifikant (siehe Anhang A8), was nach Fan et al. (2002) so zu erwarten war (Kap. 1.5). Im Posttest unterschieden

sich Orientierungs- und exekutives Aufmerksamkeitsnetzwerk jedoch nicht mehr signifikant voneinander. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden, und auch der Bayes-Faktor sprach für alle Interaktionen für  $H_0$ .

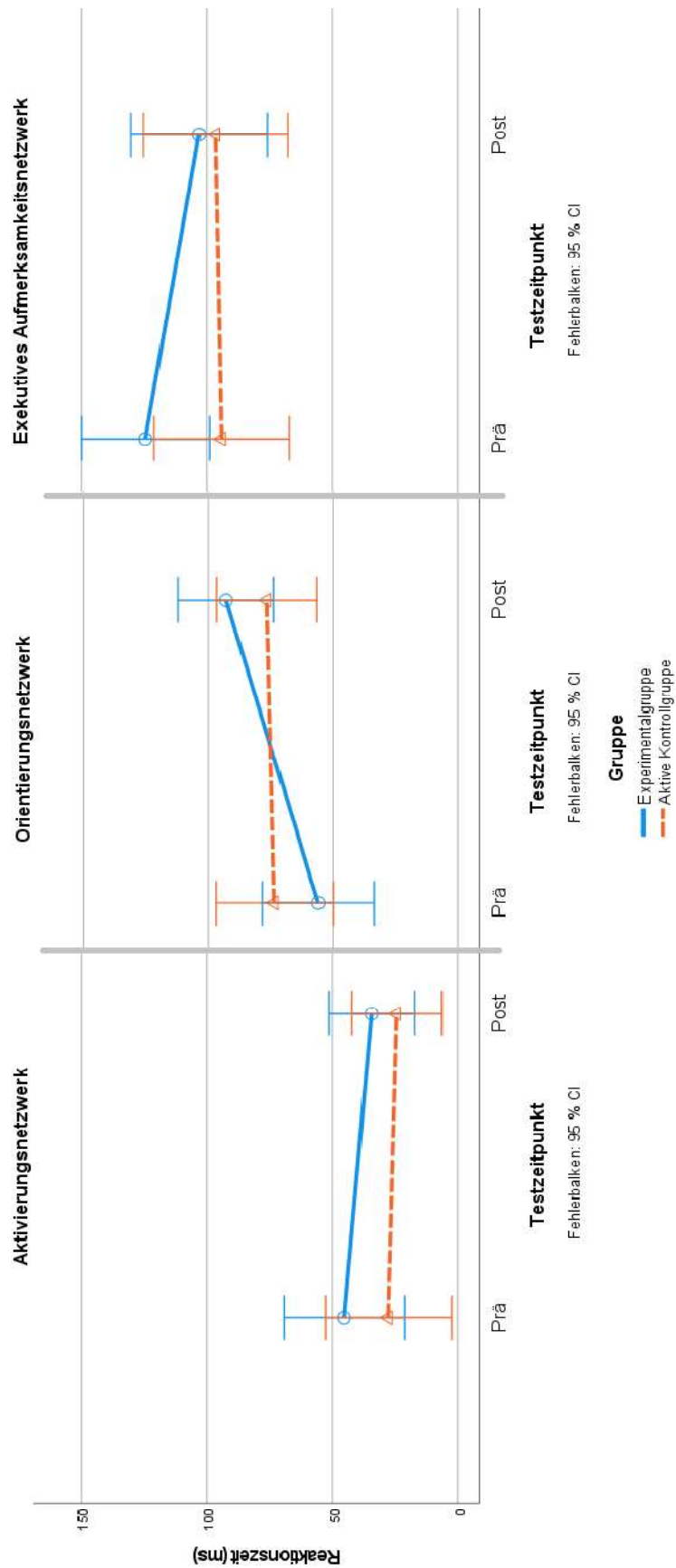
**Tabelle 25:** ANT: Analyse der Netzwerkeffekte. Analyse durch eine 2\*3\*2 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt\*Netzwerke\*Gruppe). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

Effekte	Greenhouse-Geisser Korrektur?	Analyse der Netzwerkeffekte					
		df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}/B_{inkl}$	Fehler ( $B_{10}$ )
Testzeitpunkt	Nein	1, 59	0.040	0.842	0.001	0.130	7.645
<b>Netzwerke</b>	<b>Ja</b>	<b>1.714, 101.42</b>	<b>31.485</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.348</b>	<b>3.784·10<sup>14</sup></b>	<b>0.718</b>
Gruppe	Nein	1, 59	1.556	0.217	0.026	0.306	7.566
Testzeitpunkt* Netzwerke	Nein	2, 118	2.889	0.060	0.047	0.111	
Testzeitpunkt* Gruppe	Nein	1, 59	0.005	0.943	0.000	0.013	
Netzwerke* Gruppe	Ja	1.714, 101.142	0.599	0.526	0.010	0.058	
Testzeitpunkt* Netzwerke* Gruppe	Nein	2, 118	2.381	0.097	0.039	0.002	

Es ist somit davon auszugehen, dass sich das Training nicht auf die unterschiedlichen Netzwerke auswirkte.

**Tabelle 26:** ANT: Reaktionszeiten in den Aufmerksamkeitsnetzwerken. Angegeben sind Mittelwert und Standardabweichung.

Netzwerk	Experimentalgruppe (N = 32)		Aktive Kontrollgruppe (N = 29)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>Aktivierung</b>	45 (54)	34 (38)	27 (79)	24 (56)
<b>Orientierung</b>	55 (61)	92 (40)	73 (64)	76 (66)
<b>Exekutive Aufmerksamkeit</b>	124 (53)	102 (87)	94 (88)	96 (63)



**Abbildung 28:** ANT: Aufmerksamkeitsnetzwerke. Darstellung der Interaktion von Aufmerksamkeitsnetzwerken, Gruppen und Testzeitpunkt. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. Für exakte MW und SD siehe Tabelle 26. Es konnte keine Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe gezeigt werden. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 25.)

### 3.3.2.2.2 ANT - Cue- und Flankertypen

Neben den Netzwerkeffekten wurden auch die Cue- und Flankertypen in einer 2\*4\*3\*2 (Testzeitpunkt\*Cuetyphen\*Flankertypen\*Gruppe) Mixed-Model-ANOVA analysiert. Eine grafische Darstellung der Cue- und Flankertypen in Bezug zu Gruppe und Testzeitpunkt findet sich in Abbildung 29 (Cues) bzw. 30 (Flanker). MW und SD sind in Tabelle 28 zu finden. Die MW und SD der RT für die jeweiligen Cue-Flanker-Beziehungen finden sich im Anhang A14. Die Analyseergebnisse sind in Tabelle 27 dargestellt.

**Tabelle 27:** ANT: Analyse der Cue- und Flankertypen. 2\*4\*3\*2 (Testzeitpunkt\*Cuetyphen\*Flankertypen\*Gruppe) Mixed-Model-ANOVA. Die Tabelle zeigt die Analyse des ANTs unter Einbezug von Cue- (zentraler, doppelter, räumlicher und kein Cue) sowie Flankertypen (inkongruent, kongruent, neutral). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

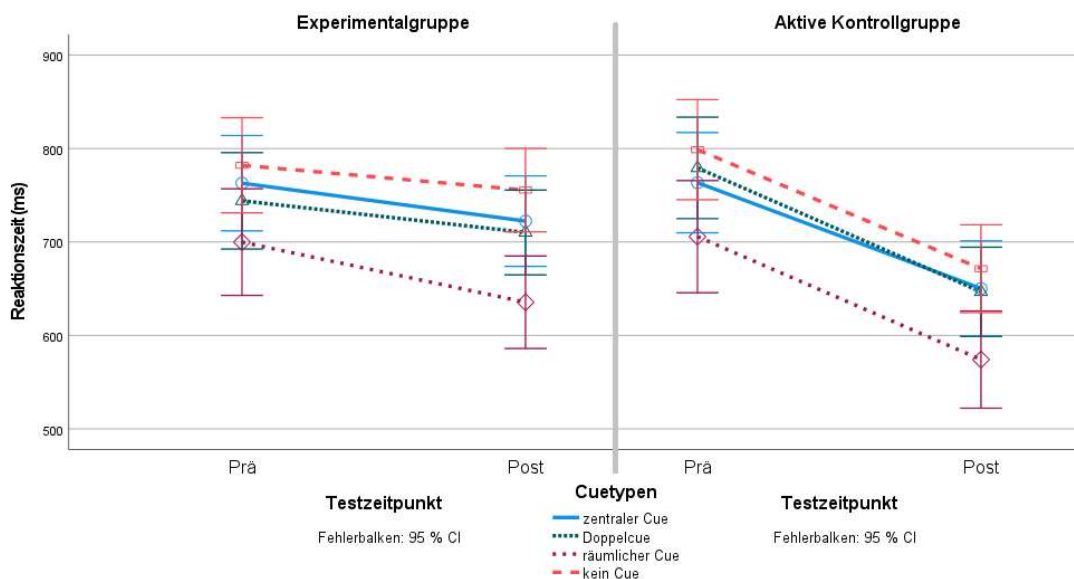
ANT – Analyse von Cue- und Flankertypen							
Effekte	Greenhouse-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 57</i>	<i>24.748</i>	<i>&lt;0.001</i>	<i>0.303</i>	<i>7.324·10<sup>38</sup></i>	<i>2.516</i>
<i>Cuetyphen</i>	<i>Ja</i>	<i>2.366, 134.880</i>	<i>114.901</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.668</i>	<i>4.092·10<sup>27</sup></i>	<i>0.607</i>
<i>Flankertypen</i>	<i>Nein</i>	<i>2, 114</i>	<i>176.281</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.756</i>	<i>5.346·10<sup>19</sup></i>	<i>2.952</i>
Gruppe	Nein	1, 57	0.818	0.370	0.014	0.372	2.720
Testzeitpunkt*Cuetyphen	Nein	3, 171	2.253	0.084	0.038	0.024	
Testzeitpunkt*Flankertypen	Ja	1.801, 102,642	3.037	0.052	0.051	0.057	
<i>Cuetyphen*Flankertypen</i>	<i>Ja</i>	<i>4.627, 263.728</i>	<i>78.647</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.580</i>	<i>3.836·10<sup>16</sup></i>	
<i>Testzeitpunkt*Cuetyphen*Flankertypen</i>	<i>Ja</i>	<i>4.367, 248.893</i>	<i>3.660</i>	<i>0.005</i>	<i>0.060</i>	0.159	
<i>Testzeitpunkt*Gruppe</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 57</i>	<i>6.346</i>	<i>0.015</i>	<i>0.100</i>	<i>3.724·10<sup>16</sup></i>	
Cuetyphen*Gruppe	Ja	2.366, 134.880	1.572	0.207	0.027	0.021	
Testzeitpunkt*Cuetyphen*Gruppe	Nein	3, 171	1.731	0.163	0.029	1.333·10 <sup>-1</sup>	
Flankertypen*Gruppe	Nein	2, 114	0.475	0.623	0.008	0.020	
Testzeitpunkt*Flankertypen*Gruppe	Ja	1.801, 102.642	1.006	0.362	0.017	3.539·10 <sup>-1</sup>	
<i>Cuetyphen*Flankertypen*Gruppe</i>	<i>Ja</i>	<i>4.627, 263.728</i>	<i>2.651</i>	<i>0.027</i>	<i>0.044</i>	<i>7.112·10<sup>-2</sup></i>	
Testzeitpunkt*Cuetyphen*Flankertypen*Gruppe	Ja	4.367, 248.893	1.120	0.349	0.019	2.841·10 <sup>-9</sup>	

Die Analyse unter Einbezug der Cue- und Flankertypen ergab signifikante Haupteffekte für Testzeitpunkt, Cuetyphen und Flankertypen. Post-hoc Analysen für die Haupteffekte von Cue- und Flankertypen sind im Anhang A8 zu finden. Die Interaktion von

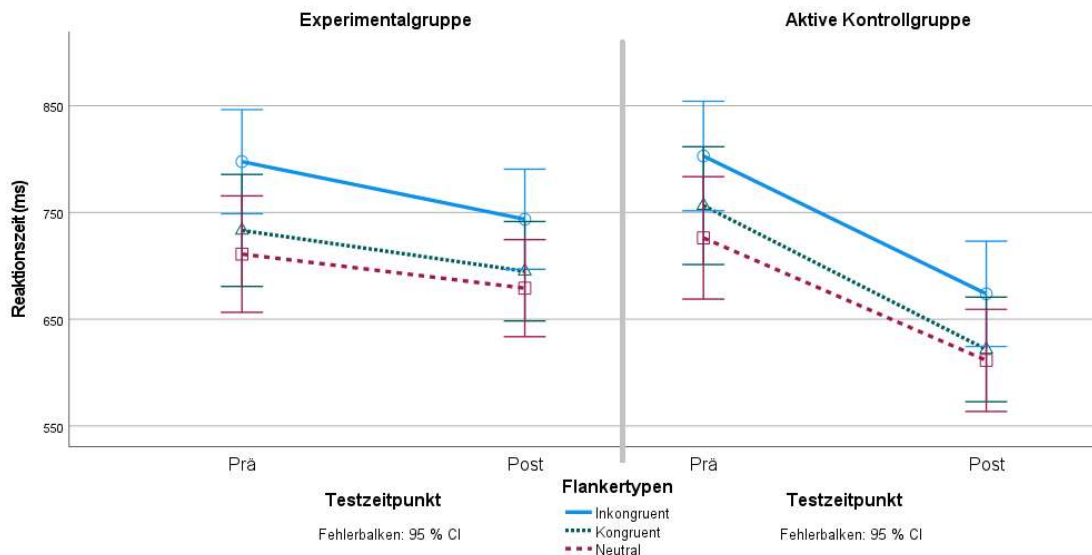
Testzeitpunkt, Cue- und Flankertypen sprach bei mittlerer Effektstärke nach frequentistischer Analyse für die  $H_1$  und nach Bayes-Analyse mit substantieller Evidenz für die  $H_0$ . Die Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe sprach nach beiden Analysen für  $H_1$ . Die aktive Kontrollgruppe schien ihre Reaktionsgeschwindigkeit stärker zu verbessern als die Experimentalgruppe. Für  $H_0$  sprachen, mit starken oder substantiellen Belegen, jeweils die Interaktionen von Testzeitpunkt, Gruppe und Cuetypen oder Flankertypen.

**Tabelle 28:** ANT: Reaktionszeiten in den Cue- und Flankertypen. Aufgeführt sind Mittelwerte und deren Standardabweichung.

	Experimentalgruppe (N = 32)		Aktive Kontrollgruppe (N =29)	
	Prä (MW (SD)) (ms)	Post (MW (SD)) (ms)	Prä (MW (SD)) (ms)	Post (MW (SD)) (ms)
<b>Cuetypen</b>				
<b>Zentraler Cue</b>	762 (126)	726 (158)	771 (174)	639 (102)
<b>Doppelcue</b>	740 (117)	719 (153)	764 (178)	641 (97)
<b>Kein Cue</b>	785 (119)	753 (152)	791 (170)	665 (90)
<b>Räumlicher Cue</b>	706 (143)	633 (157)	698 (187)	563 (106)
<b>Flankertypen</b>				
<b>Inkongruent</b>	833 (129)	781 (182)	826 (150)	704 (104)
<b>Kongruent</b>	708 (124)	678 (156)	732 (96)	608 (29)
<b>Neutral</b>	721 (124)	686 (154)	725 (181)	603 (79)



**Abbildung 29:** ANT: Interaktion von Testzeitpunkt, Cuetypen und Gruppen. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 27.)



**Abbildung 30:** ANT: Interaktion von Testzeitpunkt, Flankertypen und Gruppen. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 27.)

### 3.3.2.3 Change Detection

In der Bedingung ohne Filter wurden K-Max sowie K-Setgröße (2, 3 und 4) analysiert. In der Bedingung mit Filter das „Unnötige Speicherung“ Maß (US) und K-Settypen (Setgröße 2, Setgröße 4 und Filter (2 Distraktoren + 2 Zielreize)).

Experimental- und aktive Kontrollgruppe unterschieden sich im Prätest nicht signifikant voneinander. Die Analyseergebnisse sind in Tabelle 29 zu finden.

**Tabelle 29:** Change Detection: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest. Die p-Werte und  $B_{10}$  wurden nicht korrigiert. Im Prätest gab es keine Gruppenunterschiede

T-Tests zum Vergleich von Experimental- und aktiver Kontrollgruppe im Prätest						
	df	t	p	Cohens d	$B_{10}$	Fehler ( $B_{10}$ )
<b>Ohne Filter</b>						
K Setgröße 2	57	-0.053	0.958	-0.014	0.265	0.010
K Setgröße 3	57	-0.547	0.586	-0.143	0.300	0.010
K Setgröße 4	57	-1.414	0.163	-0.368	0.608	0.009
K-Max	57	-1.747	0.086	-0.455	0.937	0.009
<b>Mit Filter</b>						
K Setgröße 2	57	-1.281	0.205	-0.334	0.524	0.010
K Filter	57	-0.210	0.834	-0.055	0.269	0.010
K Setgröße 4	57	-0.497	0.621	-0.129	0.293	0.010
Unnötige Speicherung	57	-0.985	0.329	-0.256	0.397	0.010

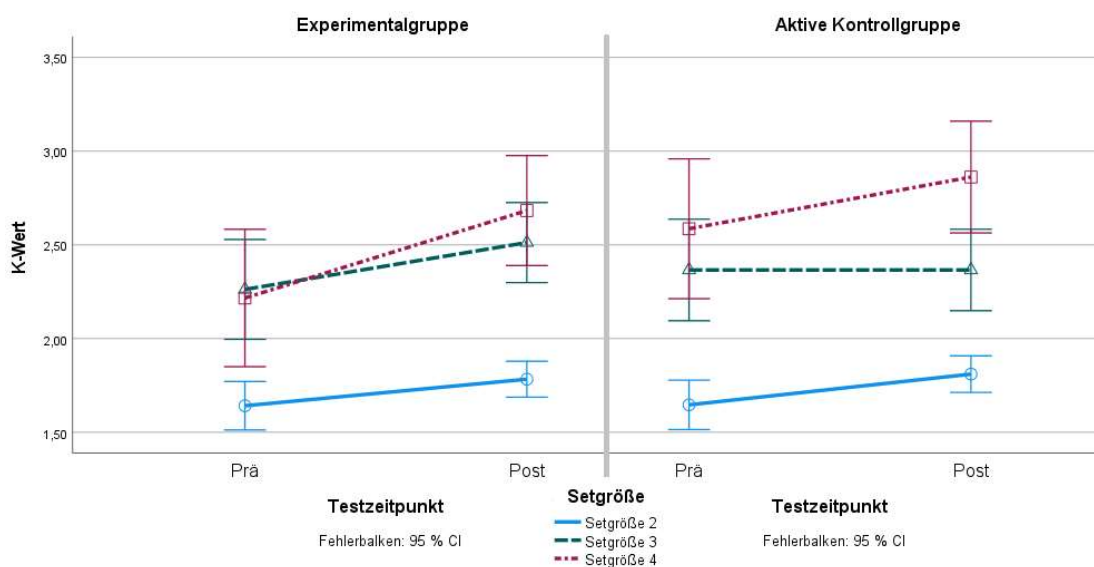
#### *Change Detection ohne Filter*

Der in Tabelle 30 dargestellte Vergleich mittels 2\*2\*3 Mixed-Model-ANOVA von Experimentalgruppe mit aktiver Kontrollgruppe in der Bedingung ohne Filter mit den

Faktoren Gruppe (2), Testzeitpunkt (2) und Setgröße (3) und K-Wert als AV zeigte keine signifikante Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe oder Testzeitpunkt, Gruppe und Setgröße aber frequentistisch für Testzeitpunkt und Setgröße. Signifikante Haupteffekte konnten für die Faktoren Testzeitpunkt und Setgröße, nicht aber für Gruppe gezeigt werden. Abbildung 31 zeigt eine grafische Darstellung der verschiedenen Setgrößen in Bezug zu Gruppe und Testzeitpunkt. MW und SD sind in Tabelle 31 zu finden.

**Tabelle 30:** Change Detection ohne Filter: Analyse des K-Wertes pro Setgröße. 2\*2\*3 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt (Prä/Post)\*Gruppe (Experimental-/akt. Kontrollgruppe)\*Setgröße (2,3,4); AV: K pro Setgröße. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

Change Detection – Ohne Filter (Vergleich Experimental- und aktive Kontrollgruppe)							
Effekte	Green-house-Geisser	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
	<b>Korrektur?</b>						
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>Nein</b>	<b>1, 57</b>	<b>11.294</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.165</b>	<b>9.830</b>	<b>2.859</b>
Gruppe	Nein	1, 57	0.557	0.458	0.010	0.249	3.030
<b>Setgröße</b>	<b>Nein</b>	<b>2, 56</b>	<b>73.372</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.724</b>	<b>8.921·10<sup>24</sup></b>	<b>2.722</b>
Testzeitpunkt*	Nein	1, 57	1.175	0.283	0.020	0.216	
Gruppe							
Setgröße*	Ja	1.728,	2.065	0.139	0.035	0.337	
Gruppe		98.501					
<b>Testzeitpunkt*</b>	<b>Ja</b>	<b>1.746,</b>	<b>51.410</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.474</b>	<b>0.608</b>	
<b>Setgröße</b>		<b>99.523</b>					
Testzeitpunkt*Gruppe*	Nein	2, 56	1.569	0.217	0.053	0.024	
Setgröße							



**Abbildung 31:** Change Detection ohne Filter: Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Setgrößen beim K-Wert. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 30.)



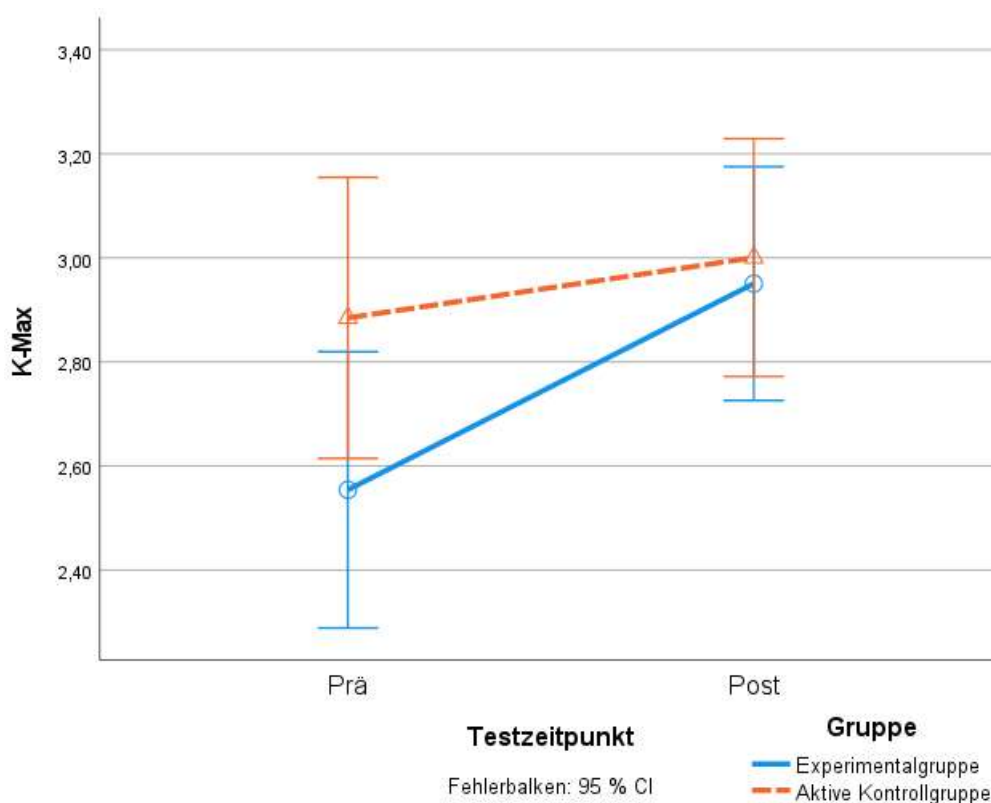
**Tabelle 31:** Change Detection ohne Filter: K-Werte der unterschiedlichen Setgrößen. Dargestellt sind MW und SD.

Setgrößen	Experimentalgruppe (N = 30)		Aktive Kontrollgruppe (N = 29)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>K Setgröße 2</b>	1.64 (0.49)	1.78 (0.27)	1.65 (0.30)	1.81 (0.25)
<b>K Setgröße 3</b>	2.26 (0.88)	2.51 (0.64)	2.37 (0.53)	2.37 (0.53)
<b>K Setgröße 4</b>	2.22 (1.00)	2.68 (0.87)	2.59 (1.00)	2.86 (0.73)

Für die in Tabelle 33 dargestellte Analyse von K-Max als AV ergab sich in einer 2\*2 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt\*Gruppe) ein ähnliches Bild wie für die Analyse der unterschiedlichen Setgrößen. Eine grafische Darstellung ist in Abbildung 32 zu sehen und MW und SD sind in Tabelle 32 dargestellt.

**Tabelle 32:** Change Detection ohne Filter: K-Max im Prä- und Posttest der beiden aktiven Gruppen

Setgrößen	Experimentalgruppe (N = 30)		Aktive Kontrollgruppe (N = 29)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>K-Max</b>	2.55 (0.75)	2.95 (0.63)	2.88 (0.69)	3.00 (0.60)



**Abbildung 32:** Change Detection ohne Filter: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei K-Max. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 33.)

**Tabelle 33:** Change Detection ohne Filter: Analyse von K-Max. 2\*2 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt (Prä/Post)\*Gruppe (Experimental-/akt. Kontrollgruppe)). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

<b>Change Detection – Ohne Filter: K-Max (Vergleich Experimental- und aktive Kontrollgruppe)</b>						
Effekte	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>1, 57</i>	<i>6.644</i>	<i>0.013</i>	<i>0.104</i>	<i>3.624</i>	<i>1.719</i>
Gruppe	1, 57	1.739	0.193	0.030	0.527	1.846
Testzeitpunkt* Gruppe	1,57	1.992	0.164	0.034	0.675	

### *Change Detection mit Filter*

Auch der in Tabelle 34 dargestellte Vergleich von Experimental- und aktiver Kontrollgruppe in der Change Detection Aufgabe mit Filter zeigte in einer 2\*2\*3 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt, Gruppe und Settypen (2 Stimuli, 4 Stimuli, Filter) keine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Testzeitpunkt oder Gruppe, Testzeitpunkt und Settypen. Signifikante Haupteffekte konnten auch hier nur für die Faktoren Settypen und Testzeitpunkt, nicht aber für Gruppe gezeigt werden. Eine grafische Darstellung der Interaktion ist in Abbildung 33 und die MW und SD sind in Tabelle 36 zu finden.

**Tabelle 34:** Change Detection mit Filter: Analyse des K-Wertes pro Settyp. 2\*2\*3 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt (Prä/Post)\*Gruppe (Experimental-/akt. Kontrollgruppe)\*Settyp (2 Stimuli, 4 Stimuli, Filter); AV: K pro Settyp). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

<b>Change Detection – Mit Filter (Vergleich Experimental- und aktive Kontrollgruppe)</b>							
Effekte	Greenhouse-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 57</i>	<i>4.951</i>	<i>0.030</i>	<i>0.080</i>	<i>0.328</i>	<i>0.996</i>
Gruppe	Nein	1, 57	0.428	0.516	0.007	0.170	0.990
<i>Settypen</i>	<i>Ja</i>	<i>1.327, 75.611</i>	<i>392.633</i>	<i>&lt;0.001</i>	<i>0.873</i>	<i>9.118·10<sup>82</sup></i>	<i>0.743</i>
Testzeitpunkt* Gruppe	Nein	1, 57	0.079	0.779	0.001	0.064	
Settypen* Gruppe	Ja	1.327, 75.611	0.228	0.703	0.004	0.034	
Testzeitpunkt* Settypen	Ja	1.286, 73.291	1.162	0.299	0.020	0.215	
Testzeitpunkt* Gruppe* Settypen	Ja	1.286, 73.291	0.122	0.891	0.002	4.272·10 <sup>-4</sup>	

Die Analyse des Unnötige-Speicherung-Maß in einer 2\*2 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt und Gruppe ergab, wie in Tabelle 35 dargestellt, keine

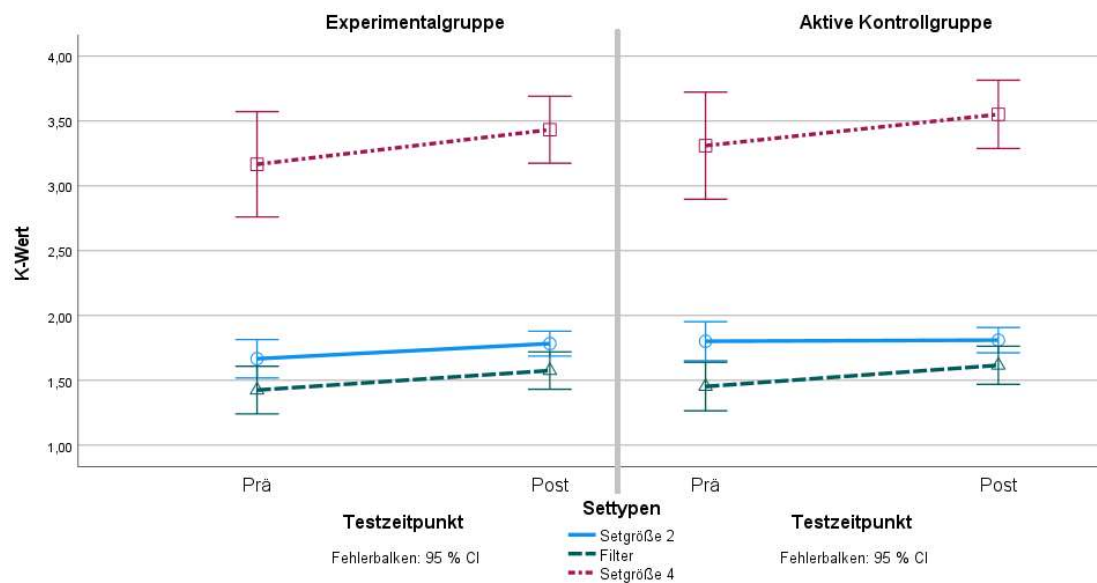
signifikanten Effekte. Eine grafische Darstellung ist in Abbildung 34 zu finden, MW und SD in Tabelle 36.

**Tabelle 35:** Change Detection mit Filter: Analyse der unnötigen Speicherung. Es konnten keine signifikanten Ergebnisse gezeigt werden.

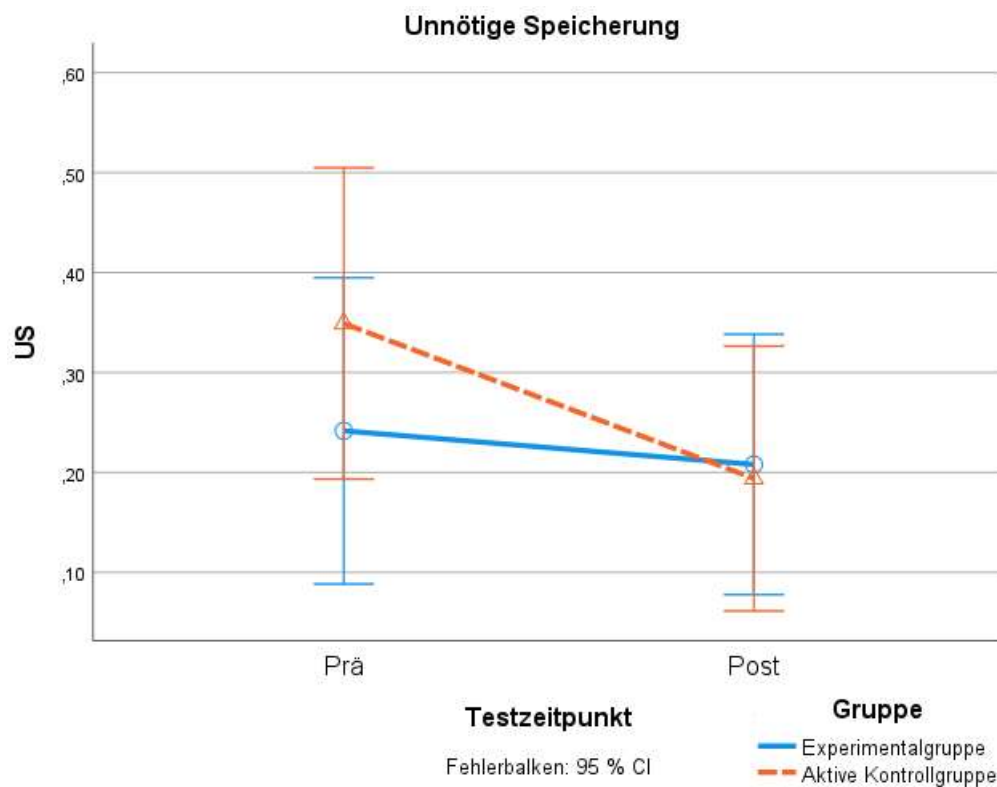
Change Detection – Mit Filter: Unnötige Speicherung (Vergleich Experimental- und aktive Kontrollgruppe)						
Effekte	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
Testzeitpunkt	1, 57	2.132	0.150	0.036	0.545	2.323
Gruppe	1, 57	0.359	0.551	0.006	0.286	2.398
Testzeitpunkt*	1, 57	0.883	0.351	0.015	0.116	
Gruppe						

**Tabelle 36:** Change Detection mit Filter: K-Werte der unterschiedlichen Settypen sowie der unnötigen Speicherung. Dargestellt sind MW und SD.

Settypen	Experimentalgruppe (N = 30)		Aktive Kontrollgruppe (N = 29)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>K Setgröße 2</b>	1.67 (0.49)	1.78 (0.27)	1.80 (0.29)	1.81 (0.26)
<b>K Filter</b>	1.43 (0.49)	1.57 (0.47)	1.45 (0.52)	1.62 (0.30)
<b>K Setgröße 4</b>	3.17 (1.26)	3.43 (0.82)	3.31 (0.93)	3.55 (0.57)
<b>Unnötige Speicherung</b>	0.24 (0.40)	0.21 (0.42)	0.35 (0.44)	0.19 (0.27)



**Abbildung 33:** Change Detection mit Filter: Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Settypen beim K-Wert. Im Settypen Filter wurden zwei Zielstimuli und zwei Distraktorstimuli dargeboten. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 34.)



**Abbildung 34:** Change Detection mit Filter: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei unnötiger Speicherung. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 35.)

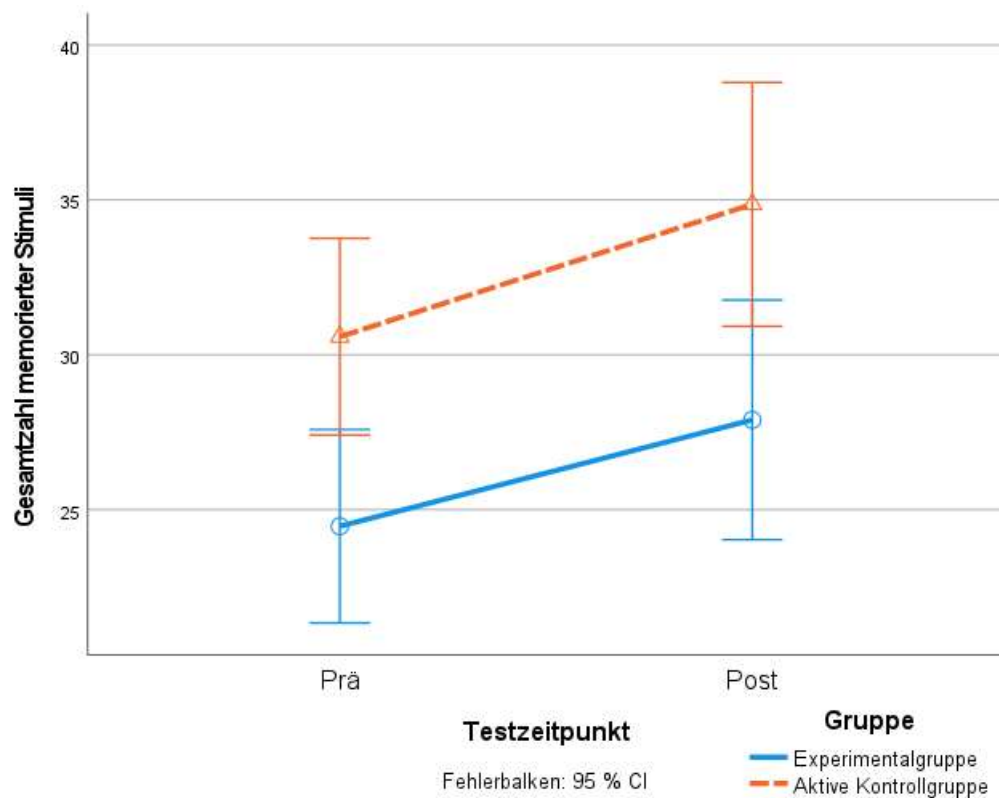
### 3.3.2.4 Assoziationsdefizithypothese: Paarassoziationslernen

Analysiert wurde die Gesamtzahl memorierter Stimuli. Diese unterschied sich schon im Prätest signifikant zwischen Experimental- und aktiver Kontrollgruppe ( $t(57) = -2.751$ ;  $p = 0.008$ ; Cohens  $d = -0.716$ ;  $B_{10} = 5.669$  (Fehler:  $6.764 \cdot 10^{-7}$ )).

Der Vergleich der Experimentalgruppe (Prä: MW: 24.47 (SD: 7.18); Post: MW: 27.9 (SD: 10.16)) mit der aktiven Kontrollgruppe (Prä: MW: 30.59 (SD: 9.75); Post: MW: 34.86 (SD: 11.01)) in Bezug auf die Gesamtzahl erinnerter Stimuli mittels einer 2\*2 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt\*Gruppe) zeigte, wie in Tabelle 37 dargestellt, keine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Testzeitpunkt. Nur die Haupteffekte für Testzeitpunkt und Gruppe sprachen für  $H_1$ . Eine grafische Darstellung der analysierten Interaktion ist in Abbildung 35 zu finden.

**Tabelle 37:** Paarassoziationslernen: Analyse der maximal memorierten Stimuli. 2\*2 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt (Prä/Post) und Gruppe (Experimentalgruppe/aktive Kontrollgruppe). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

Effekte	PAL: Gesamtzahl memorierter Stimuli					
	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>1, 57</i>	<i>12.186</i>	<i>0.001</i>	<i>0.176</i>	<i>30.912</i>	<i>1.867</i>
<i>Gruppe</i>	<i>1, 57</i>	<i>8.466</i>	<i>0.005</i>	<i>0.129</i>	<i>8.435</i>	<i>1.660</i>
Testzeitpunkt*	1, 57	0.146	0.704	0.003	0.933	
Gruppe						



**Abbildung 35:** Paarassoziationslernen: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei der Gesamtzahl memorierter Stimuli. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 37.)

Auch für die im Anhang A9 dargestellte Analyse der durchschnittlich memorierten Items pro Setgröße statt der Gesamtzahl erinnerter Stimuli zeigte eine 2\*2\*4 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Gruppe\*Testzeitpunkt\*Setgröße keine signifikante Interaktion zwischen Gruppe, Testzeitpunkt und Setgröße.

### 3.3.2.5 Assoziationsdefizithypothese: Assoziativer Rekognitionstest

Es wurde das PR-Maß, also die Differenz von Trefferrate zu Fehlalarmrate analysiert.

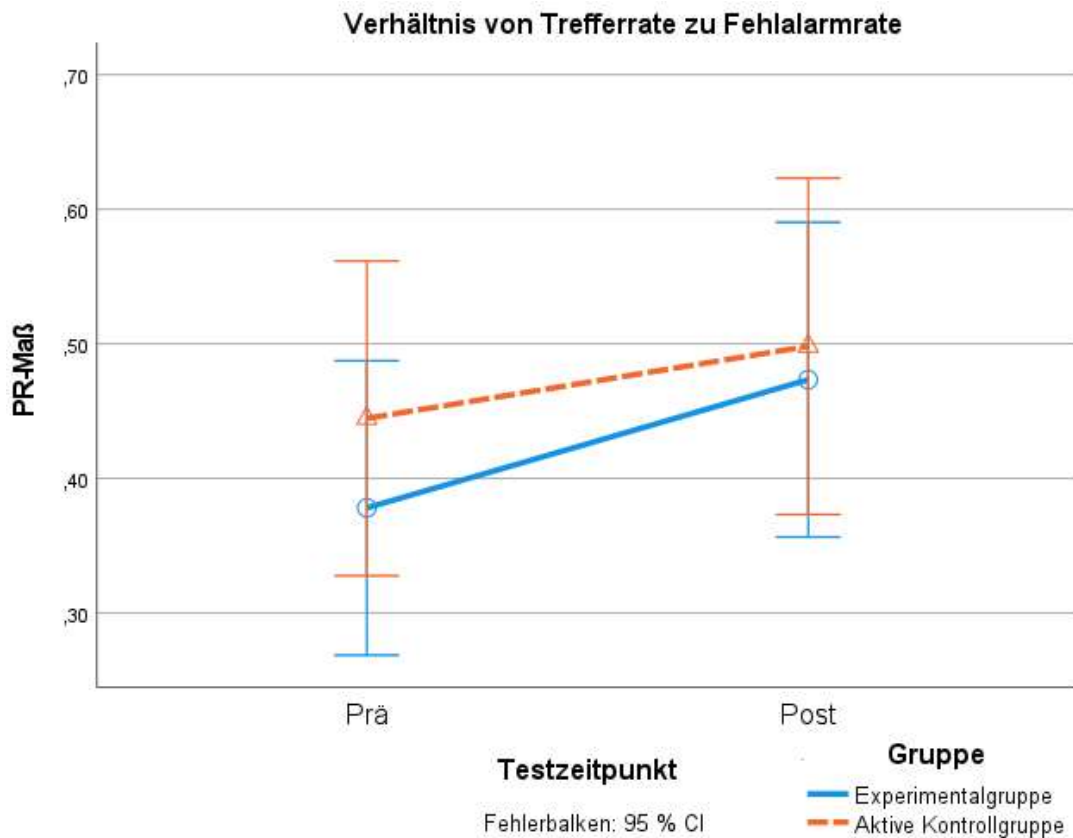
Im Prätest gab es keinen Unterschied zwischen den zwei Gruppen ( $t(58) = -0.832$ ;  $p = 0.409$ ; Cohens  $d = -0.215$ ;  $B_{10} = 0.351$  (Fehler: 0.010)).

Der in Abbildung 36 grafisch dargestellte Vergleich zwischen Experimentalgruppe ( $N = 32$ , Prä: MW: 0.38 (SD: 0.26); Post: MW: 0.47 (SD: 0.36)) und aktiver Kontrollgruppe ( $N = 28$ ; Prä: MW: 0.45 (SD: 0.36); Post: MW: 0.50 (SD: 0.29)) zeigte in einer 2\*2 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt und Gruppe und der Differenz von Treffern zu Fehlalarmen (PR-Maß) als AV keinen signifikanten Haupteffekt für Testzeitpunkt oder Gruppe und auch keine signifikante Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe. Die Ergebnisse sind in Tabelle 38 dargestellt.

**Tabelle 38:** Assoziativer Rekognitionstest: Analyse des PR-Maßes. 2\*2 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt (Prä/Post) und Gruppe (Experimentalgruppe/aktive Kontrollgruppe). Es konnten keine signifikanten Ergebnisse gezeigt werden.

ARK (PR-Maß) (Vergleich Experimental- und aktive Kontrollgruppe)						
Effekte	df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}/B_{inkl}$	Fehler (B <sub>10</sub> )
Testzeitpunkt	1, 58	1.299	0.259	0.022	0.496	5.966
Gruppe	1, 58	0.804	0.374	0.014	0.301	6.035
Testzeitpunkt* Gruppe	1, 58	0.102	0.750	0.002	0.069	

Wie von Campbell, Trelle und Hasher (2014) beschrieben, sind Effekte des Hyperbindens meist in der Fehlalarmrate zu finden, sodass diese auch untersucht wurde. In einer 2\*2 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt\*Gruppe) konnte keine unterschiedliche Entwicklung zwischen Experimentalgruppe (Prä: MW: 0.41 (SD: 0.25) Post: MW: 0.34 (SD: 0.30)) und aktiver Kontrollgruppe (Prä: MW: 0.386 (SD: 0.30) Post: MW: 0.28 (SD: 0.21)) gefunden werden ( $F(1, 58) = 0.111$ ;  $p = 0.740$ ;  $\eta_p^2 = 0.002$ ;  $B_{inkl} = 0.112$ ).



**Abbildung 36:** Assoziativer Rekognitionstest: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt beim PR-Maß. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 38.)

### 3.4 Zusammenfassung und Kurzinterpretation der Ergebnisse

Im nahen Transfer zeigte sich in der Analyse der Wechselkosten kein signifikanter Haupteffekt und keine Interaktion. Die anekdotische Evidenz für die  $H_0$  beim Testzeitpunkt der SC deutet darüber hinaus darauf hin, dass sich die Trainingserfolge in den SC wahrscheinlich nicht auf die SC im Transfertest transferierten. Die Analyse der Trialtypen zeigte jedoch, neben einem signifikanten Haupteffekt für Testzeitpunkt, eine stärkere Verbesserung der RT in der aktiven Kontrollgruppe vom Prä- zum Posttest.

Auch in den MC gab es vom Prä- zum Posttest keine Gruppenunterschiede. Es zeigte sich jedoch eine allgemeine Verbesserung der MC.

Im fernen Transfer im Stroop-Test zeigte sich kein Transfer auf den Stroop-Effekt in den RT, aber es wurde die Acc verbessert. Jedoch zeigte sich bei der Analyse der Trialtypen eine Verbesserung der RT und Acc vom Prä- zum Posttest.

Im ANT ergab sich kein Einfluss des Trainings auf die Aufmerksamkeitsnetzwerke. Die Analyse der Cue- und Flankertypen ergab jedoch einen signifikanten Haupteffekt

für Testzeitpunkt und eine Interaktion zwischen Testzeitpunkt, Cuetyphen und Flankertypen sowie Testzeitpunkt und Gruppe, wonach die aktive Kontrollgruppe stärkere Verbesserungen der RT zeigte als die Experimentalgruppe.

In den nicht reaktionszeitbezogenen Transfertests (Change Detection, PAL und assoziativer Rekognitionstest) konnten keine Gruppenunterschiede durch das Training gezeigt werden. Im PAL und Change Detection ohne Filter verbesserte sich in beiden Gruppen die Anzahl maximal memorierter Stimuli bzw. der K-Wert.

Zusammenfassend konnten die postulierten Hypothesen nicht bestätigt werden. Es konnte kein stärkerer Transfer durch die Experimentalgruppe gezeigt werden. Es zeigte sich jedoch eine stärkere Verbesserung der RT in der aktiven Kontrollgruppe verglichen mit der Experimentalgruppe, was ebenfalls dafürspricht, dass die Fähigkeit zum Aufgabenwechseln oder die möglicherweise darunterliegende Inhibitionsfähigkeit nicht transferiert werden konnten.

Der teilweise gezeigte Haupteffekt für Training oder Interaktionen unter Beteiligung des Testzeitpunktes ohne Gruppe deutet darauf hin, dass es einen Transfer durch das Training gegeben haben könnte. In den RT-fokussierten Aufgaben scheint dieser stärker bei der RT-fokussierten Kontrollgruppe als bei der Experimentalgruppe gewesen zu sein. Möglicherweise sprechen aber beide Trainingsparadigmen in gleichem Maße eine dem Aufgabenwechseln unterliegende Funktion an, sodass es statistisch keine Interaktionen zwischen den jeweils relevanten Merkmalen (z. B. SC oder Aufmerksamkeitsnetzwerke) und Testzeitpunkt und Gruppe geben konnte. Eine ausführlichere Diskussion der Ergebnisse ist in Kap. 6 zu finden.



## **4 Einbezug einer passiven Kontrollgruppe**

Um zu ermitteln, ob ein Aufgabenwechseltraining im Cued-TS einen nahen oder ferneren Transfer induzieren kann, wurde eine weitere, passive Kontrollgruppe erhoben.

### **4.1 Hypothesen unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe**

Es wurde vermutet, dass die passive Kontrollgruppe lediglich Retest- und eventuell Placeboeffekte zeigen wird, und die Trainingsgruppen Transfereffekte. Somit sollten die Trainingsgruppen im Vergleich zur passiven Kontrollgruppe signifikante Verbesserungen vom Prätest zum Posttest in den oben erhobenen kritischen und sekundären Testmerkmalen zeigen. Nach den Analysen der ersten Erhebung war es wahrscheinlich, dass die reaktionszeitfokussierte Gruppe einen Transfer der verbesserten Reaktionszeiten auf die reaktionszeitfokussierten Aufgaben zeigen wird. Da in dieser Arbeit jedoch nicht primär die Auswirkungen eines Trainings der Verarbeitungsgeschwindigkeit gezeigt werden sollten, wurden hierzu keine spezifischen Hypothesen formuliert.

*Die aktiven Gruppen sollten in den kritischen Werten der Testverfahren stärkere Veränderungen vom Prä- zum Posttest zeigen als die passive Kontrollgruppe.*

Wie in der ersten Erhebung sollte Evidenz für die Nullhypothese nach der Bayes-Analyse im Sinne keiner unterschiedlichen Entwicklungen in den Prä-Posttestmaßen zwischen den drei Gruppen, im Rahmen eines Expertiseaufbaus interpretierbar sein.

*Sollte nach der Bayes-Analyse statistische Evidenz für die Nullhypothese (keine unterschiedlichen Prätest-Posttestverbesserungen zwischen den drei Gruppen) vorliegen, so könnte dies auf einen Aufbau der aufgabenspezifischen Expertise hindeuten.*

### **4.2 Methode unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe**

Die nahezu passive Kontrollgruppe absolvierte nur den Prä- und den Posttest. Die Probanden wurden instruiert, zwischen den beiden Tests acht bis elf Tage Pause einzulegen, was der Bearbeitungszeit der Trainingsgruppen entsprach. Als „Cover-Story“ wurde den Versuchspersonen suggeriert, dass es in der Erhebung um die Auswirkungen des Wissens um Alterungsprozesse auf die kognitive Leistungsfähigkeit ginge. Dazu erhielten die Versuchspersonen eine kurze Psychoedukation zum kognitiven Altern. Die Probanden und Probandinnen lasen dazu einen vierseitigen Informationstext (A10) über die Neuropsychologie des Alterns. Die Versuchspersonen erhielten allgemeine Informationen zu kognitiven Alterungsprozessen. In diesem Text

wurde den Versuchspersonen suggeriert, dass das Wissen um Alterungsprozesse zu einer Verbesserung der kognitiven Leistungsfähigkeit führen könnte. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um eine verringerte Motivation im Prä- und Posttest im Vergleich zu den beiden aktiven Gruppen zu vermeiden, was möglicherweise zu negativen Transfereffekten hätte führen können. Diese hätten auftreten können, wenn die Versuchspersonen im Abstand weniger Tage die Prä- und Posttests durchführen sollten ohne eine zwischenzeitliche Intervention oder plausible Erklärung für die Prä-Posttestmessungen. Nach einer aktuellen Übersichtsarbeit und Metaanalyse (Bhome, Berry, Huntley & Howard, 2018) seien Studien zum Einfluss von Psychoedukation auf die kognitive Leistungsfähigkeit überwiegend methodisch von schlechter Qualität und einige würden auch Informationen zu Kompensationsstrategien geben. Die Daten der Metaanalyse würden jedoch darauf hindeuten, dass durch Psychoedukation zu kognitiven Veränderungen im höheren Lebensalter zwar eine Verbesserung der Stressbelastung während kognitiver Aufgaben, aber keine spezifische Verbesserung in exekutiven Funktionen erzielt werden konnte. Da Psychoedukation wahrscheinlich nicht zu spezifischen Verbesserungen führen kann und eher die Stressbelastung verbessert, sollten die hier angesprochenen kognitiven Funktionen nicht selektiv durch die Psychoedukation verbessert werden. Zudem wurde darauf geachtet, dass keine Kompensationsstrategien vorgestellt wurden und alterskorrelierte Abnahmen in der kognitiven Leistungsfähigkeit gleichgewichtet beschrieben wurden, um keine Effekte durch die Nutzung von Kompensationsstrategien oder den Fokus der Psychoedukation zu erzielen. Zudem wurde die Psychoedukation sehr kurz und oberflächlich gehalten. Es sollte also maximal ein Effekt einer verringerten Stressbelastung auf kognitive Leistungen während der Bearbeitung der Posttestmessungen auftreten. Dieser Effekt sollte jedoch unspezifisch sein und geringer ausfallen als Effekte durch das Training. Es könnten also alle drei Interventionen eher positive Auswirkungen auf das Leistungsniveau gehabt haben; statt eine negative Auswirkungen und zwei positive. Nach dem Posttest wurden die Probandinnen und Probanden dahingehend befragt, ob sie davon ausgingen, in einer Experimentalgruppe oder Kontrollgruppe teilgenommen zu haben und welche Effekte der Text auf sie gehabt habe. Sie wurden zudem darüber aufgeklärt, dass sie in einer Kontrollgruppe an der Studie teilgenommen hatten. Die Versuchspersonen erhielten für ihre Teilnahme, wie in der Erhebung der Trainingsgruppen, keine Entlohnung, sodass sie intrinsisch für die Teilnahme an der Studie motiviert gewesen sein sollten.

Die Datenerhebung wurde von Februar 2020 bis Juli 2021 durchgeführt. Aufgrund der Corona-Pandemie wurde ein Großteil der Datenerhebung online durchgeführt. Entweder luden die nicht persönlich kontaktierten Probandinnen und Probanden die benötigten Programme über eine Google Dropbox herunter oder bearbeiteten die Programme online über E-Prime Go v.1.0 (Psychology Software Tools, Inc., 2020). Für die Verwendung in E-Prime Go v.1.0 wurden die ursprünglich in E-Prime 2.0 erstellten Programme in E-Prime 3.0 (Psychology Software Tools, Inc., 2016) konvertiert. Aufgrund der geänderten Erhebungsmethodik bestand im Gegensatz zur ersten Erhebung oft kein persönlicher Kontakt zu den Versuchsteilnehmenden.

Um zu ermitteln, ob Versuchspersonen eventuell ihre RT zu Gunsten der Acc veränderten, wurde bei Reaktionszeitaufgaben (Cued-TS-Transfertest; Stroop-Test) und für das Training auch der Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich („Speed-Accuracy Trade-Off“) über den „Inverse Efficiency Score“ (IES) (Townsend & Ashby, 1978; 2014) errechnet:  $(IES = RT / 1-PE)$  (RT = durchschnittliche korrekte Reaktionszeit; PE = Fehleranteil). Andere gängige Maße wären der „rate correct score“ oder „Binning measures“. Über Maße zur Ermittlung eines Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleiches berichtet beispielsweise Vandierendonck (2017). Für diese Studie scheint der IES am besten geeignet, da andere Maße wie der „Rate correct score“ die Anzahl korrekter Antworten pro Sekunde berücksichtigen. Da die Geschwindigkeitstrainingsgruppe aber gezwungen ist, schneller zu reagieren, würde das Ergebnisse in der Trainingsanalyse verfälschen. Die Ergebnisse der IES-Analysen finden sich tabellarisch im Anhang (A15 – A17) und brachten keinen weiteren Aufschluss über Trainingseffekte.

#### **4.2.1 Stichprobe der passiven Kontrollgruppe und Datenerhebung**

Die passive Kontrollgruppe wurde, wie auch die beiden aktiven Gruppen, über die Auslage von Flyern, persönliche Ansprache, Ansprache in sozialen Netzwerken sowie Zeitungsanzeigen rekrutiert. Es nahmen 46 Versuchspersonen (m: 20; w: 26) in der passiven Kontrollgruppe teil. Das durchschnittliche Alter betrug 66.78 Jahre (SD: 4.71; Min: 59; Max: 81). Die drei Gruppen unterschieden sich weiterhin nicht in Bezug auf das Alter ( $F(2, 104) = 0.539$ ;  $p = 0.585$ ;  $\eta_p^2 = 0.010$ ) oder das Geschlecht ( $\chi^2(2) = 0.193$ ;  $p = 0.908$ ). Beruflich konnten acht Versuchspersonen dem Bereich Bildung, 21 dem Bereich Technik, Naturwissenschaften oder Medizin und 14 dem wirtschaftlichen Bereich zugeordnet werden. Drei Probandinnen konnten nicht zugeordnet werden. Auch hier unterschieden sich die drei Gruppen nicht signifikant ( $\chi^2(6) = 6.922$ ;  $p =$

0.328). Auch in der passiven Kontrollgruppe wurden alle Versuchspersonen daraufhin exploriert, ob sie klinisch-neuropsychologische Defizite z. B. durch Gehirnverletzungen haben könnten und in diesem Falle von der Studie ausgeschlossen. Alle Versuchspersonen wiesen eine normale oder normalisierte Sehschärfe auf. Auch hier berichteten die meisten Versuchspersonen im Vorfeld davon, Abnahmen kognitiver Funktionen bemerkt zu haben.

Möglicherweise aufgrund der Corona-Pandemie verzögerte sich die Datenerhebung erheblich, sodass die ursprünglich geplanten 60 Probanden nicht erhoben werden konnten und zu einem Stichtag im Juli 2021 die Datenerhebung beendet wurde.

#### **4.2.2 Statistische Datenanalyse unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe**

Die statistische Datenanalyse unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe unterschied sich nicht von derjenigen der zwei aktiven Gruppen. Es wurden in der Regel wieder Mixed-Model-ANOVAS mit den Innersubjektfaktoren Testzeitpunkt (Prätest und Posttest) sowie testspezifischen Faktoren und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (Experimentalgruppe, aktive Kontrollgruppe und passive Kontrollgruppe) berechnet.

#### **4.3 Ergebnisse unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe**

Zunächst sollten die beiden Trainingsgruppen zu einer Gruppe „Training“ zusammengefasst und mit der passiven Kontrollgruppe verglichen werden. Bei explorativen Analysen zeigten sich jedoch teilweise Gruppenunterschiede im Vergleich der passiven mit der aktiven Kontrollgruppe, jedoch nicht mit der Experimentalgruppe. Diese Unterschiede wären bei einer Zusammenfassung der beiden Trainingsgruppen nicht zu zeigen gewesen. Aus diesem Grunde wurden die beiden Trainingsgruppen hier nicht zusammengefasst und es wurde nur der Vergleich zwischen den drei Gruppen berichtet. Die Effektstärken Cohens  $d$  zur Erfassung eines Unterschiedes zwischen Trainingssitzung eins und zwölf bzw. Prä- und Posttest finden sich in Anhang A4. Es wurden dort immer alle Effektstärken berichtet, unabhängig von der Signifikanz des Effektes.

##### **4.3.1 Placebokontrolle bei der passiven Kontrollgruppe**

Aufgrund des ausschließlichen Onlineformats in der Erhebung der passiven Kontrollgruppe war die Erfragung der Placebokontrolle hier schwieriger und es konnten lediglich 32 Versuchspersonen zu ihrer Vermutung befragt werden, ob sie in der

Kontrollgruppe teilgenommen hätten. 15 Versuchspersonen gaben an, nach der Lektüre des Textes im Posttest weniger angespannt gewesen zu sein als im Prätest, und deswegen nicht geglaubt zu haben, in einer Kontrollgruppe teilgenommen zu haben. Weniger angespannt zu sein habe dazu geführt, im Posttest bessere Leistungen gezeigt zu haben. Sie vermuteten tatsächlich, dass es sich bei ihrer Erhebung um die Auswirkungen des Wissens um kognitive Alterungsprozesse gehandelt habe. Von den übrigen 17 Versuchspersonen gaben sieben an, vermutet zu haben, in einer Kontrollgruppe teilgenommen zu haben und zehn waren sich diesbezüglich unsicher. Keiner dieser insgesamt 17 Probanden berichtete, im Posttest weniger angespannt gewesen zu sein als im Prätest.

#### 4.3.2 Analyse des nahen Transfers – Aufgabenwechsel unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe

Im Prätest unterschieden sich die drei Gruppen in der Acc der Wiederholungstrials voneinander (Experimentalgruppe - passive Kontrollgruppe:  $p = 0.015$ ; Cohens  $d = -0.571$ ;  $B_{10} = 3.223$  (Fehler: 0.008); aktive und passive Kontrollgruppe:  $p = 0.820$ ; Cohens  $d = -0.054$ ;  $B_{10} = 0.250$  (Fehler: 0.014)). In allen anderen Variablen zeigten sich keine Unterschiede. Die Ergebnisse der Prätestvergleiche sind in Tabelle 39 zu finden.

**Tabelle 39:** Cued-TS-Transfertest (3 Gruppen): Vergleich der kritischen Faktoren im Prätest. Im Prätest gab es keine Gruppenunterschiede.

ANOVA: Vergleiche aller drei Gruppen im Prätest						
	df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}$	Fehler ( $B_{10}$ )
Wiederholungstrials (RT)	2, 106	0.253	0.777	0.005	0.109	0.025
Wechseltrials (RT)	2, 106	0.165	0.848	0.003	0.102	0.025
Wechselkosten (RT)	2, 106	0.017	0.983	0.000	0.090	0.024
Wiederholungstrials (Acc)	2, 106	3.839	0.025	0.069	1.932	0.025
Wechseltrials (Acc)	2, 106	1.893	0.172	0.033	0.372	0.032
Wechselkosten (Acc)	2, 106	1.232	0.296	0.023	0.243	0.029
Wiederholungsblock (RT)	2, 106	2.194	0.117	0.040	0.538	0.033
Mixingkosten (RT)	2, 106	1.041	0.357	0.020	0.207	0.028
Wiederholungsblock (Acc)	2, 106	0.963	0.385	0.018	0.197	0.027
Mixingkosten (Acc)	2, 106	2.119	0.125	0.039	0.479	0.031

In einer 2\*2\*3 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt\*Trialtypen\*Gruppe) wurden die Trainingseffekte auf die drei Gruppen analysiert. Auch hier entspricht die Interaktion von Testzeitpunkt, Trialtypen und Gruppe einer Interaktion von Gruppe und Trialtypen aus der Analyse der SC bzw. MC und die Interaktion von Testzeitpunkt und Trialtypen dem Haupteffekt Testzeitpunkt. Die Bayes-Analysen unterschieden

sich in ihrer Interpretation nicht zwischen SC- und Trialtypen-Analyse. Die deskriptiven Statistiken (MW und SD) zur passiven Kontrollgruppe sind in Tabelle 40 zu finden. Abbildungen zu den SC und MC sind in Anhang A11 dargestellt.

Wie in Tabelle 41 zu sehen, wurde unter Hinzunahme der passiven Kontrollgruppe in die Analyse der RT nun auch in der frequentistischen Analyse die Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe signifikant. Die deskriptiven Daten sind in Abbildung 37 grafisch dargestellt. Post-hoc-Vergleiche zeigten, dass die bei drei Gruppen signifikante Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe in einer 2\*2\*2 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt\*Trialtypen\*Experimental- und passive Kontrollgruppe) nicht signifikant wurde ( $F(1, 76) = 0.698$ ;  $p = 0.406$ ;  $\eta_p^2 = 0.009$ ;  $B_{inkl} = 0.313$ ). Die signifikanten Gruppenunterschiede beim Vergleich der drei Gruppen bezogen sich auf den Vergleich der beiden Kontrollgruppen ( $F(1, 73) = 7.937$ ;  $p = 0.006$ ;  $\eta_p^2 = 0.098$ ;  $B_{inkl} = 1.114$ ). Die aktive Kontrollgruppe verbesserte sich in der RT stärker als die anderen beiden Gruppen.

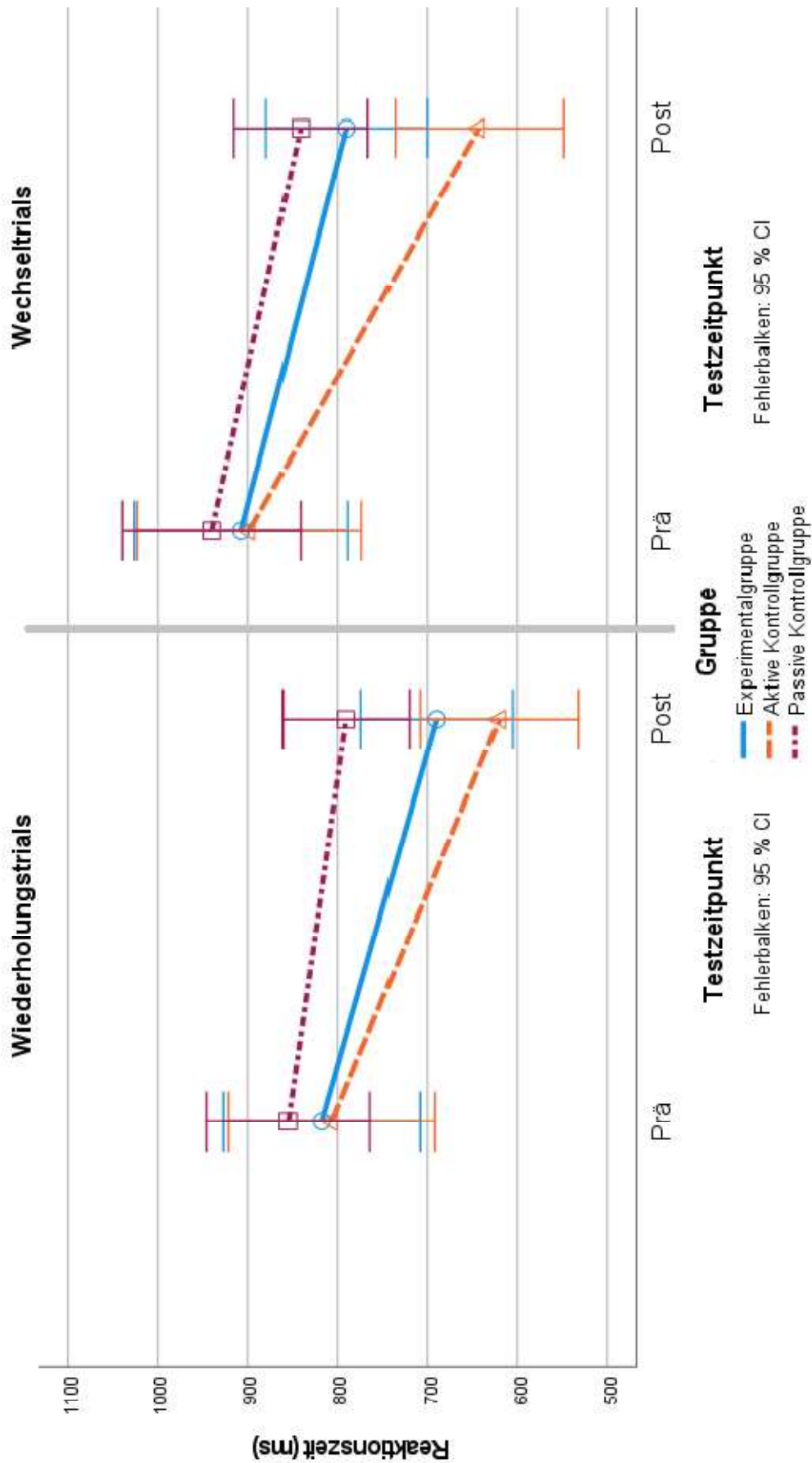
Die Interaktion aus Trialtypen, Gruppe und Testzeitpunkt wurde im Vergleich der drei Gruppen weiterhin nicht signifikant, was dafür spricht, dass das Training keinen Einfluss auf die SC hatte.

**Tabelle 40:** Cued-TS-Transfertest: Reaktionszeiten der passiven Kontrollgruppe nach den Trialtypen.

<b>Reaktionszeiten (ms) bei den Trialtypen</b>		
<b>Trialtypen</b>	<i>Passive Kontrollgruppe</i>	
	<i>(N = 46)</i>	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>Wiederholung</b>	855 (340)	791 (278)
<b>Wechsel</b>	941 (365)	841 (287)

**Tabelle 41:** Analyse des Cued-TS-Transfertests (AV: RT) bei drei Gruppen. 2\*3\*2 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt (Prä, Post)\*Gruppe (Experimental-, aktive und passive Kontrollgruppe)\*Trialtypen (Wiederholung, Wechsel)). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

<b>Analyse der Wiederholungs- und Wechsel-Trials – RT</b>						
<b>Effekt</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b><math>B_{10}/B_{inkl}</math></b>	<b>Fehler (<math>B_{10}</math>)</b>
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>1, 59</b>	<b>47.754</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.315</b>	<b>5.999·10<sup>14</sup></b>	<b>2.972</b>
Gruppe	1, 59	1.723	0.184	0.032	0.563	0.669
<b>Trialtypen</b>	<b>1, 59</b>	<b>60.901</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.369</b>	<b>2802.715</b>	<b>2.934</b>
<b>Testzeitpunkt*Gruppe</b>	<b>1, 59</b>	<b>4.028</b>	<b>0.021</b>	<b>0.072</b>	<b>96.691</b>	
Testzeitpunkt*Trialtypen	1, 59	3.809	0.054	0.035	0.608	
Gruppe*Trialtypen	1, 59	1.326	0.270	0.025	0.192	
Testzeitpunkt*	1, 59	1.878	0.158	0.035	0.059	
Trialtypen*Gruppe						



**Abbildung 37:** Cued-TS-Transfertest: Reaktionszeit in den Wiederholungs- und Wechselstrials der drei Gruppen. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 41.)

In der in Tabelle 42 dargestellten Analyse der Acc unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe gab der Bayes-Faktor für die Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe substantielle Belege für  $H_1$ . Die deskriptiven Statistiken (MW und SD) zur passiven Kontrollgruppe sind in Tabelle 43 zu finden. Eine grafische Darstellung der Analyse wird in Abbildung 38 gegeben.

**Tabelle 42:** Analyse des Cued-TS-Transfertests (AV: Acc) bei drei Gruppen. 2\*2\*3 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt (Prä, Post)\*Trialtypen (Wiederholung, Wechsel)\* Gruppe (Experimental-, aktive und passive Kontrollgruppe)). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

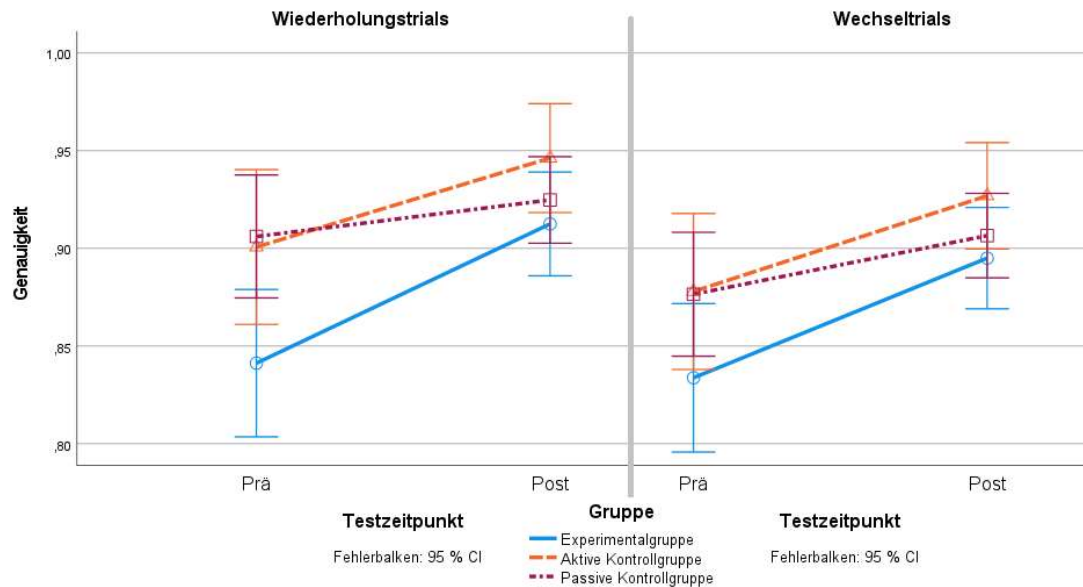
<b>Analyse der Wiederholungs- und Wechseltrials - Genauigkeit</b>						
<b>Effekt</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b>B<sub>10</sub>/B<sub>inkl</sub></b>	<b>Fehler (B<sub>10</sub>)</b>
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>1, 59</b>	<b>28.643</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.216</b>	<b>1.656·10<sup>9</sup></b>	<b>2.587</b>
Gruppe	1, 59	2.675	0.074	0.049	0.844	2.977
<b>Trialtypen</b>	<b>1, 59</b>	<b>23.278</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.183</b>	<b>10.622</b>	<b>2.755</b>
<b>Testzeitpunkt*Gruppe</b>	<b>1, 59</b>	<b>2.230</b>	<b>0.113</b>	<b>0.041</b>	<b>3.075</b>	
Testzeitpunkt*Trialtypen	1, 59	0.036	0.849	0.000	0.317	
Gruppe*Trialtypen	1, 59	0.780	0.461	0.015	0.113	
Testzeitpunkt*Trialtypen*Gruppe	1, 59	0.605	0.548	0.012	0.013	

Die frequentistische Analyse der Acc zeigte jedoch weiterhin keinen statistisch signifikanten Gruppenunterschied. Post-hoc-Analysen (2\*2\*2 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt\*Gruppe\*Trialtypen) zur Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe gaben für den Vergleich der beiden Kontrollgruppen anekdotische Evidenz für  $H_0$  ( $F(1, 73) = 1.318$ ;  $p = 0.255$ ;  $\eta_p^2 = 0.018$ ;  $B_{inkl} = 0.331$ ), aber starke Belege für  $H_1$  für den Vergleich von Experimentalgruppe mit passiver Kontrollgruppe ( $F(1, 76) = 4.455$ ;  $p = 0.038$ ;  $\eta_p^2 = 0.055$ ;  $B_{inkl} = 11.934$ ). Wie oben beschrieben, lieferte der Vergleich von Experimental- und aktiver Kontrollgruppe anekdotische Belege für die  $H_0$ . Der Unterschied zwischen Experimentalgruppe und passiver Kontrollgruppe könnte in den Prätestunterschieden begründet sein.

**Tabelle 43:** Cued-TS-Transfertest: Genauigkeit der passiven Kontrollgruppe nach den Trialtypen.

<b>Genauigkeit bei den Trialtypen</b>		
<b>Trialtypen</b>	<b>Passive Kontrollgruppe (N = 46)</b>	
	<b>Prä (MW (SD))</b>	<b>Post (MW (SD))</b>
<b>Wiederholungstrials</b>	0.90 (0.11)	0.92 (0.08)
<b>Wechseltrials</b>	0.88 (0.10)	0.91 (0.08)





**Abbildung 38:** Cued-TS-Transfertest: Genauigkeit in den Wiederholungs- und Wechseltrials der drei Gruppen. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 42.)

Neben den SC wurden auch hier die MC analysiert. Die in Tabelle 44 dargestellte Analyse der Wiederholungstrials und Wiederholungsblöcke unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe zur Analyse der MC zeigte signifikante Haupteffekte für Testzeitpunkt und Blocktypen, jedoch keinen signifikanten Effekt für Gruppe. Eine grafische Darstellung der Interaktion unter Einbezug der Blöcke ist in Abbildung 39 zu sehen. Exaktere MW und SD der passiven Kontrollgruppe finden sich in Tabelle 45. Es zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe in den RT, aber nicht für die Acc. Post-hoc-Analysen zeigten, dass diese Interaktion für den Vergleich von Experimental- und passiver Kontrollgruppe nicht signifikant wurde ( $F(1, 76) = 0.817$ ;  $p = 0.369$ ;  $\eta_p^2 = 0.011$ ;  $B_{inkl} = 0.314$ ) und  $B_{inkl}$  für  $H_0$  sprach. Für den Vergleich der beiden aktiven Gruppen (s. o.) und den Vergleich der beiden Kontrollgruppen ( $F(1, 73) = 6.805$ ;  $p = 0.011$ ;  $\eta_p^2 = 0.085$ ;  $B_{inkl} = 27.980$ ) zeigten sich eine signifikante Interaktion und starke Belege für  $H_1$ . In beiden Fällen zeigte die aktive Kontrollgruppe stärkere Verbesserungen der RT als die Experimental- bzw. passive Kontrollgruppe. Die MC schienen sich also nicht vom Prä- zum Posttest zwischen den drei Gruppen unterschiedlich zu entwickeln. Die RT schien sich jedoch in der aktiven Kontrollgruppe stärker zu entwickeln als in den anderen beiden Gruppen.

**Tabelle 44:** Cued-TS-Transfertest: Analyse der Wiederholungsblöcke und Wiederholungstrials (RT und Acc). Analyse mittels einer 2\*2\*2 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt (Prä/Post)\*Blocktypen (Wiederholungsblock/Wiederholungstrials)\*Gruppe (Experimental-/aktive und passive Kontrollgruppe)). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

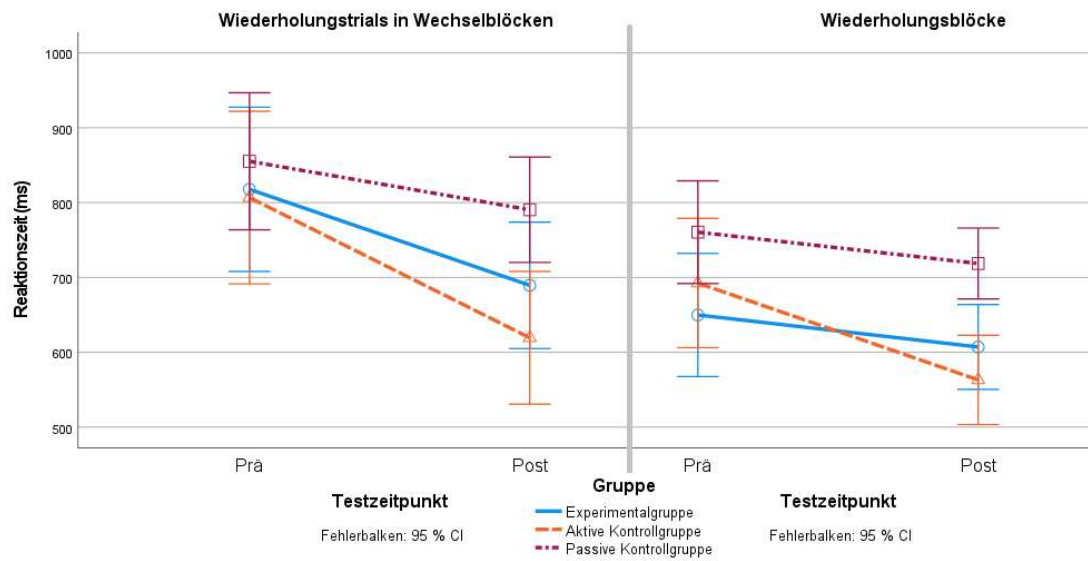
Effekt	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<b>Analyse der Wiederholungsblöcke und Wiederholungstrials - Reaktionszeit</b>						
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>1, 104</i>	<i>39.347</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.274</i>	<i>1.846·10<sup>6</sup></i>	<i>2.710</i>
Gruppe	2, 104	3.085	0.050	0.056	1.334	2.936
<i>Blocktypen</i>	<i>1, 104</i>	<i>36.552</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.260</i>	<i>1.310·10<sup>7</sup></i>	<i>2.701</i>
<i>Testzeitpunkt*Gruppe</i>	<i>2, 104</i>	<i>3.858</i>	<i>0.024</i>	<i>0.069</i>	<i>3.813</i>	
<i>Testzeitpunkt*Blocktypen</i>	<i>1, 104</i>	<i>7.420</i>	<i>0.008</i>	<i>0.067</i>	<i>1.523</i>	
Gruppe*Blocktypen	2, 104	0.704	0.497	0.013	0.208	
Testzeitpunkt*Blocktypen*Gruppe	2, 104	0.892	0.413	0.017	0.079	
<b>Analyse der Wiederholungsblöcke und Wiederholungstrials - Genauigkeit</b>						
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>1, 104</i>	<i>16.447</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.137</i>	<i>194.626</i>	<i>2.683</i>
Gruppe	2, 104	2.188	0.117	0.040	0.391	3.354
<i>Blocktypen</i>	<i>1, 104</i>	<i>41.216</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.284</i>	<i>1.669·10<sup>7</sup></i>	<i>2.539</i>
Testzeitpunkt*Gruppe	2, 104	2.401	0.096	0.044	0.673	
<i>Testzeitpunkt*Blocktypen</i>	<i>1, 104</i>	<i>6.799</i>	<i>0.010</i>	<i>0.061</i>	<i>2.312</i>	
Gruppe*Blocktypen	2, 104	2.681	0.073	0.049	0.528	
Testzeitpunkt*Blocktypen*Gruppe	2, 104	0.639	0.530	0.012	0.115	

**Tabelle 45:** Cued-TS-Transfertest: Reaktionszeit und Genauigkeit in Wiederholungsblöcken und Wiederholungstrials der passiven Kontrollgruppe. Aufgeführt sind die Mittelwerte der beiden Gruppen sowie deren Standardabweichung.

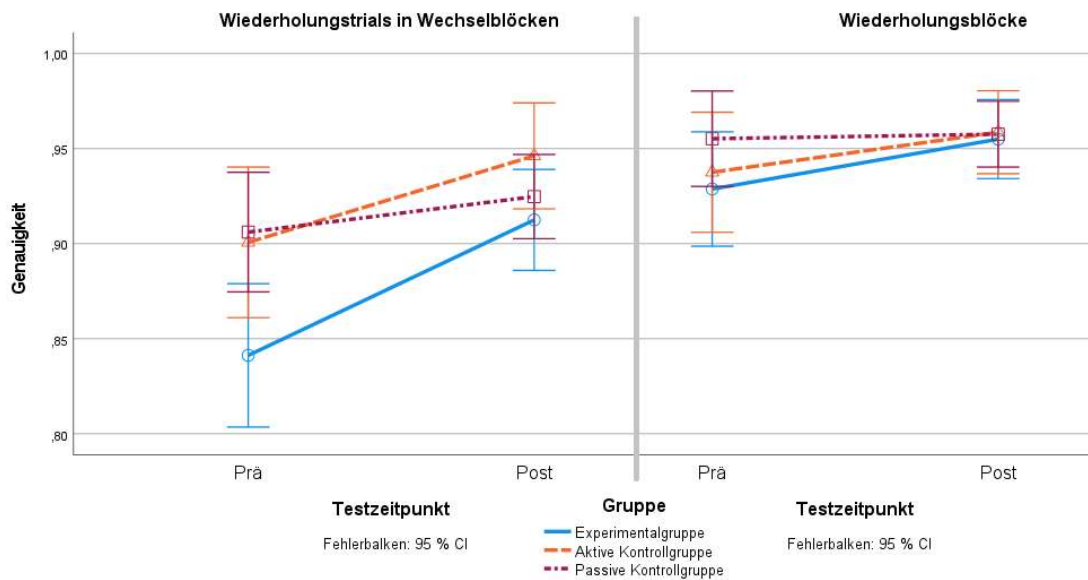
Blocktypen	Passive Kontrollgruppe (N = 46)	
	Reaktionszeit (ms) bei den Blocktypen	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
Wiederholungstrials	855 (340)	791 (278)
Wiederholungsblöcke	761 (291)	719 (206)
	Genauigkeit bei den Blocktypen	
Wiederholungstrials	0.91 (0.11)	0.92 (0.08)
Wiederholungsblöcke	0.96 (0.05)	0.96 (0.06)

Für Wechsel- und Mixingkosten sowie Trial- und Blocktypen wurde zudem der „Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich“ analysiert. Dies brachte keine weiteren Erkenntnisse (siehe Anhang A16).

a)



b)



**Abbildung 39:** Cued-TS-Transfertest: Reaktionszeit und Genauigkeit in den Wiederholungsblöcken und Wiederholungstrials unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. A) RT; b): Acc. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Ergebnisse siehe Tabelle 44.)

Die Analyse des nahen Transfers unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe zeigte, dass sich das Training der Experimentalgruppe nicht unterschiedlich auf die Prä-Posttestmessungen zwischen passiver Kontrollgruppe und Experimentalgruppe auswirkte. Das Training der aktiven Kontrollgruppe schien sich jedoch auf die Prä-Posttestleistung der aktiven Kontrollgruppe im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen auszuwirken. Bei ersterer verbesserte sich die RT stärker als bei den anderen beiden Gruppen. Eine Prä-Posttestverbesserung der SC oder MC konnte nicht gezeigt werden.

### 4.3.3 Stroop-Test unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe

Wie Tabelle 46 zu entnehmen, unterschieden sich die drei Gruppen bereits im Prätest signifikant. Die Gruppenunterschiede bezogen sich im Vergleich von Experimental- mit passiver Kontrollgruppe auf: RT inkongruent ( $p = 0.020$ ;  $B_{10} = 2.609$  (Fehler: 0.009)) und kongruent ( $p = 0.015$ ;  $B_{10} = 3.236$  (Fehler: 0.008)), Acc kongruent ( $p = 0.054$ ;  $B_{10} = 1.233$  (Fehler: 0.010)) und IES kongruent ( $p = 0.012$ ;  $B_{10} = 1.198$  (Fehler: 0.010)). Die beiden Kontrollgruppen unterschieden sich im Prätest nur in der RT der inkongruenten Trials ( $p = 0.030$ ;  $B_{10} = 1.962$  (Fehler: 0.009)) signifikant. In allen Vergleichen war die passive Kontrollgruppe langsamer oder ungenauer als die jeweilige Vergleichsgruppe.

**Tabelle 46:** Stroop-Test: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest (3 Gruppen). Erläuterungen siehe Text.

ANOVAs - Vergleiche aller drei Gruppen im Prätest						
	df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}$	Fehler ( $B_{10}$ )
Inkongruent (RT)	2, 100	4.140	0.019	0.078	2.687	0.026
Kongruent (RT)	2, 100	3.515	0.034	0.067	1.636	0.023
Stroop-Effekt (RT)	2, 100	2.076	0.131	0.041	0.467	0.037
Inkongruent (Acc)	2, 100	0.382	0.684	0.008	0.128	0.025
Kongruent (Acc)	2, 100	3.084	0.050	0.059	1.156	0.022
Stroop-Effekt (Acc)	2, 100	1.047	0.355	0.021	0.222	0.028
Inkongruent (IES)	2, 100	3.016	0.054	0.058	1.093	0.022
Kongruent (IES)	2, 100	4.279	0.017	0.080	3.017	0.026
Stroop-Effekt (IES)	2, 100	0.383	0.683	0.008	0.127	0.026

In einer  $2 \times 2 \times 3$  Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt\*Trialtypen\*Gruppe) wurde der Einfluss des Trainings auf die Trialtypen bei den drei Gruppen und somit auf den Stroop-Effekt ermittelt. Wie bisher entspricht in der frequentistischen Analyse die Interaktion von Testzeitpunkt, Trialtypen und Gruppe der Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe im Stroop-Effekt und die Interaktion von Testzeitpunkt und Trialtypen dem Haupteffekt Testzeitpunkt. Grafische Abbildungen zum Stroop-Effekt und Tabellen zur exakteren Darstellung von MW und SD sind in Anhang A12 zu finden. Abweichende Bayes-Faktoren zwischen der Analyse des Stroop-Effektes und der Trialtypen wurden im Fließtext berichtet.

Die in Abbildung 40 dargestellte Analyse der Trialtypen zeigte unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe keine veränderten Ergebnisse in Bezug auf die frequentistische Statistik. MW und SD der passiven Kontrollgruppe sind in Tabelle 47 dargestellt.

**Tabelle 47:** Stroop-Test: Reaktionszeiten und Genauigkeiten der Trialtypen bei der passiven Kontrollgruppe. Angegeben werden MW und SD im Prä- und Posttest.

Stroop-Test - Trialtypen		
Trialtypen	Passive Kontrollgruppe (N = 45)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
	<b>Reaktionszeit (ms)</b>	
<b>Inkongruent</b>	944 (264)	891 (227)
<b>Kongruent</b>	860 (262)	849 (218)
	<b>Genauigkeit</b>	
<b>Inkongruent</b>	0.84 (0.17)	0.89 (0.10)
<b>Kongruent</b>	0.89 (0.14)	0.93 (0.10)

Wie Tabelle 48 zu entnehmen, deutete nun die Bayes-Analyse für die Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei den RT auf substantielle Belege für  $H_1$  hin.

**Tabelle 48:** Stroop-Test: Analyse der Trialtypen unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe.  $2 \times 2 \times 3$  (Testzeitpunkt\*Trialtypen\*Gruppe) Mixed-Model-ANOVA. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

Stroop-Test - Trialtypen - Reaktionszeit						
Effekte	df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}/B_{inkl}$	Fehler ( $B_{10}$ )
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>1, 98</b>	<b>17.449</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.151</b>	<b>104484.898</b>	<b>3.289</b>
<b>Trialtypen</b>	<b>1, 98</b>	<b>101.898</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.510</b>	<b>1.344·10<sup>7</sup></b>	<b>3.290</b>
<b>Gruppe</b>	<b>2, 98</b>	<b>6.570</b>	<b>0.002</b>	<b>0.118</b>	<b>21.160</b>	<b>3.195</b>
Testzeitpunkt*Trialtypen	1, 98	3.547	0.063	0.035	0.665	
<b>Testzeitpunkt*Gruppe</b>	<b>2, 98</b>	<b>1.893</b>	<b>0.156</b>	<b>0.037</b>	<b>4.505</b>	
Trialtypen*Gruppe	1, 98	2.535	0.084	0.049	0.290	
Testzeitpunkt*	2, 98	1.703	0.187	0.034	0.065	
Trialtypen*Gruppe						

Stroop-Test - Trialtypen - Genauigkeit						
Effekte	df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}/B_{inkl}$	Fehler ( $B_{10}$ )
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>1, 98</b>	<b>17.210</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.149</b>	<b>28792.313</b>	<b>2.471</b>
<b>Trialtypen</b>	<b>1, 98</b>	<b>59.488</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.378</b>	<b>1.594·10<sup>7</sup></b>	<b>2.434</b>
Gruppe	2, 98	2.688	0.073	0.052	0.776	2.991
<b>Testzeitpunkt*Trialtypen</b>	<b>1, 98</b>	<b>14.556</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.129</b>	<b>7.650</b>	
Testzeitpunkt*Gruppe	2, 98	0.050	0.951	0.001	0.062	
Trialtypen*Gruppe	1, 98	0.816	0.445	0.016	0.096	
Testzeitpunkt*	2, 98	0.819	0.444	0.016	0.005	
Trialtypen*Gruppe						

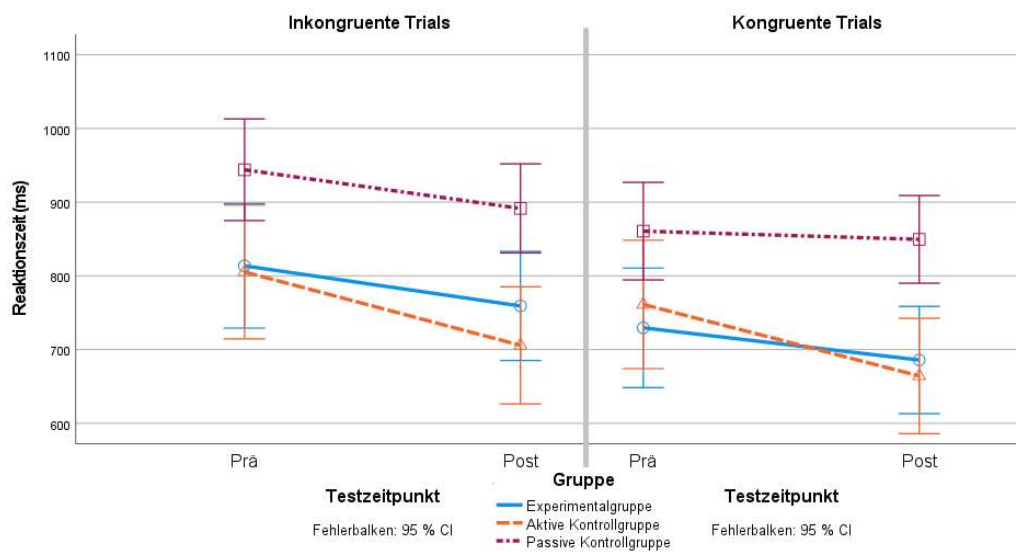
Post-hoc-Analysen zeigten, dass der signifikante Haupteffekt für Gruppe in den RT auf den Unterschied von passiver Kontrollgruppe zu Experimentalgruppe ( $F(1, 73) = 8.421$ ;  $p = 0.005$ ;  $\eta_p^2 = 0.103$ ;  $B_{10} = 8.227$  (Fehler: 2.882)) bzw. zu aktiver Kontrollgruppe ( $F(1, 69) = 8.014$ ;  $p = 0.006$ ;  $\eta_p^2 = 0.104$ ;  $B_{10} = 6.927$  (Fehler: 2.846)) zurückzuführen war.

Die nach  $B_{inkl}$  für  $H_1$  sprechende Analyse der Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe zeigte in Post-hoc-Analysen für den Vergleich von Experimental- mit passiver Kontrollgruppe anekdotische Belege für  $H_0$  ( $p = 0.573$ ;  $\eta_p^2 = 0.004$ ;  $B_{inkl} = 0.459$ ) und

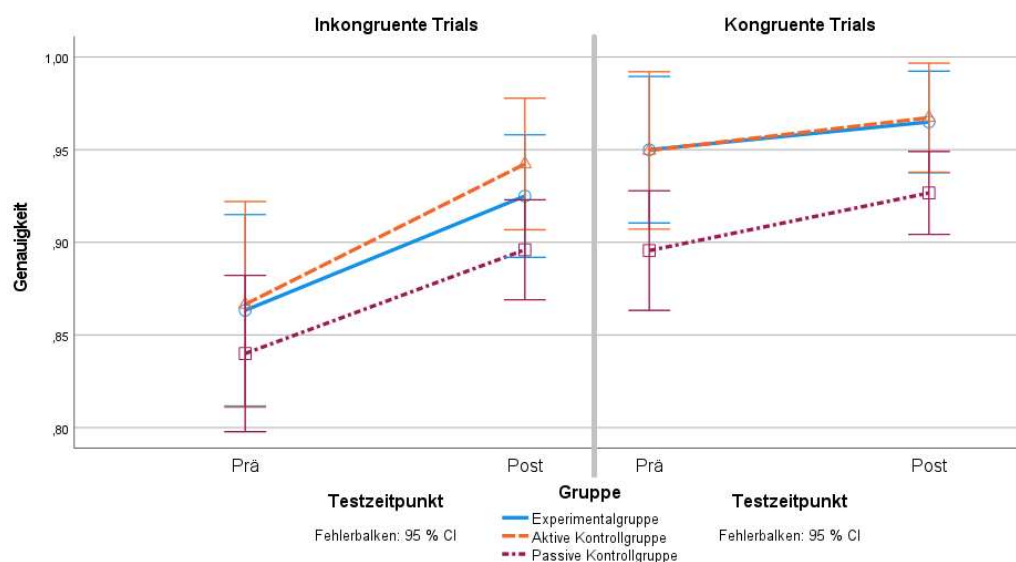
lieferte starke Belege für  $H_1$  beim Vergleich der beiden Kontrollgruppen ( $p = 0.065$ ;  $\eta_p^2 = 0.048$ ;  $B_{inkl} = 13.520$ ), wonach die aktive Kontrollgruppe stärkere Verbesserungen zeigte als die passive Kontrollgruppe. Der Vergleich von Experimental- mit aktiver Kontrollgruppe (s. o.) lieferte weder Evidenz für  $H_0$  noch  $H_1$ , sodass keine Aussage dazu getroffen werden kann, ob diese sich auch unterschieden.

Die Bayes-Analyse des Stroop-Effektes zeigte für den Haupteffekt Testzeitpunkt jeweils für die RT ( $B_{10} = 2.143$ ) und die Acc ( $B_{10} = 77.017$ ) Evidenz für die  $H_1$ .

a)



b)



**Abbildung 40:** Stroop-Test: Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Trialtypen bei Einbezug der passiven Kontrollgruppe. A) zeigt die Reaktionszeiten und b) die Genauigkeit. Die Bayes-Analyse der Reaktionszeiten zeigte nun eine signifikante Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe. Post-hoc-Analysen zeigten, dass diese Interaktion auf dem Unterschied von passiver Kontrollgruppe zu den beiden aktiven Gruppen basierte. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 48.)

Die Analyse des „Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleiches“ ist im Anhang A17 zu finden. Durch sie ergaben sich keine weiteren Erkenntnisse.

Explorativ wurden neben dem Stroop-Test auch die Übungsdurchgänge als „Reaktionszeitaufgabe“ analysiert. Hierdurch sollte, unabhängig von den formulierten Hypothesen, weiter überprüft werden, ob die aktive Kontrollgruppe die verbesserte Reaktionsgeschwindigkeit transferiert haben könnte. Unterschiede in den RT bestanden für die Vergleiche von aktiver Kontrollgruppe zu den anderen beiden Gruppen. Experimental- und passive Kontrollgruppe unterschieden sich nicht signifikant. Die Ergebnisse sind in Anhang A13 dargestellt.

#### 4.3.4 ANT unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe

Im Prätest unterschieden sich, wie in Tabelle 49 dargestellt, die AV nicht zwischen den drei Gruppen.

**Tabelle 49:** ANT: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest (3 Gruppen). Im Prätest gab es keine Gruppenunterschiede.

<b>ANOVA Vergleiche aller drei Gruppen im Prätest</b>						
<b>Effekte</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b>B<sub>10</sub></b>	<b>Fehler (B<sub>10</sub>)</b>
Aktivierung	2, 105	0.504	0.606	0.010	0.133	0.026
Orientierung	2, 105	1.881	0.158	0.035	0.416	0.032
Exekutive Aufmerksamkeit	2, 105	2.026	0.137	0.038	0.459	0.033
Zentraler Cue	2, 105	2.390	0.097	0.044	0.635	0.034
Doppelcue	2, 105	1.651	0.197	0.031	0.347	0.030
Kein Cue	2, 105	1.589	0.213	0.030	0.325	0.030
Räumlicher Cue	2, 105	1.162	0.317	0.022	0.232	0.028
Inkongruente Flanker	2, 105	1.311	0.274	0.025	0.262	0.029
Kongruente Flanker	2, 105	2.277	0.108	0.042	0.579	0.034
Neutrale Flanker	2, 105	1.568	0.213	0.030	0.324	0.030

Die deskriptiven Statistiken (MW und SD) für die passive Kontrollgruppe in Bezug auf die Aufmerksamkeitsnetzwerke sind in Tabelle 50 bzw. Abbildung 41 zu finden.

**Tabelle 50:** ANT: Reaktionszeiten der passiven Kontrollgruppe in den Aufmerksamkeitsnetzwerken. Es werden MW und SD dargestellt.

Gruppe	Passive Kontrollgruppe (N = 45)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
Aktivierung	36 (69)	27 (57)
Orientierung	91 (99)	73 (79)
Exekutive Aufmerksamkeit	87 (92)	84 (65)

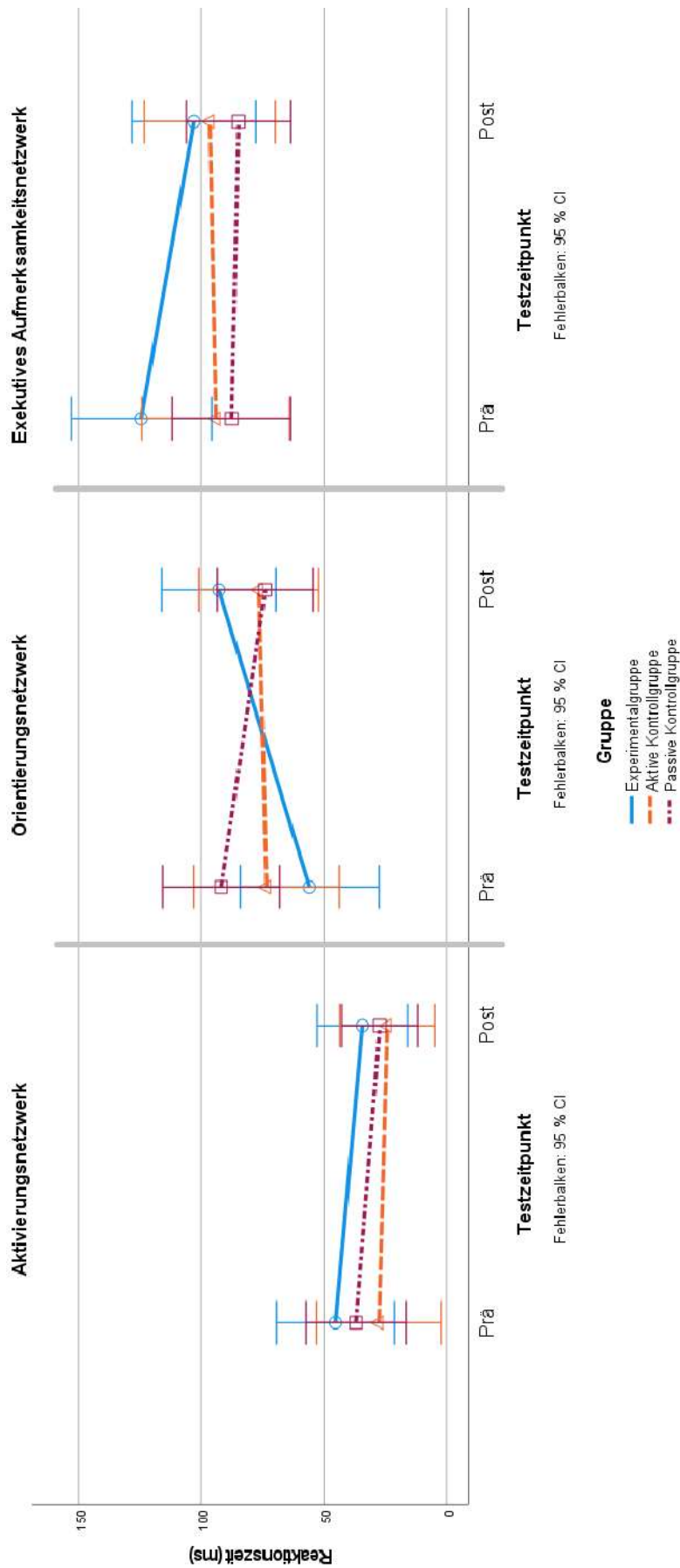
Wie aus Tabelle 51 ersichtlich, konnten unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe in eine 2\*3\*3 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt, Aufmerksamkeitsnetzwerke und Gruppe weiterhin keine Effekte, außer dem signifikanten Haupteffekt für die Netzwerke, gefunden werden.

**Tabelle 51:** ANT: Analyse der Netzwerkeffekte unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. 2\*3\*3 (Testzeitpunkt\*Aufmerksamkeitsnetzwerke\*Gruppe) Mixed-Model-ANOVA. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

ANT – Analyse der Aufmerksamkeitsnetzwerke							
Effekte	Green-house-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
Testzeitpunkt	Nein	1, 103	0.269	0.605	0.003	0.105	1.002
<b>Netzwerke</b>	<b>Ja</b>	<b>1.753, 180.522</b>	<b>42.603</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.293</b>	<b>3.412·10<sup>17</sup></b>	<b>0.730</b>
Gruppe	Nein	2, 103	1.075	0.345	0.020	0.054	0.736
Testzeitpunkt* Netzwerke	Ja	1.828, 188.330	0.808	0.438	0.008	0.012	
Testzeitpunkt* Gruppe	Nein	2, 103	0.620	0.540	0.003	7.614·10 <sup>-4</sup>	
Netzwerke* Gruppe	Ja	3.506, 180.552	1.176	0.322	0.022	0.008	
Testzeitpunkt* Netzwerke* Gruppe	Ja	3.657, 188.330	1.508	0.206	0.028	4.181·10 <sup>-6</sup>	

Die in Tabelle 52 dargestellte 2\*4\*3\*3 Analyse (Testzeitpunkt\*Cuetyphen\*Flankertypen\*Gruppe) der Cue- und Flankertypen zeigte signifikante Haupteffekte für Testzeitpunkt, Cuetyphen, Flankertypen und Gruppe. Eine grafische Darstellung der Interaktion von Gruppe, Testzeitpunkt und Cuetyphen ist in Abbildung 42 zu finden und eine Darstellung für die Flankertypen in Abbildung 43. MW und SD der passiven Kontrollgruppe sind in Tabelle 53 dargestellt. Die MW und SD der RT für die jeweiligen Cue-Flanker-Beziehungen finden sich in Anhang A14.





**Abbildung 41:** ANT: Aufmerksamkeitsnetzwerke bei drei Gruppen. Darstellung der Interaktion von Aufmerksamkeitsnetzwerken, Gruppen und Testzeitpunkt. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. Es konnte keine Interaktion gezeigt werden (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 51.)

**Tabelle 52:** ANT: Analyse von Cue- und Flankertypen unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. 2\*4\*3\*3 (Testzeitpunkt\*Cuetyphen\*Flankertypen\*Gruppe) Mixed-Model-ANOVA. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

ANT – Analyse von Cue- und Flankertypen							
Effekte	Greenhouse-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<i>Testzeitpunkt</i> <i>Cuetyphen</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 101</i>	<i>22.771</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.184</i>	<i>1.632·10<sup>36</sup></i>	<i>3.143</i>
	<i>ja</i>	<i>2.746, 277.310</i>	<i>189.611</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.652</i>	<i>6.390·10<sup>42</sup></i>	<i>0.605</i>
<i>Flankertypen</i> <i>Gruppe</i>	<i>Nein</i>	<i>2, 202</i>	<i>178.443</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.639</i>	<i>7.649·10<sup>29</sup></i>	<i>3.652</i>
	<i>Nein</i>	<i>2, 101</i>	<i>4.636</i>	<i>0.012</i>	<i>0.084</i>	<i>4.419</i>	<i>3.323</i>
Testzeitpunkt*Cuetyphen	Nein	3, 303	0.384	0.764	0.004	0.002	
Testzeitpunkt*Flankertypen	Nein	2, 202	0.973	0.380	0.010	0.012	
<i>Cuetyphen*Flankertypen</i>	<i>Ja</i>	<i>4.547, 459.201</i>	<i>89.733</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.470</i>	<i>∞</i>	
Testzeitpunkt*Cuetyphen*Flankertypen	Ja	4.939, 498.875	2.141	0.060	0.021	8.206·10 <sup>-7</sup>	
<i>Testzeitpunkt*Gruppe</i>	<i>Nein</i>	<i>2, 101</i>	<i>3.769</i>	<i>0.026</i>	<i>0.069</i>	<i>∞</i>	
Cuetyphen*Gruppe	Ja	5.491, 277.310	1.866	0.093	0.036	0.001	
<i>Testzeitpunkt*Cuetyphen*Gruppe</i>	<i>Nein</i>	<i>6, 303</i>	<i>2.243</i>	<i>0.039</i>	<i>0.043</i>	<i>1.421·10<sup>-7</sup></i>	
Flankertypen*Gruppe	Nein	4, 202	0.665	0.617	0.013	0.001	
Testzeitpunkt*Flankertypen*Gruppe	Nein	4, 202	1.161	0.329	0.022	6.885·10 <sup>-7</sup>	
Cuetyphen*Flankertypen*Gruppe	Ja	9.093, 459.201	1.452	0.162	0.028	4.165·10 <sup>-9</sup>	
Testzeitpunkt*Cuetyphen*Flankertypen*Gruppe	Ja	9.879, 498.875	1.835	0.053	0.035	2.511·10 <sup>-21</sup>	

Nach frequentistischer Analyse konnte bei geringer Effektstärke eine signifikante Interaktion von Testzeitpunkt, Cuetyphen und Gruppe gezeigt werden. Im Vergleich von Experimentalgruppe mit aktiver Kontrollgruppe wurde diese Interaktion nicht signifikant (s. o.). Genauso zeigte sich kein signifikanter Effekt für den Vergleich der beiden Kontrollgruppen ( $F(3, 13) = p = 0.235$ ;  $\eta_p^2 = 0.020$ ;  $B_{inkl} = 1.961 \cdot 10^{-5}$ ). Eine unterschiedliche Entwicklung bestand nur beim Vergleich von Experimentalgruppe mit passiver Kontrollgruppe (Greenhouse-Geisser:  $F(2.608, 193.005) = 3.504$ ;  $p = 0.021$ ;  $\eta_p^2 = 0.045$ ;  $B_{inkl} = 9.702 \cdot 10^{-7}$ ). Die Bayes-Analyse deutete für diese Interaktion jedoch auf außergewöhnlich starke Belege für H<sub>0</sub> hin.

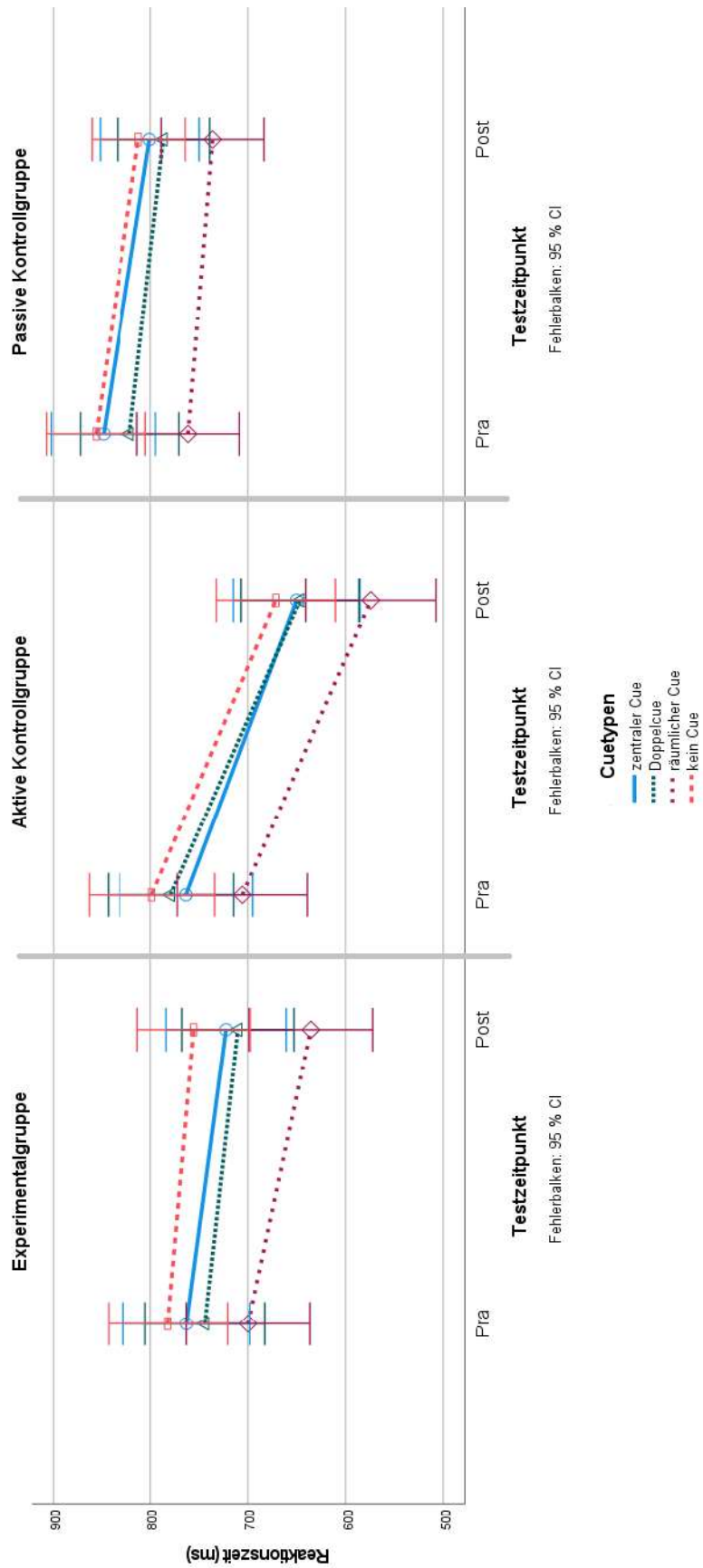
Es konnte in der frequentistischen sowie der Bayes-Analyse eine Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe gezeigt werden. Wie oben beschrieben, entwickelte sich die aktive Kontrollgruppe in ihrer RT stärker als die Experimentalgruppe.

Experimentalgruppe und passive Kontrollgruppe schienen sich nicht unterschiedlich zu entwickeln ( $F(1, 74) = 0.010$ ;  $p = 0.920$ ;  $\eta_p^2 = 0.000$ ;  $B_{inkl} = 0.046$ ). Eine unterschiedliche Entwicklung bestand jedoch für den Vergleich der beiden Kontrollgruppen ( $F(1, 71) = 6.251$ ;  $p = 0.015$ ;  $\eta_p^2 = 0.081$ ;  $B_{inkl} = 3.190 \cdot 10^{13}$ ). Die aktive Kontrollgruppe steigerte ihre RT stärker als die Experimentalgruppe oder die passive Kontrollgruppe.

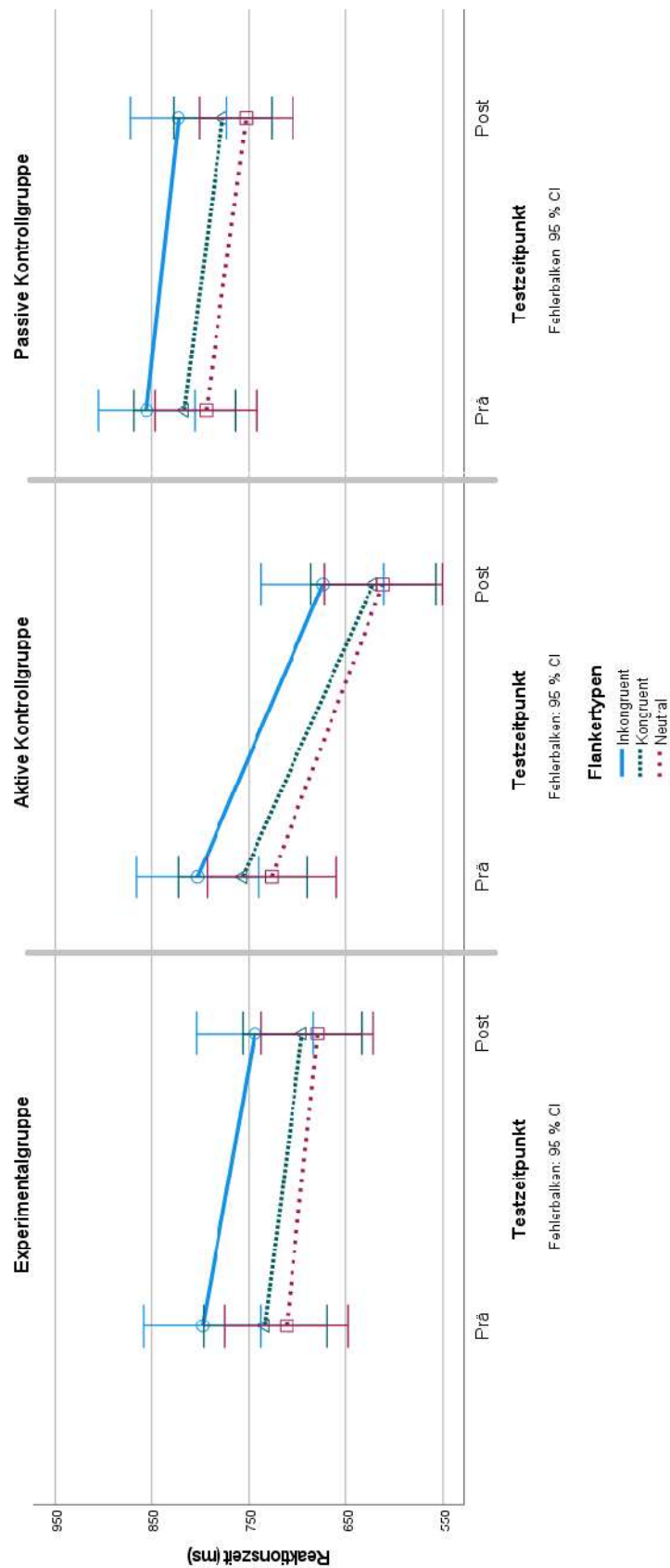
Für den Einfluss des Testzeitpunktes auf die Flankertypen sprachen die Ergebnisse eher für die  $H_0$ .

**Tabelle 53:** ANT: Mittelwerte und Standardabweichung der Cue- und Flankertypen bei der passiven Kontrollgruppe.

Cuetypen	Passive Kontrollgruppe (N = 45)	
	Prä (MW (SD)) (ms)	Post (MW (SD)) (ms)
	<b>Cuetypen</b>	
Zentraler Cue	849 (238)	800 (214)
Doppelcue	810 (195)	782 (200)
Kein Cue	847 (194)	809 (207)
Räumlicher Cue	757 (209)	726 (219)
	<b>Flankertypen</b>	
Inkongruent	886 (219)	844 (216)
Kongruent	798 (228)	759 (216)
Neutral	749 (179)	690 (164)



**Abbildung 42:** ANT: Interaktion von Testzeitpunkt, Cuetypen und Gruppe unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. Es konnte eine signifikante Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe sowie Testzeitpunkt, Cuetypen und Gruppe gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 52.)



**Abbildung 43:** ANT: Interaktion von Testzeitpunkt, Flankertypen und Gruppen unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. Es konnte eine signifikante Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 52.)

### 4.3.5 Change Detection unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe

Im Prätest unterschieden sich die drei Gruppen in der Bedingung ohne Filter nicht signifikant, jedoch in der Filterbedingung, wobei der Gruppenunterschied im Prätest von Setgröße vier auf den Einbezug der passiven Kontrollgruppe zurückzuführen ist. Die Ergebnisse der Prätestvergleiche sind in Tabelle 54 aufgeführt.

**Tabelle 54:** Change Detection: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest (3 Gruppen). Im Prätest gab es bereits Gruppenunterschiede in der Bedingung mit Filter.

ANOVAs der AV im Prätest (alle Gruppen)						
	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<b>Ohne Filter</b>						
K Setgröße 2	2, 103	0.070	0.932	0.001	0.096	0.024
K Setgröße 3	2, 103	0.174	0.841	0.003	0.104	0.025
K Setgröße 4	2, 103	0.853	0.429	0.017	0.178	0.028
K-Max	2, 103	1.352	0.263	0.026	0.263	0.031
<b>Mit Filter</b>						
K Setgröße 2	2, 103	0.848	0.431	0.017	0.177	0.028
K Filter	2, 103	0.045	0.956	0.001	0.094	0.024
<b>K Setgröße 4</b>	<b>2, 103</b>	<b>7.050</b>	<b>0.001</b>	<b>0.123</b>	<b>26.159</b>	<b>0.021</b>
Unnötige Speicherung	2, 103	0.740	0.479	0.014	0.164	0.027

#### *Change Detection ohne Filter unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe*

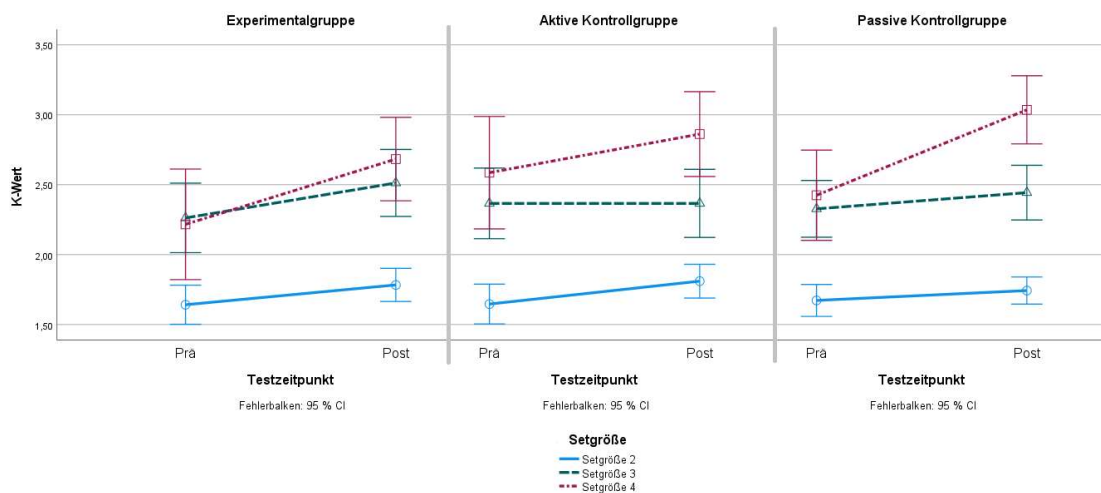
Der Einbezug der passiven Kontrollgruppe in die 2\*3\*3 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt\*Setgröße\*Gruppe bzw. 2\*3 (Testzeitpunkt\*Gruppe) für K-Max lieferte im Vergleich zur Analyse ohne passive Kontrollgruppe keine weiteren Interaktionen unter Beteiligung des Testzeitpunktes. Die Analyseergebnisse sind in Tabelle 56 zu finden. MW und SD der passiven Kontrollgruppe sind in Tabelle 55 dargestellt und eine grafische Darstellung der Analysen ist in Abbildung 44 (Setgrößen) bzw. Abbildung 45 (K-Max) zu finden.

**Tabelle 55:** Change Detection ohne Filter: K-Werte der unterschiedlichen Setgrößen bei der passiven Kontrollgruppe. Dargestellt sind MW und SD.

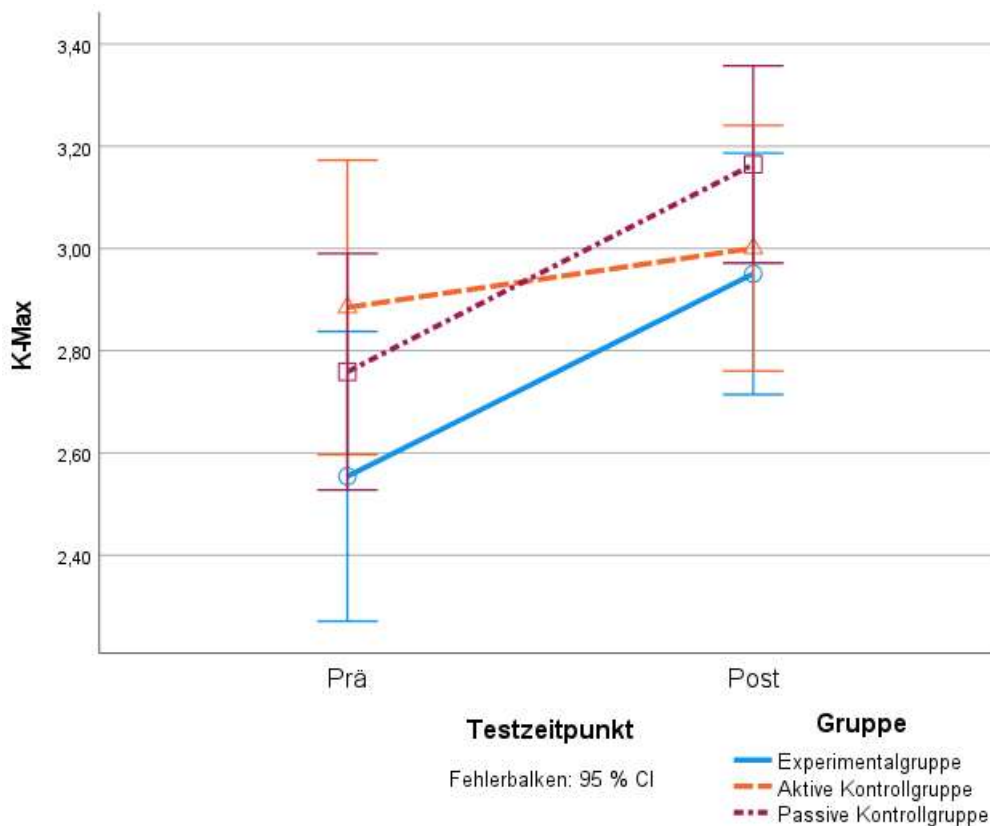
Setgrößen	Passive Kontrollgruppe (N = 45)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>K-Setgröße 2</b>	1.67 (0.42)	1.74 (0.40)
<b>K-Setgröße 3</b>	2.33 (0.63)	2.44 (0.75)
<b>K-Setgröße 4</b>	2.43 (1.20)	3.03 (0.85)
<b>K-Max</b>	2.76 (0.85)	3.16 (0.70)

**Tabelle 56:** Change Detection ohne Filter: Analyse des K-Wertes pro Setgröße unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. 2\*3\*3 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt (Prä/Post)\*Setgröße (2,3,4)\*Gruppe (Experimental-/aktive/passive Kontrollgruppe); AV: K pro Setgröße. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

Change Detection – Ohne Filter							
Effekte	Greenhouse-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<b>K-Setgröße</b>							
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>Nein</b>	<b>1,101</b>	<b>20.422</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.168</b>	<b>576.088</b>	<b>3.095</b>
Gruppe	Nein	2, 101	0.337	0.715	0.007	0.071	0.569
<b>Setgröße</b>	<b>Nein</b>	<b>2, 202</b>	<b>148.120</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.595</b>	<b>3.640·10<sup>48</sup></b>	<b>3.193</b>
Testzeitpunkt*Gruppe	Nein	2, 101	0.653	0.522	0.013	0.019	
Setgröße*Gruppe	Ja	3.109, 202	1.877	0.133	0.036	0.037	
<b>Testzeitpunkt*Setgröße</b>	<b>Ja</b>	<b>1.445, 145</b>	<b>7.551</b>	<b>0.003</b>	<b>0.070</b>	<b>62.395</b>	
Testzeitpunkt*Setgröße*Gruppe	Ja	2.890, 145	1.080	0.358	0.021	0.002	
<b>K-Max</b>							
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>Nein</b>	<b>1, 101</b>	<b>14.688</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.127</b>	<b>249.641</b>	<b>1.906</b>
Gruppe	Nein	2, 101	1.218	0.300	0.024	0.232	2.591
Testzeitpunkt*Gruppe	Nein	2, 101	1.345	0.265	0.026	0.227	



**Abbildung 44:** Change Detection ohne Filter: Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Setgrößen beim K-Wert unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 56.)



**Abbildung 45:** Change Detection ohne Filter: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei K-Max unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 56.)

### *Change Detection mit Filter unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe*

Die 2\*3\*3 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt\*Settypen\*Gruppe bzw. 2\*3 Testzeitpunkt\*Gruppe für die unnötige Speicherung) der Filterbedingung unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe ist in Tabelle 58 dargestellt. MW und SD sind in Tabelle 57 dargestellt. Eine grafische Darstellung zur deskriptiven Statistik findet sich in Abbildung 46 (Settypen) bzw. Abbildung 47 (unnötige Speicherung). Die Analyse zeigte nun einen signifikanten Haupteffekt für Gruppe sowie eine signifikante Interaktion von Gruppe und Settypen. Wie oben beschrieben, gingen diese Ergebnisse auf den Vergleich von passiver Kontrollgruppe mit Experimentalgruppe ( $F(1, 73) = 4.432$ ;  $p = 0.039$ ;  $\eta_p^2 = 0.057$ ;  $B_{10} = 1.137$  (Fehler: 3.564)) oder aktiver Kontrollgruppe ( $F(1, 72) = 8.416$ ;  $p = 0.005$ ;  $\eta_p^2 = 0.105$ ;  $B_{10} = 5.531$  (Fehler: 3.826)) zurück. Die Interaktion beruhte wahrscheinlich auf der geringeren Leistung in Setgröße vier bei der passiven Gruppe.

Interaktionen unter Beteiligung des Testzeitpunktes konnten auch hier nicht gefunden werden.

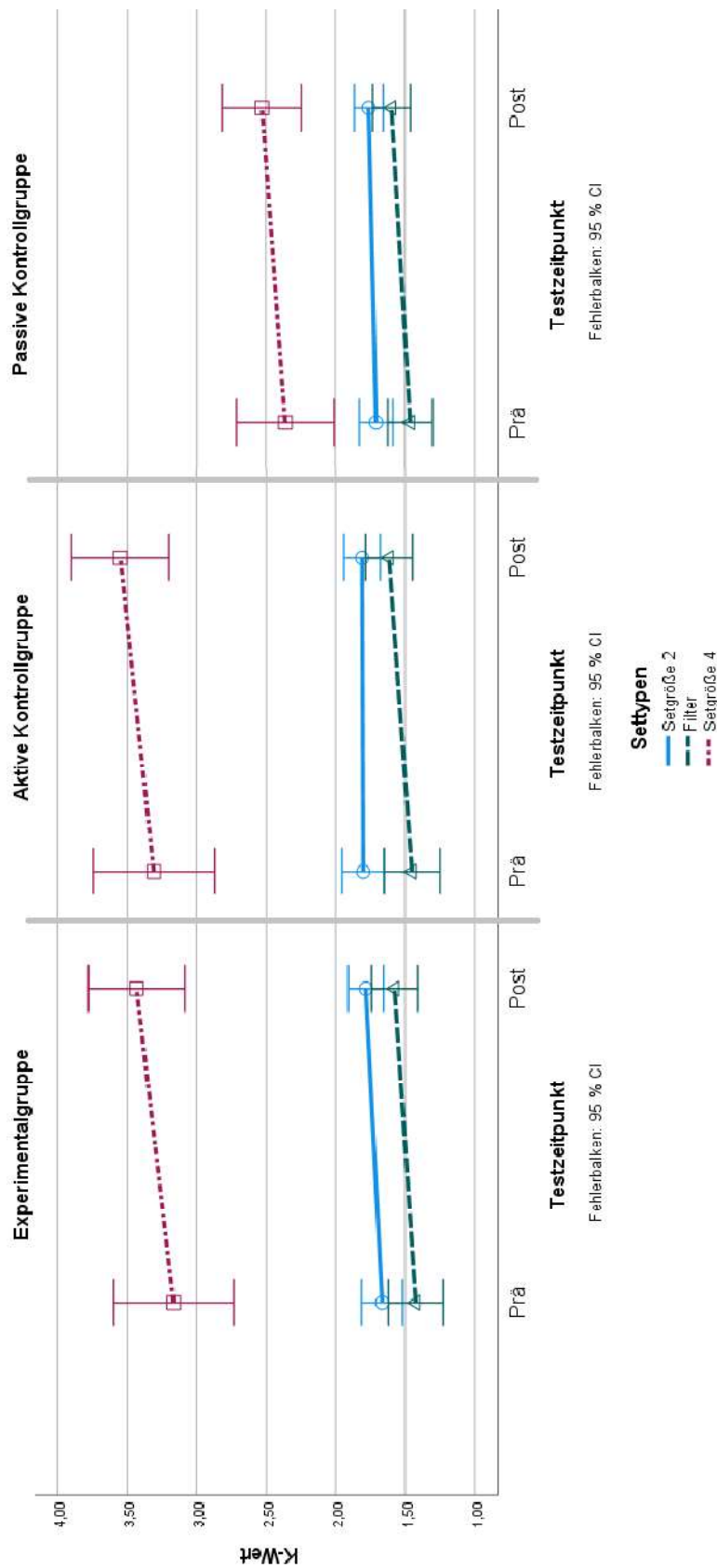


**Tabelle 57:** Change Detection mit Filter: K-Werte der unterschiedlichen Settypen sowie der unnötigen Speicherung bei der passiven Kontrollgruppe. Dargestellt sind MW und SD.

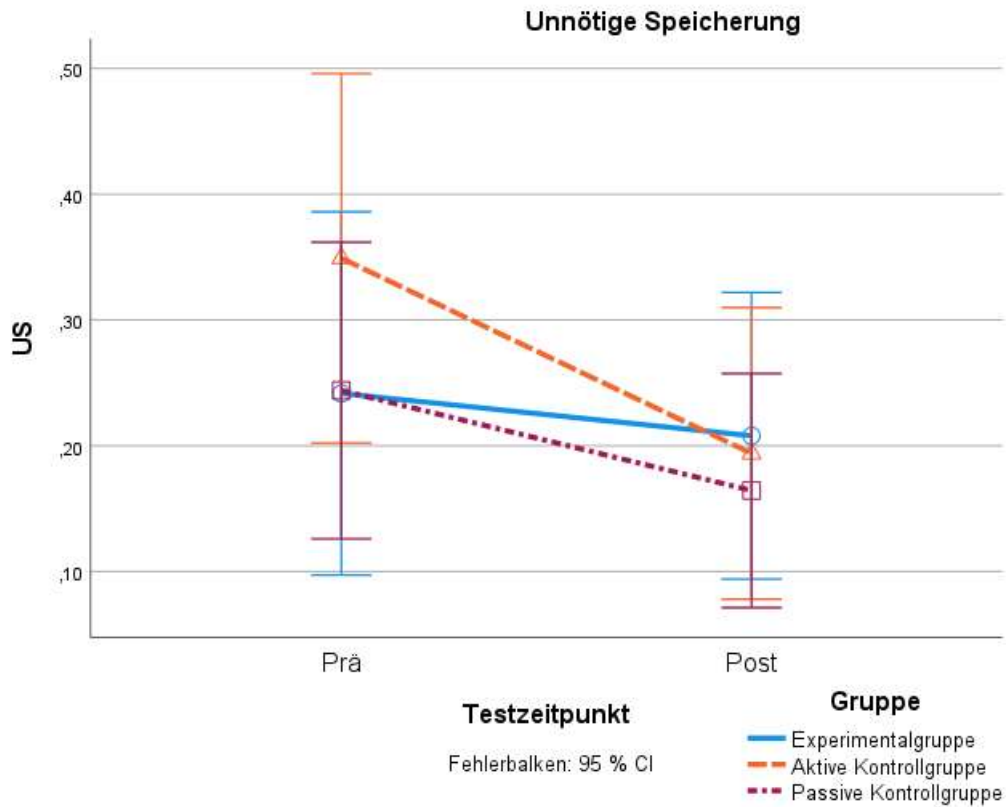
Settypen	Passive Kontrollgruppe (N = 45)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>K-Setgröße 2</b>	1.71 (0.42)	1.76 (0.44)
<b>K-Filter</b>	1.46 (0.60)	1.60 (0.53)
<b>K-Setgröße 4</b>	2.36 (1.28)	2.53 (1.21)
<b>US</b>	0.24 (0.37)	0.16 (0.25)

**Tabelle 58:** Change Detection mit Filter: Analyse des K-Wertes pro Settyp sowie der unnötigen Speicherung unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. 2\*3\*3 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt (Prä/Post)\*Settyp (2 Stimuli, 4 Stimuli, Filter)\* Gruppe (Experimental-/aktive/passive Kontrollgruppe); AV: K pro Settyp. 2\*3 Mixed-Model-ANOVA (Testzeitpunkt\*Gruppe) AV: US). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

Change Detection – Mit Filter							
Effekte	Greenhouse-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<b>K-Settypen</b>							
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 101</i>	<i>7.214</i>	<i>0.008</i>	<i>0.067</i>	<i>0.561</i>	<i>5.590</i>
<i>Gruppe</i>	<i>Nein</i>	<i>2, 101</i>	<i>5.338</i>	<i>0.006</i>	<i>0.096</i>	<i>2.544</i>	<i>0.722</i>
<i>Settypen</i>	<i>Nein</i>	<i>2, 100</i>	<i>319.500</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.865</i>	<i>5.362·10<sup>88</sup></i>	<i>3.711</i>
Testzeitpunkt* Gruppe	Nein	2, 101	0.113	0.893	0.002	0.080	
<i>Settypen*Gruppe</i>	<i>Ja</i>	<i>2.387,</i> <i>120.565</i>	<i>17.99</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.262</i>	<i>8.674·10<sup>13</sup></i>	
Testzeitpunkt* Settypen	Ja	1.222, 123.404	1.583	0.213	0.015	0.168	
Testzeitpunkt* Settypen*Gruppe	Ja	2.444, 123.404	0.115	0.924	0.002	0.001	
<b>Unnötige Speicherung (US)</b>							
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 101</i>	<i>4.363</i>	<i>0.039</i>	<i>0.041</i>	<i>1.172</i>	<i>2.181</i>
Gruppe	Nein	2, 101	0.485	0.617	0.010	0.124	2.866
Testzeitpunkt* Gruppe	Nein	2, 101	0.607	0.547	0.012	0.036	



**Abbildung 46:** Change Detection mit Filter: Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Settypen beim K-Wert. Im Settypen Filter wurden zwei Zielstimuli und zwei Distraktorstimuli dargeboten. Es zeigte sich eine signifikante Interaktion aus Settypen und Gruppe, nach der die passive Kontrollgruppe schlechtere Leistungen bei Setgröße vier zeigte als die übrigen Gruppen. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 58.)



**Abbildung 47:** Change Detection mit Filter: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei unnötiger Speicherung unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 58.)

Auch die Analyse des Change Detection sprach nach der Bayes-Analyse eher dafür, dass Trainingsfortschritte nicht auf diesen Test transferiert wurden.

#### 4.3.6 Assoziationsdefizithypothese: Paarassoziationslernen unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe

Bereits im Prätest unterschieden sich die drei Gruppen signifikant. Die Prätestanalysen sind Tabelle 59 zu entnehmen.

**Tabelle 59:** Paarassoziationslernen: Vergleich der relevanten Faktoren im Prätest (3 Gruppen). Bereits im Prätest gab es Unterschiede in der Gesamtzahl memorierter Stimuli zwischen den Gruppen.

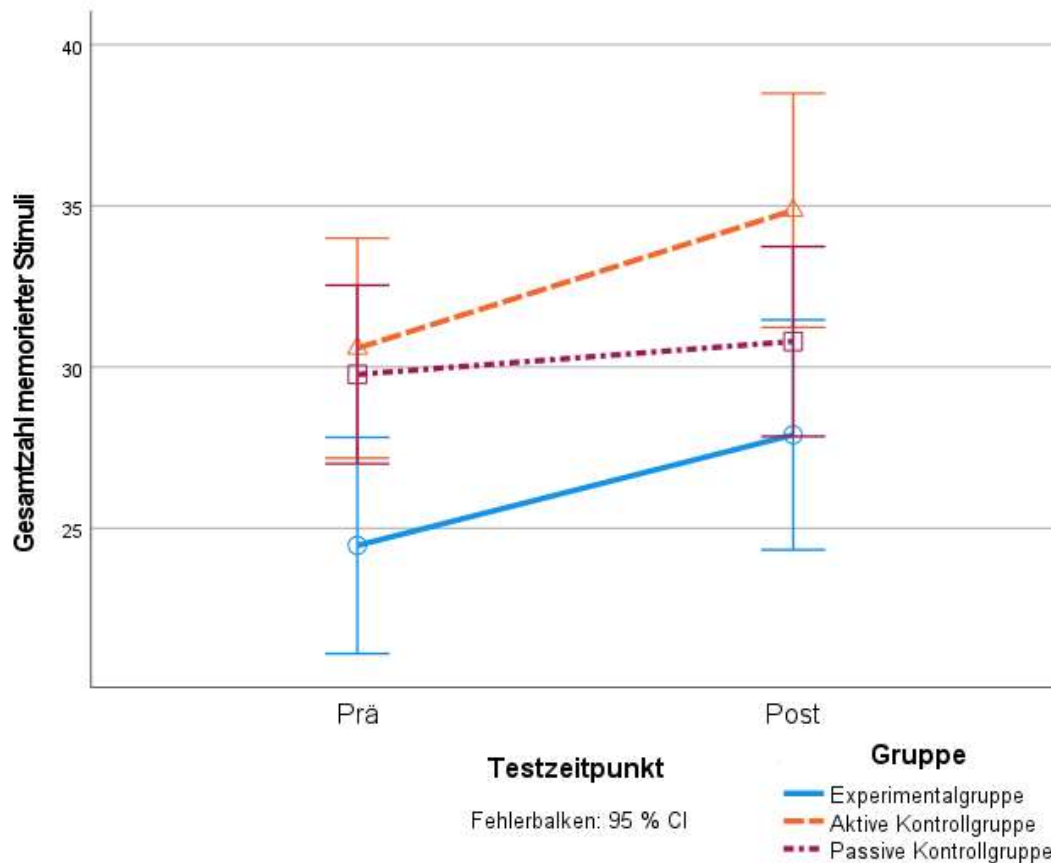
ANOVAs der AV im Prätest (alle Gruppen)						
	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
Setgröße 2 (MW)	2, 102	0.211	0.801	0.004	0.108	0.025
<b>Setgröße 4 (MW)</b>	<b>2, 102</b>	<b>3.809</b>	<b>0.025</b>	<b>0.071</b>	<b>1.834</b>	<b>0.027</b>
<b>Setgröße 6 (MW)</b>	<b>2, 102</b>	<b>3.763</b>	<b>0.027</b>	<b>0.070</b>	<b>1.798</b>	<b>0.026</b>
Setgröße 8 (MW)	2, 102	2.769	0.068	0.052	0.812	0.022

Post-hoc-Analysen zeigten, dass die Gruppenunterschiede nur auf den Vergleich von Experimentalgruppe und aktiver Kontrollgruppe (s. o.) sowie Experimentalgruppe und passiver Kontrollgruppe (Gesamt:  $p = 0.016$ ,  $B_{10} = 3.179$  (Fehler: 0.008); Setgröße 4:  $p = 0.026$ ,  $B_{10} = 2.159$  (Fehler: 0.009); Setgröße 6:  $p = 0.012$ ,  $B_{10} = 3.861$  (Fehler: 0.008)) zurückzuführen waren. Der Vergleich der beiden Kontrollgruppen ergab keine signifikanten Gruppenunterschiede im Prätest.

Bei Hinzunahme der passiven Kontrollgruppe (Prä: MW: 29.77 (SD: 10.14); Post: MW: 30.80 (SD: 8.78)) in die 2\*3 (Testzeitpunkt\*Gruppe) Analyse der Gesamtzahl memorierter Stimuli konnte weiterhin keine Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe gezeigt werden. Die Analyseergebnisse sind in Tabelle 60 dargestellt. Eine grafische Darstellung ist in Abbildung 48 zu finden.

**Tabelle 60:** Paarassoziationslernen: Analyse der maximal memorierten Stimuli unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. 2\*3 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt (Prä/Post) und Gruppe (Experimental-/aktive/passive Kontrollgruppe). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

<b>PAL: Gesamtzahl memorierter Stimuli</b>						
<b>Effekte</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b><math>B_{10}/B_{inkl}</math></b>	<b>Fehler (B<sub>10</sub>)</b>
<i><b>Testzeitpunkt</b></i>	<i><b>1, 100</b></i>	<i><b>14.053</b></i>	<i><b>&lt; 0.001</b></i>	<i><b>0.123</b></i>	<i><b>28.957</b></i>	<i><b>2.371</b></i>
<i><b>Gruppe</b></i>	<i><b>2, 100</b></i>	<i><b>4.259</b></i>	<i><b>0.017</b></i>	<i><b>0.078</b></i>	<i><b>3.162</b></i>	<i><b>2.343</b></i>
Testzeitpunkt*	2, 100	1.765	0.176	0.034	1.044	
Gruppe						



**Abbildung 48:** Paarassoziationslernen: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt bei der Gesamtzahl memorierter Stimuli unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 60.)

An den Ergebnissen der Analyse der unterschiedlichen Setgrößen änderte sich durch den Einbezug der passiven Kontrollgruppe nichts (siehe Anhang A9).

Die Analyse unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe sprach dafür, dass es keinen Trainingstransfer auf das Paarassoziationslernen gab.

#### 4.3.7 Assoziationsdefizithypothese: Assoziativer Rekognitionstest unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe

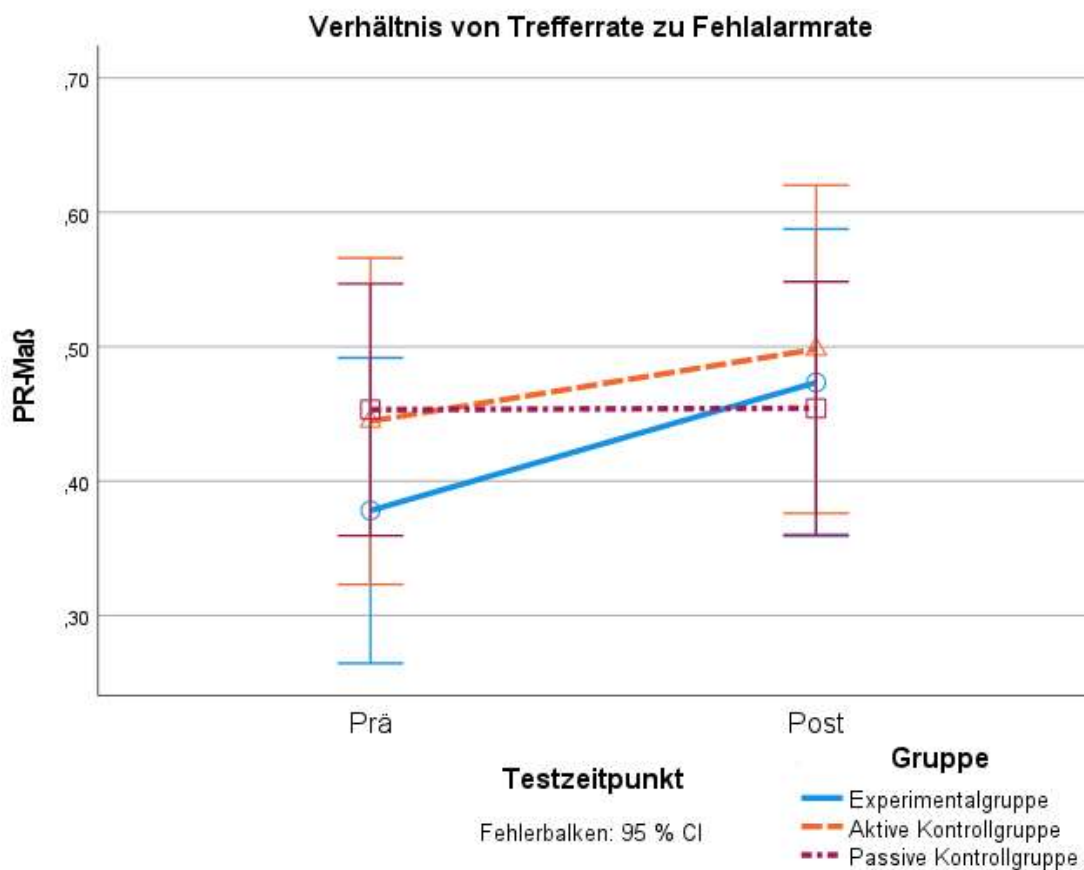
Im Prätest gab es keinen Unterschied zwischen den drei Gruppen ( $F(2, 106) = 0.557$ ;  $p = 0.574$ ;  $\eta_p^2 = 0.011$ ).

Unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe in eine 2\*3 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt\*Gruppe (Passive Kontrollgruppe:  $N = 47$ , Prä:  $MW: 0.45$  ( $SD: 0.34$ ); Post:  $MW: 0.45$  ( $SD: 0.32$ )) konnte weder ein signifikanter Haupteffekt für Testzeitpunkt noch für Gruppe und auch keine signifikante Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe gezeigt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 61

dargestellt. Eine grafische Darstellung der deskriptiven Statistik ist in Abbildung 49 zu finden.

**Tabelle 61:** Assoziativer Rekognitionstest: Analyse des PR-Maßes unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. 2\*3 Mixed-Model-ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt (Prä/Post)\*Gruppe (Experimental-/aktive/passive Kontrollgruppe). Es konnten keine signifikanten Ergebnisse gezeigt werden.

Effekte	df	ARK (PR-Maß)			$B_{10}/B_{inkl}$	Fehler ( $B_{10}$ )
		F	p	$\eta_p^2$		
Testzeitpunkt	1, 104	1.557	0.215	0.015	0.272	2.534
Gruppe	2, 104	0.249	0.780	0.005	0.096	3.217
Testzeitpunkt* Gruppe	2, 104	0.530	0.590	0.010	0.010	



**Abbildung 49:** Assoziativer Rekognitionstest: Interaktion von Gruppe und Testzeitpunkt beim PR-Maß unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. Es konnte keine signifikante Interaktion gezeigt werden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 61.)

Auch die Analyse der Fehlalarmrate sprach nicht für  $H_1$ . Auch unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe (Prä: MW: 0.28 (SD: 0.23); Post: MW: 0.30 (SD: 0.23)) konnte keine Interaktion gefunden werden ( $F(2, 104) = 1.216$ ;  $p = 0.301$ ;  $\eta_p^2 = 0.023$ ;  $B_{inkl} = 0.074$ ).

#### **4.4 Zusammenfassung und kurze Interpretation der Ergebnisse des Einbezugs der passiven Kontrollgruppe**

Zusammenfassend zeigte der Einbezug der passiven Kontrollgruppe, dass sich diese wahrscheinlich nicht von der Experimentalgruppe unterschied, was darauf hindeutet, dass durch das inhibitionsfokussierte Aufgabenwechseltraining tatsächlich kein naher oder ferner Transfer erzielt werden konnte. Die aktive Kontrollgruppe zeigte jedoch teilweise Transfereffekte der verbesserten RT bei den Reaktionszeitaufgaben. Diese Gruppe verbesserte sich im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen im Cued-TS Transfertest sowie dem ANT. Auch im Stroop-Test gab es Reaktionszeitverbesserungen im Vergleich zur passiven Kontrollgruppe, über Verbesserungen im Vergleich zur Experimentalgruppe konnte keine Aussage getroffen werden.

Die bisherigen Analysen sprechen gegen einen Transfer der Inhibitionsfähigkeit durch das inhibitionsfokussierte Cued-TS. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass Probanden und Probandinnen mit bereits im Prätest geringen SC nicht über das Potential verfügen, ihre Aufgabenwechselfähigkeit weiter steigern zu können, und ein Trainings- und Transfereffekt somit nur bei Probandinnen und Probanden mit hohen SC auftreten könnte.

## **5 Reanalyse nach Mediansplit**

In einer Reanalyse der Daten wurden die Versuchsteilnehmenden in leistungsstarke und leistungsschwache (high und low Performer) Gruppen eingeteilt und die Analysen beim Vergleich dieser Gruppen wiederholt. Die Einteilung geschah anhand eines Mediansplits nach den produzierten SC im Prätest des Cued-TS-Transfertests.

### **5.1 Theoretischer Hintergrund zum Mediansplit**

Zu den Auswirkungen des kognitiven Trainings auf leistungsstärkere und leistungsschwächere Versuchspersonen gebe es unterschiedliche Befunde (Karbach, Könen & Spengler, 2017). Zum einen würden hoch leistende oder jüngere Versuchspersonen eher vom Training profitieren und stärkere Verbesserungen vom Prä- zum Posttest zeigen als gering Leistende oder Ältere. Andererseits gebe es auch Befunde, die zeigten, dass gering leistende oder ältere Versuchspersonen stärker von Trainingsinterventionen profitieren würden (z. B. Lövdén, Brehmer, Li & Lindenberger, 2012; Karbach, Könen & Spengler, 2017). Lövdén, Brehmer, Li und Lindenberger (2012) beschrieben zwei Erklärungsansätze zum Trainingsprofit: Den „Vergrößerungsansatz“ („Magnification Account“) und den „Kompensationsansatz“ („Compensation Account“). Nach dem „Vergrößerungsansatz“ sollte erstens nach einer Trainingsintervention der Unterschied zwischen Gering- und Hochleistenden größer werden, weil Leistungsstärkere mehr kognitive Ressourcen hätten. Zweitens sollten Trainingszugewinne positiv mit den kognitiven Funktionen im Prätest korreliert sein. Als dritte Annahme geben Lövdén, Brehmer, Li und Lindenberger (ebd.) an, dass die Vergrößerung interindividueller Unterschiede als Funktion des Trainings stärker werden sollte.

Zum Kompensationsansatz beschreiben die Autoren (ebd.), dass bei Versuchsteilnehmenden mit hohen Leistungen die entsprechende kognitive Leistung schon gut funktioniere und somit weniger Raum für Verbesserungen bestehe als bei Leistungsschwächeren. Trainingszugewinne sollten bei diesem Ansatz also negativ mit der entsprechenden kognitiven Funktion und den Prätestergebnissen korrelieren. Interindividuelle Unterschiede sollten nach dem Training reduziert sein.

Für beide Ansätze finde sich Evidenz (Karbach, Könen & Spengler, 2017), wobei sie für den „Vergrößerungsansatz“ besonders beim Lernen von Strategien wie Mnemo-



techniken zu finden sei (z. B. Brehmer, Li, Müller, von Oertzen & Lindenberger, 2007; Lövdén, Brehmer, Li und Lindenberger, 2012; Wiemers, Redick & Morrison, 2019). Wer schon hohe Leistungen zeigte, könne beispielsweise besser von Interventionen zur Strategieentwicklung profitieren (ebd.). Für den „Kompensationsansatz“ sei die Evidenz eher im Training exekutiver Funktionen zu finden (z. B. Cepeda, Kramer & Gonzalez de Sather, 2001; Karbach & Kray, 2009; Karbach, Könen & Spengler, 2017). Wer vor Trainingsbeginn schlechtere Leistungen zeige, zeige stärkere Verbesserungen während des Trainings (ebd.).

## **5.2 Hypothesen zum Mediansplit**

Ausgehend von Karbach, Könen und Spengler (2017) wurde in der Reanalyse der Daten davon ausgegangen, dass Versuchspersonen mit geringen Leistungen geringere kognitive Kapazitäten haben und somit eine größere Möglichkeit zu Verbesserungen. Somit sollten leistungsschwächere Versuchspersonen eher die Möglichkeit für einen Transfer haben als leistungsstärkere.

*Leistungsschwächere Versuchspersonen sollten stärkere Verbesserungen in den Wechselkosten und Reaktionszeiten über die Trainingssitzungen zeigen als leistungsstärkere.*

*Zudem sollten leistungsschwächere Versuchspersonen in den kritischen Testwerten der Transfertests stärkere Verbesserungen vom Prä- zum Posttest zeigen als leistungsstärkere.*

## **5.3 Methodik zum Mediansplit**

Der Mediansplit wurde nach den SC im Prätest des Cued-TS-Transfertests durchgeführt. Die Versuchspersonen wurden insgesamt in sechs Gruppen aufgeteilt:

Experimentalgruppe: geringe und hohe SC

aktive Kontrollgruppe: geringe und hohe SC

passive Kontrollgruppe: geringe und hohe SC

Die Ergebnisse der Aufteilung sind in Abbildung 50 dargestellt.

Nach der Aufteilung in diese sechs Gruppen wurden jeweils die Leistungsschwachen und Leistungsstarken der Gruppen in die zusammengefassten Gruppen Leistungsstarke und Leistungsschwache aufgeteilt, sodass Leistungsstarke aller Gruppen mit Leistungsschwachen aller Gruppen verglichen wurden. Somit konnte die statistische Power der Analysen erhöht werden, denn sonst wären sechs Gruppen mit geringen Versuchspersonenanzahlen ( $N = 15$  bis  $N = 24$ ) miteinander verglichen worden.

Da es möglich ist, dass die beiden Trainingsbedingungen unterschiedliche Anforderungen an das kognitive System stellten und somit nicht davon ausgegangen werden kann, dass sich alle Gruppen im Training gleich verhielten, ist es möglich, dass Leistungsstarke und Leistungsschwache unterschiedliche Bearbeitungsstrategien anwendeten und sich diese auch innerhalb der Trainingsaufgaben unterschieden. Aus diesem Grunde wurde der Vergleich von allen sechs Gruppen immer mit aufgeführt. Bei diesen Analysen ist zu beachten, dass die Versuchspersonenanzahl pro Gruppe durch den Mediansplit sehr gering war, sodass die Ergebnisse der frequentistischen Statistik nur unzureichend interpretierbar sind. Die Bayes-Analysen kämen in der Regel auch mit geringeren Versuchspersonenzahlen aus, wobei die Fehlerwahrscheinlichkeit steigt, je geringer die Stichprobengröße ist und der Bayes-Faktor mit erhöhter Probandenzahl ebenfalls leicht ansteigt (van Doorn et al., 2021). Deswegen sollten auch die Ergebnisse der Bayes-Analyse nur vorsichtig interpretiert werden.

Wie bisher wurden Mixed-Model-ANOVAs mit den Innersubjektfaktoren Testzeitpunkt sowie testspezifischen Faktoren und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe berechnet. Es wurden in allen Analysen nur die Interaktionen zwischen Testzeitpunkt (Prä/Post) und Gruppe (s. o.) oder Testzeitpunkt, Gruppe und testspezifischen Faktoren berichtet. Dieses geschah immer unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe.

Deskriptive Statistiken wurden immer tabellarisch aufgeführt. Zur besseren Übersicht wurden MW und SD nur für die sechs Einzelgruppen Leistungsstarker und -schwacher aufgeführt. Für die zusammengefassten Gruppen wurden diese nicht aufgeführt. Wenn für einen Test oder das Training Interaktionen gezeigt wurden, so wurden die Daten auch als Abbildung zur visuellen Exploration der Interaktion dargestellt.

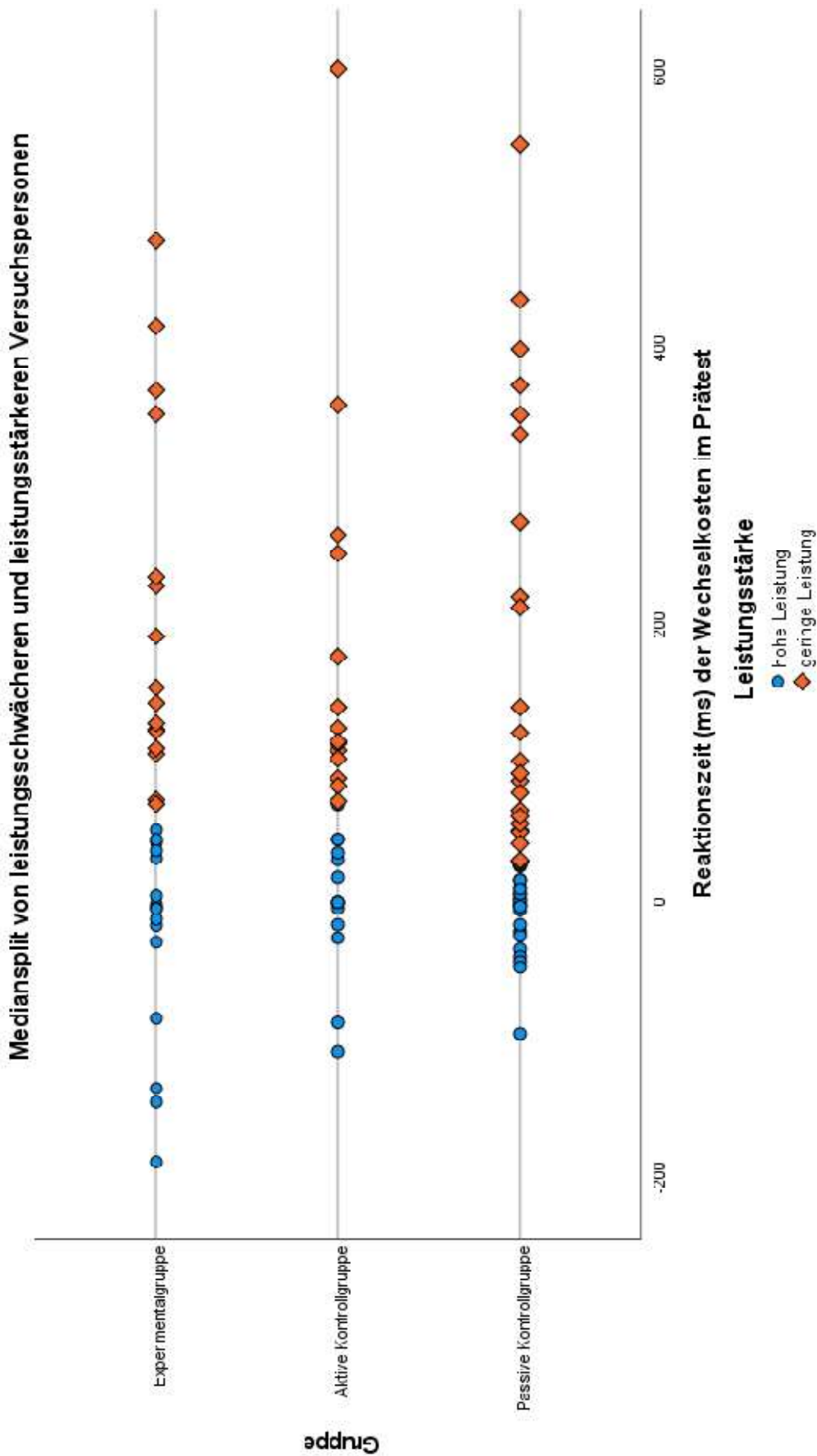
Die sechs Gruppen unterschieden sich nicht signifikant im Hinblick auf das Alter ( $F(5, 101) = 0.650$ ;  $p = 0.662$ ), das Geschlecht ( $\chi^2(5) = 8.556$ ;  $p = 0.128$ ) oder den Beruf ( $\chi^2(6) = 6.922$ ;  $p = 0.328$ ). Dies galt auch für den Vergleich der zwei Gruppen (Alter:

$F(1, 105) = 0.574$ ;  $p = 0.451$ ; Geschlecht:  $\chi^2(1) = 0.079$ ;  $p = 0.779$ ; Beruf:  $\chi^2(3) = 5.697$ ;  $p = 0.127$ ).

Um zu untersuchen, ob sich die sechs Gruppen nach dem Mediansplit auch in weiteren Aspekten des Aufgabenwechslens unterschieden, wurden die sechs Gruppen in den analysierten Merkmalen im Prätest verglichen. Die Ergebnisse zu diesem Vergleich sind in Tabelle 62 zu finden. Außer in den RT-SC zeigten sich keine weiteren Gruppenunterschiede. Da die SC die Differenz zwischen Wechsel- und Wiederholungstrials sind, sollte einer dieser beiden Faktoren ebenfalls signifikant unterschieden sein, was nicht der Fall zu sein scheint. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass die beiden Maße hoch miteinander korreliert waren ( $r = 0.901$ ;  $p < 0.001$ ), sodass die Differenz zwischen den Gruppen signifikant unterschiedlich sein könnte, die einzelnen Trialtypen jedoch nicht. Dies ist auch vor dem Hintergrund zu betrachten, dass die Stichprobengröße der einzelnen Gruppen sehr gering war.

**Tabelle 62:** Mediansplit: Vergleich relevanter Merkmale des Aufgabenwechslens im Prätest (6 Gruppen). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

ANOVA Vergleich aller sechs Teilgruppen im Prätest Aufgabenwechsel						
	df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}$	Fehler ( $B_{10}$ )
Wiederholungstrials (RT)	5, 101	0.138	0.983	0.007	0.043	0.008
Wechseltrials (RT)	5, 101	1.611	0.164	0.074	0.347	$3.894 \cdot 10^{-5}$
<b>Wechselkosten (RT)</b>	<b>5, 101</b>	<b>18.403</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.477</b>	<b><math>1.322 \cdot 10^0</math></b>	<b>0.004</b>
Wiederholungstrials (Acc)	5, 101	1.779	0.124	0.081	0.428	$1.537 \cdot 10^{-5}$
Wechseltrials (Acc)	5, 101	0.724	0.607	0.035	0.083	0.002
Wechselkosten (Acc)	5, 101	1.983	0.088	0.089	0.637	$1.976 \cdot 10^{-5}$
Wiederholungsblock (RT)	5, 101	1.286	0.276	0.060	0.211	$2.469 \cdot 10^{-4}$
Mixingkosten (RT)	5, 101	1.222	0.304	0.057	0.181	0.041
Wiederholungsblock (Acc)	5, 101	0.751	0.587	0.036	0.087	0.002
Mixingkosten (Acc)	5, 101	1.229	0.301	0.057	0.181	0.033



**Abbildung 50:** Mediansplit: Aufteilung der Versuchsteilnehmenden in Leistungsstarke und Leistungsschwache. Die Versuchspersonen wurden anhand eines Mediansplits nach den Wechselkosten im Cued-TS-Transfertest in hoch (geringe SC) und gering (hohe SC) Leistende aufgeteilt.

Wenn die zusammengefassten Stichproben aus hoch und gering Leistenden verglichen wurden, dann zeigte sich zudem ein signifikanter Unterschied bei den Wechseltrials in der RT ( $p = 0.006$ ;  $\eta_p^2 = 0.07$ ;  $B_{10} = 6.492$  (Fehler: 0.005); MW (SD): Leistungsstarke: 831 (360); Leistungsschwache: 1009 (288)). Weitere Analysen wurden durch diese Art der Analyse nicht signifikant.

## 5.4 Analyse des Trainings nach Mediansplit

Da in den vorherigen Analysen des Trainingsfortschritts (Kap. 3.1) der Haupteffekt für Gruppe signifikant wurde, würde eine Analyse der Trainingssitzungen unter Einbezug aller vier Gruppen hier schwer zu interpretieren sein. Deswegen wurden innerhalb der beiden Trainingsgruppen Versuchspersonen in Leistungsstarke und -schwache geteilt und die Trainingsfortschritte innerhalb der Experimental- und innerhalb der aktiven Kontrollgruppe untersucht. Es wurden nur die Reaktionszeiten untersucht, da die Analyse der Genauigkeit in den bisherigen Untersuchungen keine relevanten Ergebnisse brachte.

Die direkte Analyse der SC wurde nicht durchgeführt, da die Interaktion von Testzeitpunkt\*Gruppe\*Trialtypen, wie auch bisher, der Interaktion von Testzeitpunkt\*Gruppe der Analyse der SC entspricht. Die MW und SD der SC pro Trainingssitzung sind jedoch in Tabelle 64 dargestellt.

Die in Tabelle 63 dargestellte Analyse unter Einbezug der Trialtypen zeigte, wenn beide Trainingsgruppen einzeln analysiert wurden, für beide Analysen eine signifikante Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe nach  $B_{inkl}$ . Die frequentistischen Analysen wurden nicht signifikant und die Effektstärke sprach für einen geringen Effekt. Die deskriptiven Statistiken sind in Abbildung 51 bzw. Tabelle 65 für MW und SD zu finden.

Die Trendanalysen sprachen für die Experimentalgruppe im Haupteffekt Trainingssitzung für einen linearen Verlauf ( $F(1, 25) = 4.952$ ;  $p = 0.035$ ;  $\eta_p^2 = 0.165$ ). Auch für die aktive Kontrollgruppe sprach der Trend für einen linearen Verlauf ( $F(1, 24) = 33.352$ ;  $p < 0.001$ ;  $\eta_p^2 = 0.582$ ).

**Tabelle 63:** Mediansplit: Analyse des Trainings. 12\*2\*2 Mixed-Model-ANOVAs (Trainings-sitzung\*Trialtypen\*Gruppe (hoch und gering (alle, Experimentalgruppe und Kontrollgruppe)) AV: RT. Es zeigten sich stärkere Reaktionszeitverbesserungen bei den Geringleistenden. Für MW und SD siehe Tabelle 65. Für detaillierte Erklärungen der Interaktion siehe. Text. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen. (Alle Analysen sind nach Greenhouse-Geisser korrigiert.)

<b>Analyse der Trialtypen im Training</b>					
<b>Effekte</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b>B<sub>inkl</sub></b>
<b>Analyse der Experimentalgruppe (leistungsstarke und -schwache Versuchspersonen)</b>					
<b>Testzeitpunkt*Gruppe</b>	<b>2.733,</b>	<b>1.193</b>	<b>0.317</b>	<b>0.046</b>	<b>1.654·10<sup>14</sup></b>
	<b>68.259</b>				
Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen	4.043,	1.344	0.259	0.051	8.961·10 <sup>-7</sup>
	101.085				
<b>Analyse der aktiven Kontrollgruppe (leistungsstarke und -schwache Versuchspersonen)</b>					
<b>Testzeitpunkt*Gruppe</b>	<b>2.212,</b>	<b>1.135</b>	<b>0.333</b>	<b>0.045</b>	<b>2.136</b>
	<b>53.099</b>				
Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen	4.776,	1.231	0.300	0.049	1.993·10 <sup>-6</sup>
	114.633				

Post-hoc-Analysen zur signifikanten Interaktion zwischen Trainingssitzung und Gruppe zeigten nach der Bayes-Analyse, dass diese Interaktion bei der Analyse der Experimentalgruppe für den Übergang von Sitzung vier zu fünf, also für den Übergang von Schwierigkeitsstufe eins zu zwei signifikant wurde ( $F(1, 28) = 4.701$ ,  $p = 0.039$ ;  $\eta_p^2 = 0.144$ ;  $B_{inkl} = 8.096$ ). Die Interaktion deutet darauf hin, dass in Stufe zwei Versuchsteilnehmende mit geringer Leistung in den SC langsamer wurden als Probanden und Probandinnen mit hohen Leistungen, die sich beim Stufenübergang weiter verbesserten. Während Schwierigkeitsgrad zwei verbesserten sich die Leistungsstärkeren über die vier Trainingssitzungen jedoch in den RT nicht mehr ( $F(3, 42) = 2.658$ ;  $p = 0.061$ ;  $\eta_p^2 = 0.16$ ;  $B_{10} = 0.552$  (Fehler: 0.523)). Die Leistungsschwächeren erzielten weitere Verbesserungen ( $F(3, 45) = 7.282$ ;  $p < 0.001$ ;  $\eta_p^2 = 0.327$ ;  $B_{10} = 275.900$  (Fehler: 0.507)).

Für die aktive Kontrollgruppe zeigte die Post-hoc-Analyse, dass diese Interaktion für den Übergang von Sitzung eins zu zwei ( $F(1, 25) = 2.676$ ;  $p = 0.114$ ;  $\eta_p^2 = 0.097$ ;  $B_{inkl} = 2.634$ ) sowie den Übergang von Sitzung acht zu neun (Übergang von Schwierigkeitsstufe zwei zu drei) signifikant wurde ( $F(1, 26) = 12.014$ ;  $p = 0.002$ ;  $\eta_p^2 = 0.316$ ;  $B_{inkl} = 99752.425$ ). Die Interaktion beim Übergang von Stufe acht zu neun zeigte an, dass die leistungsschwachen Versuchspersonen eine stärkere Verbesserung der Reaktionszeit zeigten als diejenigen mit hoher Leistung. Dies könnte allerdings dadurch zu erklären sein, dass sich die Probandinnen und Probanden mit geringer Leistung an die verringerte Antwortzeit anpassen mussten, wobei hoch leistende Probanden zu diesem Zeitpunkt schon schnell genug waren, um sich nicht aktiv weiter verbessern zu müssen. Für beide Gruppen schien es innerhalb der dritten Schwierigkeitsstufe keine

Veränderung über die Trainingssitzungen zu geben (Leistungsschwächere:  $F(3, 33) = 0.725$ ;  $p = 0.545$ ;  $\eta_p^2 = 0.062$ ;  $B_{10} = 0.273$  (Fehler: 0.551); Leistungsstärkere: Greenhouse-Geisser:  $F(1.896, 26.547) = 0.220$ ;  $p = 0.793$ ;  $\eta_p^2 = 0.015$ ;  $B_{10} = 0.078$  (Fehler: 0.588)).

Auch nach Mediansplit zeigte sich im Training keine Verbesserung der SC. Lediglich die Reaktionszeiten veränderten sich in Abhängigkeit des Leistungsniveaus in beiden Gruppen.

**Tabelle 64:** Mediansplit des Trainings: Wechselkosten. MW und SD der Wechselkosten je Trainingssitzung.

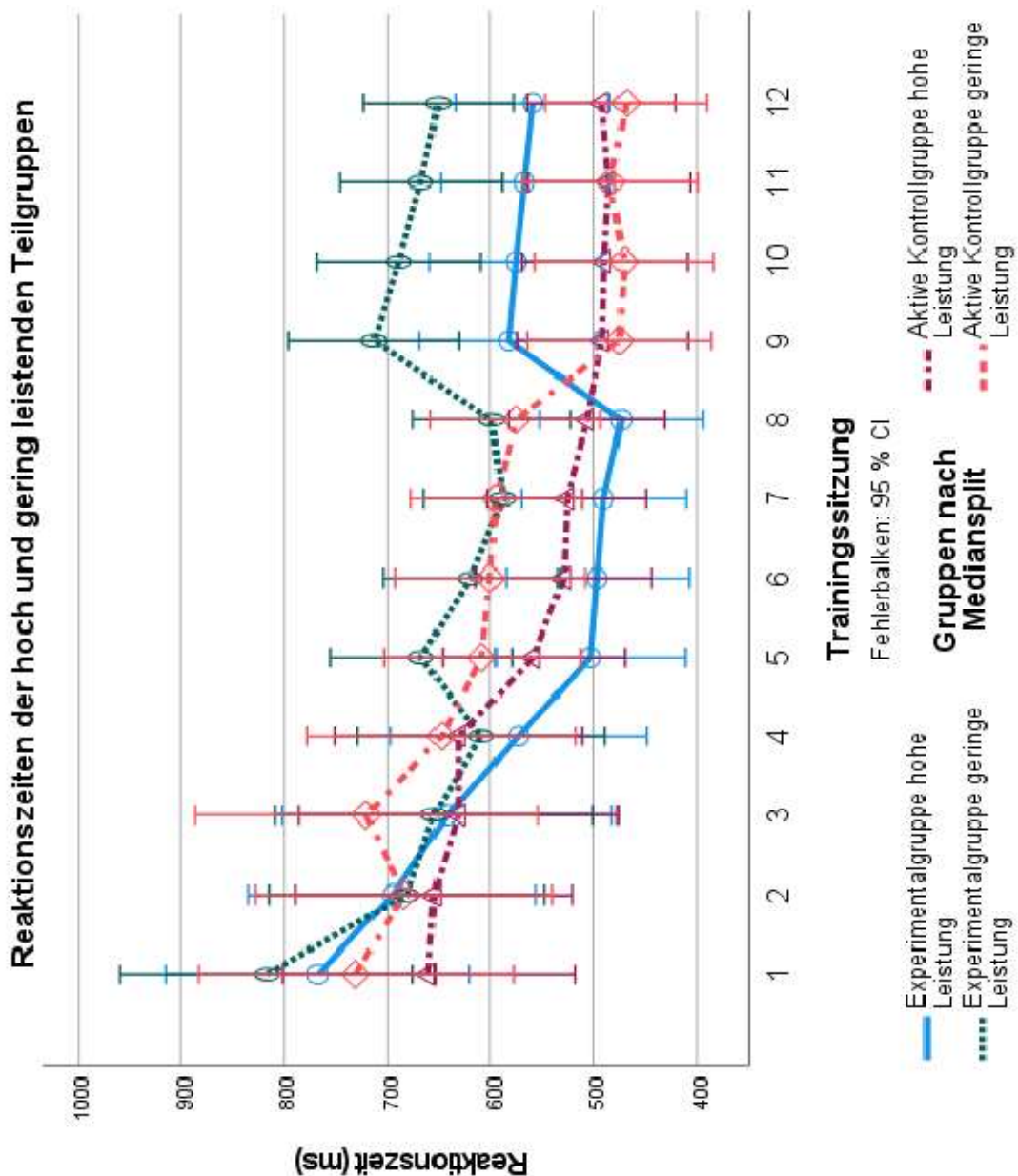
<b>Wechselkosten Training Mediansplit (RT (ms))</b>				
<b>Trainings- sitzung</b>	<b>Experimentalgruppe (MW (SD))</b>		<b>Aktive Kontrollgruppe (MW (SD))</b>	
	<b>Hohe Leistung (N = 13)</b>	<b>Geringe Leistung (N = 14)</b>	<b>Hohe Leistung (N = 14)</b>	<b>Geringe Leistung (N = 12)</b>
<b>1</b>	90 (121)	93 (106)	23 (23)	26 (66)
<b>2</b>	92 (155)	87 (99)	14 (30)	27 (43)
<b>3</b>	55 (108)	72 (75)	18 (22)	32 (35)
<b>4</b>	41 (37)	90 (62)	13 (12)	41 (47)
<b>5</b>	36 (56)	91 (62)	17 (15)	19 (25)
<b>6</b>	34 (42)	67 (74)	20 (19)	16 (19)
<b>7</b>	18 (31)	85 (56)	24 (23)	15 (25)
<b>8</b>	31 (31)	83 (71)	9 (16)	13 (17)
<b>9</b>	-4 (29)	65 (63)	8 (18)	5 (19)
<b>10</b>	18 (44)	41 (40)	7 (12)	10 (16)
<b>11</b>	14 (30)	19 (79)	8 (12)	5 (30)
<b>12</b>	19 (28)	24 (60)	-0.57 (17)	10 (14)

**Tabelle 65:** Mediansplit des Trainings: Trialtypen. MW und SD der Trialtypen je Trainingssitzung

<b>Trialtypen Training Mediansplit (RT – ms)</b>								
<b>Sitzungs- nummer</b>	<b>Experimentalgruppe (MW (SD))</b>				<b>Aktive Kontrollgruppe (MW (SD))</b>			
	<b>Hohe Leistung (N = 13)</b>		<b>Geringe Leistung (N = 14)</b>		<b>Hohe Leistung (N = 14)</b>		<b>Geringe Leistung (N = 12)</b>	
	<b>Wieder- holung</b>	<b>Wechsel</b>	<b>Wieder- holung</b>	<b>Wechsel</b>	<b>Wieder- holung</b>	<b>Wechsel</b>	<b>Wieder- holung</b>	<b>Wechsel</b>
<b>1</b>	723 (291)	812 (364)	770 (295)	864 (330)	648 (218)	671 (222)	717 (162)	744 (168)
<b>2</b>	649 (288)	741 (343)	638 (227)	725 (284)	648 (262)	662 (243)	670 (160)	697 (150)
<b>3</b>	614 (268)	669 (314)	619 (225)	691 (247)	622 (241)	640 (233)	704 (381)	736 (389)
<b>4</b>	553 (226)	593 (239)	563 (216)	654 (264)	624 (236)	638 (238)	627 (176)	667 (174)
<b>5</b>	485 (112)	521 (97)	621 (227)	713 (252)	545 (139)	567 (137)	598 (140)	617 (144)
<b>6</b>	479 (127)	513 (126)	586 (215)	652 (248)	519 (91)	539 (99)	592 (154)	609 (151)
<b>7</b>	481 (130)	499 (125)	545 (175)	630 (206)	514 (86)	538 (87)	587 (148)	602 (153)
<b>8</b>	457 (119)	488 (125)	557 (178)	640 (229)	502 (74)	511 (67)	569 (134)	581 (145)
<b>9</b>	584 (86)	580 (91)	681 (229)	745 (269)	488 (101)	496 (98)	473 (111)	477 (119)
<b>10</b>	566 (75)	584 (86)	669 (221)	709 (252)	486 (111)	493 (106)	465 (108)	475 (119)
<b>11</b>	560 (55)	574 (75)	658 (245)	677 (219)	481 (88)	489 (84)	481 (135)	486 (147)
<b>12</b>	549 (72)	568 (69)	638 (204)	662 (199)	492 (104)	491 (97)	463 (132)	473 (130)

Auf die Analysen der Distraktoranwesenheit hatte der Einbezug der Leistungsstärken keinen Einfluss.





**Abbildung 51:** Mediansplit des Trainings: Interaktion von Trainingssitzung und Gruppe. Dargestellt sind die Reaktionszeiten der hoch und gering Leistenden innerhalb der Experimental- und aktiven Kontrollgruppe. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an.  $B_{inkl}$  zeigte für die Experimentalgruppe signifikante Gruppenunterschiede zwischen Sitzung vier und fünf, wonach gering leistende Probanden sich verschlechterten. Für die aktive Kontrollgruppe zeigte sich von Stufe acht zu neun eine stärkere RT-Verbesserung für die gering Leistenden. (Genauere Ergebnisse siehe Tabelle 63.)

### 5.5 Analyse des nahen Transfers nach Mediansplit

Deskriptive Statistiken (MW und SD) für die Wechsel- und Mixingkosten sind in Tabelle 66 bzw. 69 zu finden. Die Analyse der Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe und Trial- bzw. Blocktypen entspricht wie bisher der Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe aus der Analyse der SC bzw. MC.

**Tabelle 66:** Mediansplit: Wechselkosten im Cued-TS-Transfertest. Aufgeführt sind MW und SD in Reaktionszeiten und Genauigkeit der sechs Teilgruppen.

<b>Wechselkosten (Mediansplit)</b>				
<b>Gruppe</b>	<b>Prä (RT) MW (SD)</b>	<b>Post (RT) MW (SD)</b>	<b>Prä (Acc) MW (SD)</b>	<b>Post (Acc) MW (SD)</b>
<b>Experimentalgruppe</b>				
Hohe Leistung (N = 16)	-26.5 (73)	114 (147)	-0.01 (0.08)	0.01 (0.04)
Geringe Leistung (N = 16)	206 (128)	86 (77)	0.02 (0.05)	0.03 (0.03)
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>				
Hohe Leistung (N = 15)	4 (51)	18 (51)	0.01 (0.05)	0.01 (0.04)
Geringe Leistung (N = 14)	185 (145)	26 (66)	0.04 (0.07)	0.03 (0.06)
<b>Passive Kontrollgruppe</b>				
Hohe Leistung (N = 23)	-9 (29)	35 (82)	0.01 (0.06)	0.04 (0.06)
Geringe Leistung (N = 23)	180 (155)	65 (118)	0.05 (0.04)	0.001 (0.06)

Die in Tabelle 67 dargestellte Analyse der Trialtypen (deskriptive Statistiken: Abbildung 52, MW und SD in Tabelle 68) zeigte mit hoher Effektstärke signifikante Gruppenunterschiede in den Verbesserungen der SC-RT. Leistungsschwächere Versuchspersonen zeigten stärkere Verbesserungen in den Wechseltrials als in den Wiederholungstrials als leistungstärkere Probanden und Probandinnen. Für die drei Gruppen der leistungsschwächeren Versuchsteilnehmenden zeigte sich in einer 2\*2\*3 (Testzeitpunkt\*Trialtypen\*Gruppe) Mixed-Model-ANOVA jedoch keine Interaktion zwischen den drei Gruppen ( $F(2, 50) = 0.507$ ;  $p = 0.606$ ;  $\eta_p^2 = 0.020$ ;  $B_{inkl} = 0.327$ ). Die leistungsschwachen Gruppen unterschieden sich also in ihrer Entwicklung wahrscheinlich nicht voneinander.

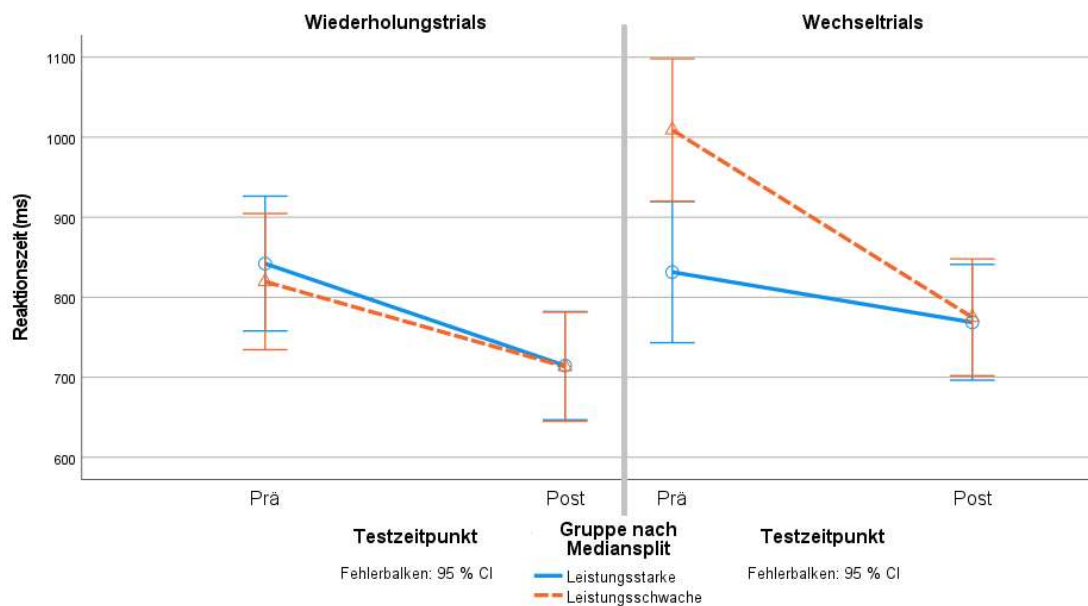
Die Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe deutete darauf hin, dass sich die leistungsschwächeren Gruppen in ihrer RT stärker verbesserten als die leistungstärkeren. Die Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe wurde jedoch für die drei leistungsschwachen Gruppen in der frequentistischen Analyse nicht signifikant. Der Bayes-Faktor sprach jedoch für  $H_1$  ( $F(2, 50) = 2.617$ ;  $p = 0.083$ ;  $\eta_p^2 = 0.095$ ;  $B_{inkl} = 7.016$ ). Da das N je Gruppe gering war, wurde hier die Bayes-Analyse interpretiert. Für den Vergleich der leistungsschwachen Gruppen aus Experimentalgruppe mit aktiver Kontrollgruppe ( $B_{inkl} = 3.007$ ) in Bezug auf die RT lieferte  $B_{inkl}$  substantielle Evidenz für  $H_1$  bzw. anekdotische Belege für  $H_0$  beim Vergleich der Experimentalgruppe mit der passiven Kontrollgruppe ( $B_{inkl} = 0.338$ ). Für den Vergleich von aktiver und passiver Kontrollgruppe sprach die Bayes-Analyse mit starker Evidenz für  $H_1$  ( $B_{inkl} = 24.635$ ). Für die Genauigkeit konnten diese Effekte nicht gezeigt werden.

**Tabelle 67:** Mediansplit: Analyse der Trialtypen im Cued-TS-Transfertest. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

<b>Mediansplit - Aufgabenwechseltest - Wechselkosten</b>					
<b>Effekte</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b><math>B_{inkl}</math></b>
<b>Vergleich der sechs Gruppen</b>					
<i>Testzeitpunkt*Gruppe (RT)</i>	<i>5, 101</i>	<i>2.394</i>	<i>0.046</i>	<i>0.104</i>	<i>543.619</i>
<i>Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen (RT)</i>	<i>5, 101</i>	<i>13.809</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.406</i>	<i>21.755</i>
Testzeitpunkt*Gruppe (Acc)	5, 101	1.048	0.394	0.049	0.205
Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen (Acc)	5, 101	2.033	0.080	0.091	7.090·10 <sup>-4</sup>
<b>Analyse leistungsstarker und -schwacher Versuchspersonen (gemittelt über alle Gruppen)</b>					
<i>Testzeitpunkt*Gruppe (RT)</i>	<i>1, 105</i>	<i>3.334</i>	<i>0.071</i>	<i>0.031</i>	<i>220.845</i>
<i>Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen (RT)</i>	<i>1, 105</i>	<i>56.498</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.350</i>	<i>268.603</i>
Testzeitpunkt*Gruppe (Acc)	1, 105	0.358	0.551	0.003	0.111
Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen (Acc)	1, 105	4.561	0.035	0.042	0.015

**Tabelle 68:** Mediansplit: Wiederholungs- und Wechseltrials im Cued-TS-Transfertest. Aufgeführt sind MW und SD in RT und Acc der Trialtypen im Prä- und Posttest für alle sechs Teilgruppen.

<b>Mediansplit - Aufgabenwechseltest - Trialtypen</b>								
<b>Gruppe</b>	<b>Prä (RT)</b>		<b>Post (RT)</b>		<b>Prä (Acc)</b>		<b>Post (Acc)</b>	
	<b>MW (SD)</b>		<b>MW (SD)</b>		<b>MW (SD)</b>		<b>MW (SD)</b>	
	<b>Wiederholung</b>	<b>Wechsel</b>	<b>Wiederholung</b>	<b>Wechsel</b>	<b>Wiederholung</b>	<b>Wechsel</b>	<b>Wiederholung</b>	<b>Wechsel</b>
<b>Experimentalgruppe</b>								
Hohe Leistung (N = 16)	843 (412)	807 (372)	682 (237)	796 (296)	0.83 (0.13)	0.83 (0.12)	0.90 (0.11)	0.89 (0.09)
Geringe Leistung (N = 16)	801 (233)	1007 (332)	687 (234)	783 (249)	0.84 (0.12)	0.83 (0.13)	0.92 (0.08)	0.89 (0.08)
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>								
Hohe Leistung (N = 15)	825 (306)	829 (285)	633 (207)	651 (199)	0.88 (0.11)	0.88 (0.12)	0.94 (0.03)	0.93 (0.04)
Geringe Leistung (N = 14)	787 (151)	972 (226)	604 (145)	631 (152)	0.91 (0.04)	0.87 (0.07)	0.94 (0.04)	0.91 (0.05)
<b>Passive Kontrollgruppe</b>								
Hohe Leistung (N = 23)	858 (407)	849 (407)	790 (331)	825 (332)	0.89 (0.12)	0.88 (0.1)	0.93 (0.07)	0.90 (0.07)
Geringe Leistung (N = 23)	852 (264)	1032 (299)	790 (219)	856 (239)	0.91 (0.08)	0.87 (0.09)	0.91 (0.08)	0.91 (0.07)



**Abbildung 52:** Mediansplit: Wiederholungs- und Wechseltrials im Cued-TS-Transfertest (hoch und gering Leistende). In den Wechseltrials verbesserte sich die Gruppe der gering Leistenden stärker als die der hoch Leistenden. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an.

Die Analyse der Mixingkosten (Tabelle 69 für MW und SD), ausgeführt über den Vergleich von Wiederholungstrials mit Wiederholungsblocken (Tabelle 70 für MW und SD), zeigte keine Unterschiede zwischen hoch und gering leistenden Versuchsteilnehmenden. Die Analyseergebnisse sind in Tabelle 71 dargestellt.

**Tabelle 69:** Mediansplit: Mixingkosten im Cued-TS-Transfertest. Aufgeführt sind MW und SD in RT und Acc der sechs Teilgruppen.

Mediansplit – Aufgabenwechselltest - Mixingkosten				
Gruppe	Prä (RT) MW (SD)	Post (RT) MW (SD)	Prä (Acc) MW (SD)	Post (Acc) MW (SD)
<b>Experimentalgruppe</b>				
Hohe Leistung (N = 16)	233 (375)	84 (222)	-0.1 (0.10)	-0.05 (0.10)
Geringe Leistung (N = 16)	103 (189)	80 (157)	-0.07 (0.12)	-0.03 (0.05)
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>				
Hohe Leistung (N = 15)	134 (128)	49 (89)	-0.03 (0.12)	-0.02 (0.04)
Geringe Leistung (N = 14)	92 (156)	64 (126)	-0.04 (0.05)	0.01 (0.06)
<b>Passive Kontrollgruppe</b>				
Hohe Leistung (N = 23)	127 (236)	97 (171)	-0.06 (0.11)	-0.02 (0.07)
Geringe Leistung (N = 23)	61 (156)	47 (160)	-0.03 (0.07)	-0.03 (0.07)

**Tabelle 70:** Mediansplit: Wiederholungstrials und Wiederholungsblöcke im Cued-TS-Transfertest. Aufgeführt sind MW und SD in RT und Acc der Trialtypen im Prä- und Posttest für alle sechs Teilgruppen.

<b>Mediansplit – Aufgabenwechselfest - Blocktypen</b>								
<b>Gruppe</b>	<b>Prä (RT)</b>		<b>Post (RT)</b>		<b>Prä (Acc)</b>		<b>Post (Acc)</b>	
	<b>MW (SD)</b>		<b>MW (SD)</b>		<b>MW (SD)</b>		<b>MW (SD)</b>	
	<b>Trials</b>	<b>Blöcke</b>	<b>Trials</b>	<b>Blöcke</b>	<b>Trials</b>	<b>Blöcke</b>	<b>Trials</b>	<b>Blöcke</b>
<b>Experimentalgruppe</b>								
Hohe Leistung (N = 16)	834 (413)	601 (90)	682 (237)	597 (99)	0.83 (0.13)	0.93 (0.09)	0.90 (0.11)	0.95 (0.07)
Geringe Leistung (N = 16)	801 (234)	698 (181)	697 (234)	616 (127)	0.85 (0.12)	0.92 (0.08)	0.92 (0.08)	0.95 (0.05)
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>								
Hohe Leistung (N = 15)	825 (306)	691 (268)	633 (207)	584 (152)	0.89 (0.12)	0.92 (0.17)	0.95 (0.04)	0.97 (0.02)
Geringe Leistung (N = 14)	787 (151)	694 (131)	604 (146)	540 (83)	0.92 (0.05)	0.96 (0.03)	0.95 (0.05)	0.94 (0.07)
<b>Passive Kontrollgruppe</b>								
Hohe Leistung (N = 23)	858 (408)	730 (240)	790 (332)	693 (207)	0.89 (0.12)	0.96 (0.06)	0.94 (0.07)	0.96 (0.06)
Geringe Leistung (N = 23)	852 (264)	790 (337)	790 (219)	743 (206)	0.92 (0.08)	0.95 (0.04)	0.91 (0.08)	0.96 (0.07)

**Tabelle 71:** Mediansplit: Analyse der Blocktypen im Cued-TS-Transfertest. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

<b>Analyse der Blocktypen Mixed-Model-ANOVA von Testzeitpunkt*Gruppe</b>						
<b>Effekte</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b><math>B_{inkl}</math></b>	
<b>Analyse aller sechs Gruppen</b>						
Testzeitpunkt*Gruppe (RT)	5, 101	1.535	0.186	0.071	0.164	
Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen (RT)	5, 101	1.086	0.373	0.051	0.003	
Testzeitpunkt*Gruppe (Acc)	5, 101	1.808	0.118	0.082	0.115	
Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen (Acc)	5, 101	1.001	0.421	0.047	0.004	
<b>Analyse gering und hoch leistender Versuchspersonen (über alle Gruppen)</b>						
Testzeitpunkt*Gruppe (RT)	1, 105	0.079	0.779	0.001	0.107	
Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen (RT)	1, 105	2.322	0.131	0.022	0.038	
Testzeitpunkt*Gruppe (Acc)	1, 105	1.769	0.186	0.017	0.178	
Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen (Acc)	1, 105	0.452	0.503	0.004	0.030	

## 5.6 Analyse des fernen Transfers nach Mediansplit

Die Analyse der Tests zum fernen Transfer ergab keine signifikanten Interaktionen. Die Ergebnisse mitsamt tabellarischer Übersicht von MW und SD sind im Anhang A18 zu finden. Das Fehlen der Interaktion deutet darauf hin, dass auch vermeintlich leistungsschwache Versuchsteilnehmende nicht die, dem Training unterliegenden, Funktionen transferieren konnten.

## 5.7 Ermittlung des Zusammenhanges zwischen den getesteten kognitiven Funktionen

Da auch nach dem Mediansplit kein Transfer des Cued-TS auf andere getestete kognitive Funktionen gezeigt werden konnte, liegt die Vermutung nahe, dass kein Zusammenhang zwischen den Funktionen des Trainings und den getesteten kognitiven Funktionen zum fernen Transfer besteht.

*Es sollten keine Unterschiede zwischen den leistungsstarken und leistungsschwachen Versuchspersonen in den kritischen Prätestwerten der Transfertests bestehen.*

Um diese Hypothese zu überprüfen, wurden die hoch und gering leistenden Probandinnen und Probanden in den kritischen Faktoren der Prätests der Transferaufgaben durch ANOVAs miteinander verglichen. Da sich die Wechselkosten signifikant zwischen den Gruppen der hoch und gering Leistenden unterschieden, müssten sich diese Gruppen auch in den anderen gemessenen Funktionen, nämlich den Aufmerksamkeitsnetzwerken, dem Stroop-Effekt, K-Max und unnötige Speicherung des Change Detection, der Anzahl maximal memorierter Stimuli im PAL sowie im PR-Maß des assoziativen Rekognitionstestes unterscheiden, wenn diese mit den SC zusammenhängen würden. Wenn Funktionen, die an der Entstehung der SC beteiligt sind, auch den oben genannten unterliegen, ist es wahrscheinlich, dass Versuchspersonen, die geringe Leistungen in den SC zeigen, auch geringe Leistungen in den anderen gemessenen kognitiven Funktionen zeigen. Die bisherige Analyse spricht jedoch dafür, dass nach den SC in hoch und gering leistung aufgeteilte Gruppen sich nicht signifikant in den anderen Funktionen unterscheiden sollten.

Um zu zeigen, dass hoch und gering leistende Gruppen sich nicht unterscheiden, wäre der Bayes-Faktor  $B_{01}$  geeignet, der die Evidenz für  $H_0$  angibt. Da es in den bisherigen Untersuchungen um Unterschiede ging, wurde dort  $B_{10}$  berichtet. Aus Gründen der

Konsistenz wird dieser Faktor weiterhin berichtet. Die frequentistische Analyse wurde zwar mitberichtet, ist für diese Untersuchung jedoch weniger relevant, da aus ihr keine Aussagen zur Annahme der  $H_0$  abgeleitet werden können.

Die in Tabelle 72 dargestellten Analysen zeigten, dass sich hoch und gering Leistende nur in den SC unterschieden. In den anderen Testmerkmalen zeigte sich in der Regel kein Unterschied.

Zusammenfassend sprachen die Analysen des Prätests nach Mediansplit dafür, dass die, dem Aufgabenwechseln unterliegenden Funktionen, nicht an den Transfertests beteiligt zu sein scheinen.

**Tabelle 72:** Mediansplit: Analysen der Prätests. In keinem der Testfaktoren der fernen Transfertests unterschieden sich die Gruppen der hoch und gering Leistenden signifikant. Auch das PR-Maß im ADH zeigte nur anekdotische Evidenz für  $H_1$  bis zu weder Evidenz für  $H_0$  noch  $H_1$ . Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

<b>Vergleich von hoch und gering Leistenden in den Hauptmerkmalen der Untertests</b>						
	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b>B<sub>10</sub></b>	<b>Fehler (B<sub>10</sub>)</b>
<b>Aufgabenwechsel</b>						
<i>Wechselkosten (RT)</i>	<i>1, 106</i>	<i>93.357</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.471</i>	<i>1.235·10<sup>13</sup></i>	<i>1.006·10<sup>-16</sup></i>
Mixingkosten (RT)	1, 106	3.364	0.069	0.031	0.911	1.330·10 <sup>-5</sup>
<b>Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test</b>						
Aktivierung	1, 104	1.421	0.236	0.014	0.389	2.935·10 <sup>-5</sup>
Orientierung	1, 104	3.108	0.081	0.029	0.818	1.827·10 <sup>-5</sup>
Exekutive Aufmerksamkeit	1, 104	0.091	0.764	0.001	0.215	0.021
<b>Stroop-Test</b>						
Stroop-Effekt (RT)	1, 99	1.970	0.164	0.020	0.504	4.725·10 <sup>-5</sup>
<b>Change Detection (ohne und mit Filter)</b>						
K-Max	1, 103	0.091	0.763	0.001	0.216	0.023
US	1, 103	1.807	0.182	0.017	0.463	2.991·10 <sup>-5</sup>
<b>Paarassoziationslernen</b>						
Maximal memorierte Stimuli	1, 102	0.045	0.833	0.000	0.212	0.025
<b>Assoziativer Rekognitionstest</b>						
<i>PR-Maß</i>	<i>1, 106</i>	<i>4.436</i>	<i>0.038</i>	<i>0.041</i>	<i>1.456</i>	<i>9.668·10<sup>-6</sup></i>

## 6 Generelle Diskussion

Die Differenzierungsannahmen zum kognitiven Altern nehmen einen Generalfaktor an, der die alterskorrelierte Abnahme in kognitiven Funktionen medieren soll. Ein solcher diskutierter Generalfaktor ist die Inhibitionsfähigkeit. In dieser Arbeit sollte durch ein Cued-TS-Training mit Fokus auf die Inhibitionsfähigkeit ein nah-naher Transfer auf eine andere, strukturell ähnliche, Cued-TS-Aufgabe erfolgen. Ein nah-ferner Transfer sollte auf die Reaktionsinhibition und ein fern-ferner Transfer auf Aufmerksamkeits- und Gedächtnisfunktionen erzielt werden. Ein Transfer wurde in einer Verbesserung des Medians eines jeden Versuchsteilnehmenden in den jeweiligen kritischen Werten des Transfertests vom Prä- zum Posttest definiert (siehe Kap. 1.9). Als Nullhypothese wurde der mögliche Aufbau einer Aufgabenexpertise formuliert, worauf ein fehlender naher Transfer bei vorhandenen Trainingsverbesserungen hindeuten würde.

Die Kontrollgruppe trainierte in einem Cued-TS-Training mit Fokus auf die Reaktionsgeschwindigkeit. Dies entspricht nach Salthouse (2000) einem Training der Verarbeitungsgeschwindigkeit, welche ebenfalls als ein Generalfaktor des kognitiven Alterns diskutiert wird. Wie hergeleitet, wurde jedoch erwartet, dass das inhibitionsfokussierte Training zu einem stärkeren Transfer führen würde als das geschwindigkeitsfokussierte. Weil das geschwindigkeitsfokussierte Training als Kontrollgruppe diente, wurden zu Trainings- und Transfereffekten des geschwindigkeitsfokussierten Trainings keine spezifischen Hypothesen formuliert. Da die Ergebnisse dieses Trainings aber einerseits die Erklärung der hier erhobenen Daten zum Trainingstransfer erweitern und andererseits auch Ausgangspunkte für weitere Untersuchungen bieten könnten, werden diese Ergebnisse hier, im Rahmen der Ermittlung der Grundlagen von Trainingseffekten, diskutiert.

Es wurden frequentistische Analysen und Bayes-Analysen durchgeführt, wodurch auch Aussagen über die Wahrscheinlichkeit der  $H_0$  getätigt werden können. Signifikante Ergebnisse nach der frequentistischen Statistik mit geringen Effektstärken wurden nach den Ergebnissen der Bayes-Analyse interpretiert, falls diese von der frequentistischen Analyse abgewichen sein sollte.

Die Datenanalyse konnte keine Evidenz für die formulierten Alternativhypothesen (Kap. 1.9) liefern. Die Ergebnisse der Bayes-Hypothesentests dieser Arbeit sind in Tabelle 73 dargestellt. Im Training zeigten sich nach Bayes-Analysen möglicherweise



stärkere Verbesserungen der RT in den SC in der Experimental- als in der Kontrollgruppe, aber es zeigte sich keine Interaktion zwischen Trialtypen, Gruppe und Trainingszeitpunkt; jedoch ein Haupteffekt für Trainingssitzung in der Analyse der SC. Diese Ergebnisse werden in Kap. 6.1 genauer analysiert. Klarer scheint aber der Einfluss des Trainings auf die allgemeine Reaktionsgeschwindigkeit, welche sich wahrscheinlich in beiden Gruppen verbesserte, jedoch stärker in der aktiven Kontrollgruppe.

Die Analyse der Genauigkeit zeigte keine Verbesserungen. Da die Versuchspersonen wenige Fehler machten, gab es dabei auch wenig Potenzial zu Verbesserungen, was sich mit Befunden zu einem stärkeren Fokus bei Seniorinnen und Senioren auf die Genauigkeit deckt (Starns & Ratcliff, 2010; Forstman et al., 2011). Generell machten die Versuchspersonen in allen Testverfahren nur wenige Fehler, sodass Analysen der Fehler in der Diskussion nur sekundär behandelt wurden.

Im nahen Transfer gab es keine Evidenz für einen Transfer auf die SC. Es zeigte sich jedoch Evidenz für eine Verbesserung der generellen RT, welche jedoch stärker bei der aktiven Kontrollgruppe lag. Im Gegensatz zur Analyse der SC zeigte sich eine generelle Verbesserung der Mixingkosten in RT und Acc vom Prä- zum Posttest. Diese interagierte jedoch nicht mit der Trainingsgruppe. Es schien also keine spezifische Auswirkung von Inhibition oder Geschwindigkeitsfokus auf die Mixingkosten gegeben zu haben.

Im nah-fernen Transfer auf die Reaktionsinhibition im Stroop-Test zeigte sich ein Haupteffekt für die generellen RT, aber keine Interaktion.

Im fern-fernen Transfer auf die Aufmerksamkeit gab es keine Evidenz für einen Transfer auf die Aufmerksamkeitsnetzwerke, jedoch eine Verbesserung der generellen RT, welche bei der aktiven Kontrollgruppe stärker ausfiel als bei der Experimentalgruppe.

Im fern-fernen Transfer auf die Gedächtnismessungen gab es im Change Detection Evidenz für eine Verbesserung der Gedächtniskapazität für beide Gruppen, jedoch nicht für eine Verbesserung der unnötigen Speicherung. Auch im PAL zeigte sich Evidenz für eine Erhöhung der Gedächtniskapazität vom Prä- zum Posttest. Im assoziativen Rekognitionstest zum assoziativen episodischen Langzeitgedächtnis zeigte sich kein Transfereffekt.

**Tabelle 73:** Ergebnisübersicht für die gesamte Arbeit. Angegeben ist die Evidenz nach dem Bayes-Faktor für die, in dieser Arbeit formulierten Hypothesen.  $H_0$  nimmt an, dass keine unterschiedliche Entwicklung vom Prätest- zum Posttest zwischen den Gruppen besteht.  $H_1$  nimmt an, dass unterschiedliche Prätest-Posttest Entwicklungen zwischen den Gruppen bestehen. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass es keine unterschiedlichen Prätest-Posttest Entwicklungen zwischen den verschiedenen Gruppen gab.

<b>Tabellarische Ergebnisübersicht</b>		
<b>Hypothese</b>	Bayes-Faktor bietet Evidenz für:	
	<b><math>H_0</math></b>	<b><math>H_1</math></b>
<b>Erhebung 1</b>		
In beiden Trainingsparadigmen sollten unabhängig voneinander signifikante Verbesserungen der Wechselkosten auftreten		<b>x</b>
Das inhibitionsfokussierte Training sollte zu stärkeren Prätest-Posttest-Verbesserungen in Wechsel- und Mixingkosten in einer untrainierten Cued-TS-Aufgabe führen als das geschwindigkeitsfokussierte Training	<b>x</b>	
Das inhibitionsfokussierte Training sollte zu einer stärkeren Prätest-Posttest Verbesserung im Stroop-Effekt führen als das geschwindigkeitsfokussierte Training	<b>x</b>	
Das inhibitionsfokussierte Training sollte zu einer stärkeren Prätest-Posttest Verbesserung im exekutiven Aufmerksamkeitsnetzwerk führen als das geschwindigkeitsfokussierte Training	<b>x</b>	
Das inhibitionsfokussierte Training sollte zu einer stärkeren Prätest-Posttest Verbesserung im Filtern irrelevanter Stimuli im Change Detection mit Filter führen als das geschwindigkeitsfokussierte Training	<b>x</b>	
Das inhibitionsfokussierte Training sollte zu einer stärkeren Prätest-Posttest Verbesserung in der Veränderungsdetektion führen als das geschwindigkeitsfokussierte Training	<b>x</b>	
Das inhibitionsfokussierte Training sollte zu einer stärkeren Prätest-Posttest Verbesserung im Lernen von Paarassoziationen im Arbeitsgedächtnis führen als das geschwindigkeitsfokussierte Training	<b>x</b>	
Das inhibitionsfokussierte Training sollte zu einer stärkeren Prätest-Posttest Verbesserung im Lernen von Paarassoziationen im episodischen Gedächtnis führen als das geschwindigkeitsfokussierte Training	<b>x</b>	
<b>Erhebung 2</b>		
Die aktiven Gruppen sollten in den kritischen Werten der Testverfahren stärkere Veränderungen vom Prä- zum Posttest zeigen als die passive Kontrollgruppe ( <i>Anmerkung: Die aktive Kontrollgruppe zeigte jedoch stärkere Verbesserungen der Reaktionsgeschwindigkeit als die Experimentalgruppe oder die passive Kontrollgruppe.</i> )	<b>x</b>	
<b>Rekonzeptualisierung der Analysen durch Mediansplit</b>		
Leistungsschwächere Versuchspersonen sollten im Training unabhängig vom Trainingsparadigma stärkere Verbesserungen der Wechselkosten zeigen als leistungsstärkere Versuchspersonen	<b>x</b>	
Leistungsschwächere Versuchspersonen sollten in den kritischen Werten der Testverfahren stärkere Prätest-Posttest Verbesserungen zeigen als leistungsstärkere	<b>x</b>	
Es sollte kein Zusammenhang zwischen den Wechselkosten und den anderen getesteten Funktionen bestehen: Es sollten keine Unterschiede zwischen den Leistungsstarken und Leistungsschwachen Versuchspersonen in den kritischen Prätestwerten der Transfertests bestehen	<b>x</b>	

Weil die häufigen Haupteffekte für den Testzeitpunkt oder Interaktionen mit Beteiligung Testzeitpunkt, aber ohne Gruppe, für einen Transfereffekt hätten sprechen können, konnte nicht ausgeschlossen werden, dass dem Cued-TS-Training, unabhängig vom Trainingsfokus, Funktionen inhärent sind, welche transferiert worden sein

könnten. Um zu überprüfen, ob das Training zu einem Transfer führte, wurde eine passive Kontrollgruppe erhoben.

Die Analysen unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe zeigten keine Unterschiede in der Entwicklung vom Prä- zum Posttest zwischen Experimentalgruppe und passiver Kontrollgruppe. Unterschiedliche Entwicklungen zeigten sich jedoch für die aktive Kontrollgruppe im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen. Dieser Transfer bezog sich jedoch nur auf die RT im Cued-TS-Transfertest sowie im ANT. Unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe zeigte sich beim ANT in der frequentistischen Analyse eine signifikante Interaktion von Testzeitpunkt, Cuetyphen und Gruppe. Diese Interaktion wurde jedoch nur für den Unterschied von Experimental- zu passiver Kontrollgruppe signifikant, wies eine geringe Effektstärke auf und die Bayes-Analyse sprach mit außergewöhnlich starken Belegen gegen die Interaktion. Aus diesem Grunde wurde davon ausgegangen, dass dieser Effekt nicht vorlag. Möglicherweise gab es auch stärkere Verbesserungen im Stroop-Test, was an späterer Stelle genauer diskutiert werden soll. Für die Gedächtnisaufgaben zeigten sich keine Gruppenunterschiede nach Einbezug der passiven Kontrollgruppe. Die Daten sprachen also dafür, dass sich die Experimentalgruppe nicht stärker verbesserte als die passive Kontrollgruppe und die Versuchspersonen in der geschwindigkeitsfokussierten Kontrollgruppe ihre RT verbessern und transferieren konnten.

Um zu ermitteln, ob Transfereffekte in Bezug auf Aufgabenwechselkomponenten bei leistungsschwächeren Personen, die mehr Entwicklungspotenzial haben als leistungstärkere, aufgetreten sein könnten (z. B. Karbach, Könen & Spengler, 2017), wurden die Versuchspersonen mittels Mediansplit in leistungsstarke und leistungsschwache Gruppen aufgeteilt. Der Mediansplit wurde anhand der SC-RT des Prätests des Cued-TS-Transfertests durchgeführt.

In Bezug auf das Training der Experimentalgruppe schienen leistungsstarke und leistungsschwache Versuchspersonen unterschiedlich durch das Training beeinflusst worden zu sein. Leistungstärkere könnten zudem ihre RT im Vergleich zu den leistungsschwächeren stärker verbessert haben. Evidenz für eine Verbesserung in den SC zeigte sich jedoch nicht. Auch in der aktiven Kontrollgruppe schien es Unterschiede zwischen den Gruppen in den Trainingsentwicklungen zu geben. Dort schienen jedoch die Leistungsschwachen ihre RT stärker verbessern zu können als die Leistungstärkeren. Die Analysen wurden in der frequentistischen Analyse zwar nicht signifikant, aber die

Bayes-Analyse deutete auf Evidenz für einen Gruppenunterschied hin. Da die Bayes-Analyse robuster bei kleinen Stichprobengrößen sei als die frequentistische Analyse (van Doorn et al., 2021), wurde diese Analyse interpretiert. Weitere Gruppenunterschiede werden in den folgenden Kapiteln diskutiert.

Im nahen Transfer sprachen die Analysen dafür, dass die Leistungsschwachen stärkere Verbesserungen in den Wechseltrials als in den Wiederholungstrials zeigten als die Leistungsstarken. Dieser Effekt schien sich jedoch zwischen den drei leistungsschwachen Gruppen nicht zu unterscheiden, sodass er auch in der passiven Gruppe in gleichem Maß aufgetreten sein könnte und es sich dabei wahrscheinlich um Retest-Effekte handelte. Zudem gab es Evidenz dafür, dass sich die leistungsschwächeren Gruppen, dort besonders die der aktiven Kontrollgruppe, stärker in der Reaktionsgeschwindigkeit verbesserten als die leistungsstärkeren. Die Mixingkosten schienen sich nicht in Abhängigkeit des Leistungsniveaus zu verändern.

In den Tests zum fernen Transfer konnte keine Evidenz zum Einfluss des Leistungsniveaus gefunden werden.

Zuletzt wurde untersucht, ob die nach Mediansplit der SC eingeteilten Gruppen auch Unterschiede in den kritischen Funktionen der anderen Transfertests zeigten. Der Bayes-Faktor lieferte entweder Evidenz dafür, dass sich die Gruppen nicht unterscheiden oder Evidenz für keine der beiden Hypothesen und die frequentistische Analyse sprach ebenfalls nicht für Gruppenunterschiede. Diese Untersuchung deutete also darauf hin, dass die an den SC beteiligten Funktionen nicht oder nur gering an den anderen getesteten Funktionen beteiligt waren und somit vielleicht keinen Transfer induzieren konnten.

## **6.1 Diskussion des Trainings**

Die etwas uneindeutigen Ergebnisse zu den SC können insofern interpretiert werden, als dass in beiden Gruppen Verbesserungen über die Trainingssitzungen bestanden, da der Haupteffekt für Trainingssitzungen in bayesianischer und frequentistischer Analyse der SC für RT und Acc für eine Verbesserung über die Trainingssitzungen sprach. Allerdings traten signifikante Unterschiede bei beiden Gruppen, besonders bei Vergleichen mit Sitzungen der letzten Schwierigkeitsstufe auf, sodass dieser Trainingseffekt auch nur ein methodisches Artefakt sein könnte. Für jede der beiden Gruppen gab es aber mindestens einen signifikanten Unterschied in mindestens einer der Post-hoc-

oder Kontrastanalysen vor Stufe drei. Weiterhin deutete die Analyse der Trialtypen nach frequentistischer Analyse darauf hin, dass es stärkere Trainingsauswirkungen auf Wechseltrials gegeben haben könnte, sodass möglicherweise exekutive Funktionen im Sinne der Wechselfähigkeit und nicht nur die RT trainiert wurden. Die Bayes-Analyse gab jedoch starke Evidenz für eine ähnliche Entwicklung beider Trialtypen. Die Analyse der drei Schwierigkeitsgrade deutete aber ebenfalls auf einen Haupteffekt für die SC und auf Unterschiede zwischen allen drei Schwierigkeitsstufen hin. Aufgrund des linearen Trends und der Haupteffekte für Trainingszeitpunkt bzw. Schwierigkeitsstufe sowie des Befundes, dass sich die SC in beiden Gruppen von Sitzung eins zu zwölf mit mittleren Effektstärken veränderten und auch der Ausschluss von Sitzung eins und zwölf die Ergebnisse nicht veränderte, wird hier, trotz der in der Bayes-Analyse nicht vorhandenen Interaktion zwischen Trainingszeitpunkt und Trialtypen, von einer zumindest marginalen Verbesserung der SC mit steigendem Trainingsfortschritt ausgegangen.

Die Verbesserung der SC war so zu erwarten und liegt im Einklang mit der bisherigen Literatur, wonach SC in der eigentlichen Trainingsaufgabe konstant im Training verbessert werden könnten, was unabhängig vom verwendeten Aufgabenwechselparadigma aufzutreten scheint (z. B. Minear & Shah, 2008; Karbach & Kray, 2009; Gaál & Czigler, 2018).

Gruppenunterschiede in der Entwicklung der SC waren ebenfalls uneindeutig. Für die SC-RT zeigte sich für die Experimentalgruppe eine mittlere Effektstärke und für die aktive Kontrollgruppe eine geringe Effektstärke. Dies kann jedoch nicht insofern interpretiert werden, als dass das Training der Experimentalgruppe zu einer stärkeren Verbesserung der SC geführt hatte als jenes der aktiven Kontrollgruppe: Die Analyse der SC-RT wurde in der frequentistischen Analyse nicht signifikant, deutete aber in der Bayes-Analyse auf eine unterschiedliche Entwicklung der beiden Gruppen hin. Jedoch wies die Interaktion von Trainingssitzung, Gruppe und Trialtypen, welche in der frequentistischen Analyse der Interaktion von Trainingssitzung und Gruppe der SC entspricht, in der Bayes-Analyse darauf hin, dass keine unterschiedliche Entwicklung stattfand. Die Analyse der Acc und auch die Analyse der Schwierigkeitsgrade deutete nicht auf Gruppenunterschiede hin.

Da die aktive Kontrollgruppe, wie in Kap. 3.2.3 beschrieben, weniger Verbesserungspotenzial aufwies, sind die Ergebnisse schwer zu interpretieren. Eine eventuell

geringere Verbesserung der SC bei der aktiven Kontrollgruppe könnte auch im Trainingsdesign begründet sein. Weil die Kontrollgruppe schneller reagieren musste, gab es eine geringere Spannweite in den möglichen RT, sodass rechnerisch auch die SC kleiner ausgefallen sein könnten. Dafür spricht auch, dass im Cued-TS-Transfertest wahrscheinlich keine Gruppenunterschiede im Prätest vorlagen.

Generell erscheinen die Gruppenunterschiede statistisch uneindeutig und mehrere Analysen wiesen auf mangelnde Unterschiede zwischen den Gruppen hin, sodass davon auszugehen ist, dass sich die SC zwischen den Gruppen wahrscheinlich nicht unterschiedlich durch das Training entwickelten.

Um zu diskutieren, welche Funktionen trainiert worden sein könnten, soll im Folgenden zunächst die Konzeption der Trainingsprogramme mit Fokus auf die Adaptivität der Trainingsprogramme kritisch besprochen werden. Danach werden beide Gruppen einzeln auf Trainingsprozesse hin diskutiert.

Die fehlende, an die individuelle Leistung der Versuchsteilnehmenden angepasste Erhöhung des Schwierigkeitsgrades könnte einen methodischen Kritikpunkt an dieser Studie darstellen. Wie beispielsweise bei Lövdén und Kollegium (2010) beschrieben, sollte die Aufgabenschwierigkeit an die Leistung angepasst sein, damit plastische Prozesse induziert werden können. Es zeigten allerdings einige Studien ganz ohne eine Adaptivität Trainings- und Transfereffekte (siehe Kap. 1.3). Auch wenn es sicherlich zu den Trainingseffekten hätte beitragen können, einen adaptiven Algorithmus wie zum Beispiel bei Anguera und Kollegium (2013) einzubauen, lieferten doch von Bastian und Eschen (2016) Evidenz dafür, dass eine randomisierte Anpassung des Schwierigkeitsgrades für einen Trainingserfolg ausreichend sein könnte und keine besseren Erfolge liefert als eine systematische Variation des Schwierigkeitsgrades. Da es Verbesserungen über beide Trainingsprogramme gab, kann darauf geschlossen werden, dass die Aufgabenschwierigkeit ausgereicht haben sollte, um Anpassungen in den Trainingsleistungen zu erwirken. In der Diskussion wird davon ausgegangen, dass das Training anspruchsvoll genug war, um theoretisch Transfereffekte zu induzieren. Dies kann jedoch nicht mit Daten belegt werden und es wäre auch möglich, dass fehlende Transfereffekte durch eine zu geringe Aufgabenschwierigkeit oder auch zu geringe Dauer des Trainings entstanden.

Zudem wurden die Aufgabensets nicht variiert, sondern nur die Objekte, was zu einer verringerten Trainingsmotivation und somit geringeren Trainingsleistungen geführt haben könnte. Die ständige Leistungsrückmeldung habe nach Aussage vieler Versuchsteilnehmenden aber dazu geführt, motiviert zu bleiben und zu versuchen, sich ständig zu verbessern.

Für die Experimentalgruppe zeigten sich in der Distraktorstärke als Maß der Aufgabenschwierigkeit nur für die RT, nicht aber die SC oder Acc Unterschiede. Nach der Bayes-Analyse unterschieden sich Stärke eins und zwei, nach der frequentistischen Analyse nicht. Da sich die Leistungen Leistungsschwächerer und Leistungsstärkerer beim Übergang von Trainingsstufe eins zu zwei unterschiedlich entwickelten und dort Distraktorstärke zwei am häufigsten (60 %) dargeboten wurde, kann davon ausgegangen werden, dass Distraktorstärke eins und zwei tatsächlich unterschiedlich hohe Anforderungen an das kognitive System stellten.

Der Unterschied zwischen Distraktorstärke drei und den anderen beiden Distraktorstärken war jedoch deutlicher als zwischen Stärke eins und zwei. Dies deutet darauf hin, dass durch Distraktorstärke drei die (proaktive) Interferenz stärker erhöht wurde als durch die anderen beiden Stufen. Diese erhöhte Interferenz könnte in Anlehnung an die Inhibitionsdefizithypothese durch Inhibitionsprozesse auf der Zugangsfunktion gelöst werden. Allerdings beschreiben Koch und Kollegium (2010), dass Inhibitionsprozesse im Aufgabenwechseln am ehesten auf der Reaktionsebene zu erwarten seien. Somit könnte die Inhibition interferierender Reize auch auf der Reaktionsebene durch die Zurückhaltefunktion stattgefunden haben. Prozesse auf der Löschungsebene im Sinne der Aktualisierung von Arbeitsgedächtnisinhalten (Campbell, Lustig & Hasher, 2020) wären auch möglich, da diese im Cued-TS eher aufträten als im AR-TS (Minear & Shah, 2008; Pereg, Shahar & Meiran, 2013). Allerdings sollten die Anforderungen an die LösCHFunktion bei lediglich zwei Aufgabensets oder Stimuli, die im Arbeitsgedächtnis gehalten und aktualisiert werden müssten, im Vergleich zu den anderen beiden Inhibitionsmechanismen eher gering ausfallen.

Die Analyse der Ziel-Distraktoranwesenheit zeigte, dass sich die Anwesenheit des vorherigen Zielreizes als Distraktor wohl nicht auf die Leistung auswirkte. In der frequentistischen Analyse wurde dieser Haupteffekt zwar signifikant, aber da die Bayes-Analyse substantielle Belege für  $H_0$  lieferte und unter Berücksichtigung der geringen Stichprobengröße und dass dieser Unterschied nur 6 ms betrug, wurde davon ausgegangen,

dass kein Unterschied zwischen den Bedingungen bestand. Hätte es einen Unterschied zwischen der Ziel-Distraktor-An-und-Abwesenheit gegeben, so hätte dieser im Sinne der „Vorübergehenden Aufgabenset-Beharrlichkeit“ (Allport et al., 1994) interpretiert werden können. Die wiederholte Darbietung des Zielreizes als Distraktor hätte die Repräsentation des vorherigen Aufgabensets weiter verstärkt und so zu höherer Interferenz geführt, die hätte inhibiert werden müssen.

Die erhöhte Interferenz war allerdings unabhängig von der Ziel-Distraktoranwesenheit und scheinbar nur die Reihenfolge des präsentierten Distraktors und Zielstimulus war entscheidend für die Stärke der Interferenz. Auch die Interaktion von Ziel-Distraktoranwesenheit und Trialtypen sprach eher für eine nicht unterschiedliche Auswirkung des Distraktors auf die Trialtypen, was ebenfalls darauf hindeutet, dass die Interferenz durch das vorherige Aufgabenset durch die Darbietung des „Ziel-Distraktors“ entweder nicht oder kaum erhöht wurde oder deren Lösung nicht erschwert wurde. Nach diesen Befunden könnte die Darbietung des Distraktors eine (präpotente) Reaktion aktiviert haben, wobei diese stärker wurde, je früher der Distraktor dargeboten wurde. Somit würde die Interferenz nicht auf der Aufgabensetebene bestehen, sondern eher auf der Stimulus-Reaktions-Ebene, was im Einklang mit Koch und Kollegium (2010) wäre. Falls Inhibitionsmechanismen trainiert wurden, würde dies bedeuten, dass durch das Training der Experimentalgruppe am wahrscheinlichsten die Reaktionsinhibition trainiert wurde.

Ein anderer Erklärungsansatz wäre, dass die Interferenz nicht durch Inhibitionsprozesse gelöst wurde, sondern durch andere Prozesse, wie eine verbesserte Vorbereitung (Koch et al., 2010; Kiesel et al., 2010). Dies wird in der Diskussion des nahen Transfers weiter erläutert.

Interessanterweise sanken die RT während des inhibitionsfokussierten Trainings über die Sitzungen und Schwierigkeitsgrade bis zum Übergang von Schwierigkeitsgrad zwei zu drei, wo sie anstiegen, beziehungsweise für leistungsschwächere Versuchspersonen schon beim Übergang von Schwierigkeitsgrad eins zu zwei. Die SC hingegen sanken bei Übergängen zu höheren Schwierigkeitsstufen ab oder blieben zumindest konstant. Ein Erklärungsansatz dazu ist bei Lövdén und Kollegium (2010) zu finden.

Lövdén und Kollegium (ebd.) stellen der Plastizität das Konzept der Flexibilität („Flexibility“) gegenüber. Die Flexibilität beschreibe die Kapazität, Leistungen in



Abhängigkeit der, aktuell durch die neuroanatomische Struktur vorgegebenen, Limitierungen anzupassen. Sie beschreibe das Aufsuchen und Verlassen von kognitiven Zuständen. Das Erhöhen der Flexibilität wäre also die verbesserte Anpassung oder Optimierung der Gehirnleistung in einem schon strukturell-neuroanatomisch vorgegebenen Rahmen und nicht die Verbesserung der kognitiven Kapazität. Die Plastizität hingegen führe durch strukturell-neuroanatomische Veränderungen in den, der trainierten Aufgabe unterliegenden, Verarbeitungsstrukturen zu einer Erhöhung der Spannweite in der durch Flexibilität nutzbaren kognitiven Kapazität. Die Steigerung der Flexibilität wäre also die optimierte Ausnutzung der vorhandenen Spannweite, während die Plastizität die Vergrößerung der Spannweite wäre. Nach Lövdén und Kollegium (ebd.) muss die Adaption an Umweltreize also nicht unbedingt Plastizität beschreiben, könnte aber, falls die Kapazität nicht ausreicht, plastische Prozesse in Gang setzen. Während die Plastizität eher träge wäre, seien Flexibilitätsprozesse eher schnelle Aktivierungsänderungen in bestehenden neuronalen Verarbeitungsmustern. Lövdén und Kollegium (ebd.) geben an, dass die bis zur Veröffentlichung ihres „Arbeitsrahmens“ bestehende Literatur zum kognitiven Altern im Sinne von Flexibilitätsprozessen interpretiert werden könne. Beispiele für Flexibilität seien u. a. das Erlernen von Stimulus-Reaktions-Beziehungen, der Ausbau perzeptueller Expertise oder die Optimierung von aufgabenbezogenen Strategien (ebd.).

Im Vergleich zu der zuvor vorgestellten Kapazitätssteigerungshypothese und der Expertiseaufbauhypothese (Strong & Alvarez, 2017) würde die Plastizität der Kapazitätssteigerung entsprechen. Die Expertise würde eher die vorhandene Kapazität besser auf aufgabenspezifische Eigenschaften ausrichten, wodurch sie eher aufgabenspezifischer bleiben sollte als die Flexibilität, bei der die Kapazität generell besser ausgenutzt würde, was durchaus transferierbar sein könnte. Der Expertiseaufbau könnte auch als eine Art der Flexibilitätssteigerung gesehen werden.

Im Zusammenhang mit den zuvor beschriebenen Vergrößerungs- und Kompensationsansätzen (Kap. 5) könnte die Flexibilität nach Lövdén, Brehmer, Li und Lindenberger (2012) eher der Kompensation z. B. im Sinne einer adäquateren Strategienutzung zugeordnet werden; die Plastizität eher der Vergrößerung in dem Sinne, dass durch weitere Übung die Kapazität erhöht würde. Leistungsschwächere Versuchspersonen würden nach Lövdén, Brehmer, Li und Lindenberger (2012) eher Flexibilität zeigen, indem sie Strategien adäquater anzuwenden lernten, während leistungsstärkere nach

dem Erlernen einer Strategie eher Plastizität zeigten, indem sie ihre hohe Leistungsfähigkeit weiter ausbauen würden. Allerdings zeigten, wie oben (Kap. 5) beschrieben, Karbach, Könen und Spengler (2017), dass im Bereich der exekutiven Funktionen auch leistungsschwächere oder ältere Versuchspersonen in der Lage sein könnten, ihre kognitive Kapazität im Sinne der Plastizität zu verbessern, da sie stärkere Verbesserungen zeigten als junge Erwachsene oder Leistungsstärkere. Weil die Autoren das Prinzip der Flexibilität in ihrer Arbeit nicht betrachteten, machen sie auch keine Aussage dazu, ob es sich dabei um Flexibilitäts- oder Plastizitätsprozesse handelt. Die Ergebnisse von Karbach, Könen und Spengler (2017) könnten in beide Richtungen interpretiert werden. Wenn die Kapazität nicht ausreichte, könnte dies einer Verbesserung durch Plastizität entsprechen. Eine Leistungssteigerung könnte aber auch in einer Optimierung der Flexibilität bestehen, falls die Kapazität grundsätzlich ausgereicht hätte, aber nicht voll genutzt wurde.

Die Verbesserung der SC in der Experimentalgruppe deutet darauf hin, dass die am Aufgabenwechseln beteiligten Prozesse beim Stufenübergang von Stufe zwei zu drei verbessert worden sind. In diesem Zusammenhang interessanter ist hier aber die Zunahme der RT von Stufe zwei zu drei. Wegen der Abnahme der SC sind diese schwer durch eine Erhöhung der Kapazität oder Plastizität für Aufgabenwechselprozesse zu erklären: Der RT-Anstieg könnte zwar darauf hindeuten, dass bis zum Stufenübergang die Flexibilität für, dem Aufgabenwechseln inhärente Funktionen verbessert wurde und danach die Anforderungen so anstiegen, dass die Kapazität erhöht werden musste. Dies hätte Prozesse der Plastizität ausgelöst haben können. Dafür spricht auch der anschließende kontinuierliche Abfall der RT mit signifikanten Veränderungen zwischen den Trainingssitzungen neun bis zwölf. Jedoch hätte dies, falls Aufgabenwechselkomponenten an Trainingsverbesserungen beteiligt waren, beim Stufenübergang auch zu einer Erhöhung der SC als Anzeichen erhöhter kognitiver Kontrollanforderungen und kontinuierlicher Abnahme dieser als Zeichen der Plastizität führen sollen. Die Daten könnten eher insofern interpretiert werden, als dass in Stufe drei die proaktive Interferenz so zunahm, dass die Versuchsteilnehmenden eine Strategie einsetzten, bei der sie sich verlangsamten, um die erhöhte proaktive Interferenz zu kompensieren. Darauf deuten auch der Abfall der Genauigkeit oder die Steigerung des Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleiches von Sitzung acht zu neun hin sowie die Verbesserung beider von Sitzung neun bis zwölf. Beides könnte als Optimierung der Strategie gedeutet werden. Diese Erklärung würde eher einem Flexibilitätsprozess entsprechen, bei dem

die Kapazität ausreichte, um die SC zu reduzieren, aber die Kapazität insofern ausgenutzt werden musste, sich flexibel durch die Erhöhung der RT an die Aufgabenschwierigkeit anzupassen, was zu einer Verlangsamung führte, aber nicht die SC erhöhte.

Die Analyse der Leistungsstarken und Leistungsschwachen kann ebenfalls im Sinne einer „Verlangsamungsstrategie“ interpretiert werden. Leistungsschwächere verlangsamten schon beim Übergang von Stufe eins zu zwei, während sich die SC zwischen den Gruppen nicht unterschiedlich zu entwickeln schienen. Anschließend optimierten sie die Strategie, was zu weiteren Verbesserungen führte. Die Leistungsstärkeren verbesserten ihre RT beim Stufenübergang weiterhin, aber zeigten keine weitere Entwicklung der RT über die restlichen Sitzungen der Stufe zwei. Sie könnten im Rahmen der Flexibilität die vorhandenen Kapazitäten stärker ausgenutzt haben, sodass sie sich im Stufenübergang verbesserten. Nachdem die Leistung adäquat angepasst wurde, erzielten sie aber keine weiteren Verbesserungen mehr.

Insgesamt könnte also das Training der Experimentalgruppe zu Verbesserungen in der Inhibition geführt haben, wobei diese eher auf der Ebene der Reaktionsinhibition (Zurückhaltefunktion) eingeordnet werden sollten. Ob das Training tatsächlich Plastizität induzierte, ist nicht ganz klar und nach obiger Diskussion eher unwahrscheinlich. Wahrscheinlicher induzierte es eher eine Steigerung der Flexibilität nach Lövdén und Kollegium (2010) oder einen Aufbau der Expertise nach Strong und Alvarez (2017). Ein naher Transfer würde dafür sprechen, dass im Training nicht nur die Expertise, sondern auch die Flexibilität oder Plastizität gesteigert wurde. Dies wird in Kap. 6.2 ausführlich diskutiert.

Das geschwindigkeitsfokussierte Training der Kontrollgruppe schien mit hoher Effektstärke die RT der Versuchsteilnehmenden zu verbessern. Die leistungsstärkeren Versuchspersonen verbesserten sich jedoch beim Stufenübergang von zwei zu drei nicht mehr in der RT, während die leistungsschwächeren ihre Reaktionszeit nochmals steigerten. Da dies direkt beim Stufenübergang geschah und die leistungsschwächeren Versuchspersonen sich danach auch nicht mehr zu verbessern schienen, deutet dies auf eine Verbesserung der Flexibilität hin, da Plastizitätsprozesse wahrscheinlich nicht so schnell und eher kontinuierlich auftreten müssten (in Anlehnung an Lövdén et al., 2010). Weil durch das Training starke RT-Effekte erzwungen wurden, ist es möglich, dass die Versuchspersonen als Kompensation die Acc vernachlässigten. Während die Experimentalgruppe mittlere Effektstärken in der Veränderung der Acc zeigte, zeigte

die aktive Kontrollgruppe geringe Effekte. Die Analyse des Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleichs gab hierüber keine weiteren Aufschlüsse. Dass die Acc vernachlässigt wurde, scheint aber plausibel, da die Effektstärken geringer ausfielen als in der Experimentalgruppe, und im Prätest des Cued-TS-Transfertestes kein Unterschied in der Acc bestand, sodass beide Gruppen das gleiche Entwicklungspotenzial gehabt haben sollten.

Im geschwindigkeitsfokussierten Training wurden also möglicherweise Flexibilitätsprozesse induziert. Diese könnten, im Gegensatz zum Expertiseaufbau, in einem nahen oder fernen Transfer der verbesserten RT oder SC ausgedrückt werden.

In der Analyse der Transfereffekte soll nun weiter eruiert werden, ob das Training zu einer Erhöhung der Kapazität im Sinne der Plastizität, zu einer Erhöhung der Flexibilität oder doch zu einem Aufbau der Expertise geführt haben könnte.

## **6.2 Diskussion des nahen Transfers**

Im Cued-TS-Transfertest zeigte sich kein Transfer der, im Training verbesserten, SC auf die Transferaufgabe. Weil während des Trainings beider Gruppen wahrscheinlich die SC verbessert wurden, wäre eigentlich davon auszugehen, dass eine mit den SC in Verbindung stehende kognitive Kapazität verbessert wurde, was hätte auf eine ähnliche Aufgabe transferiert werden können. In den MC zeigte sich ein Haupteffekt für den Testzeitpunkt, jedoch auch unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe keine Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe. Dieser Effekt sollte also lediglich einen Retest-Effekt darstellen. Beides entspricht nicht unbedingt der Literatur, wo oft ein naher Transfer auf SC und MC gezeigt werden konnte (z. B. Minear & Shah, 2008; Karbach & Kray, 2009; Gaál & Czigler, 2018). Die Daten sprachen jedoch für eine Verbesserung der RT für die aktive Kontrollgruppe im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen, wobei die Experimentalgruppe keine stärkere Verbesserung der RT erzielte als die passive Kontrollgruppe.

Diese drei Befunde (kein Transfer der SC, keine Verbesserung der MC sowie keine stärkere Verringerung der RT bei der Experimentalgruppe) deuten darauf hin, dass während des Trainings besonders bei der Experimentalgruppe eher die Expertise für die Verarbeitung aufgabenspezifischer Merkmale verbessert worden sein könnte: Durch die beiden Modifikationen an den Trainingsaufgaben (Fokus auf Inhibition oder Geschwindigkeit) unterschieden sich diese in ihren Anforderungen zu sehr von der

Transferaufgabe, in welcher weder hohe Anforderungen an die Geschwindigkeit noch an die Interferenzlösung, beispielsweise durch die Inhibition, gestellt wurden. Andere Aufgabenwechselfaufgaben, die einen nahen Transfer erzielen konnten, variierten meist nur gering von der trainierten Aufgabe und änderten z. B. nur die Aufgabensets (Kray & Fehér, 2017; Minear & Shah, 2008; Karbach & Kray, 2009; Sabah, Dolk, Meiran & Dreisbach, 2019; Zhau, Wang, Maes, 2020; mit größeren Abwandlungen im Vergleich zu den anderen Quellen: Gaál & Czigler, 2018). In der vorliegenden Arbeit wurden wohl eher aufgabenspezifische Verarbeitungswege trainiert, welche eine höhere Reaktionsinhibition oder einen höheren Fokus auf die Geschwindigkeit beinhalteten. Die Modifikationen an den Trainingsaufgaben könnten das Aufgabenwechseln so überlagert haben, dass kein Transfer der SC stattfand. Möglicherweise zeigten andere nahe Transfers eher den Aufbau einer Expertise statt der Induktion von Plastizität, wofür auch der oftmals geringe ferne Transfer spricht.

Leistungsschwächere Versuchspersonen aller drei Gruppen könnten möglicherweise neben der Expertise für bestimmte, dem Training inhärente, Funktionen auch generell die verbesserte Aufgabenwechselfähigkeit transferiert haben. Die Leistungsschwächeren steigerten sich in ihren SC-RT stärker als die Leistungsstärkeren. Allerdings zeigte der Vergleich der drei leistungsschwachen Gruppen, dass dabei wahrscheinlich kein Unterschied zwischen den drei Gruppen bestand. Auch wenn dies also vielleicht nur Retest-Effekte darstellt, so könnten leistungsschwächere Versuchspersonen generell ein stärkeres Entwicklungspotenzial gehabt haben als stärkere und somit möglicherweise tatsächlich einen Transfereffekt erzielt haben. Die Effektstärke Cohens  $d$  zeigte für alle drei Gruppen einen starken Effekt für die Veränderung in den Wechseltrials, jedoch auch für die Veränderung der Wiederholungstrials. Da die Datenlage zum Unterschied zwischen der Experimentalgruppe und den anderen beiden Gruppen etwas uneindeutig ist und eher darauf hinweist, dass kein Unterschied besteht, können zum Transfereffekt auf die SC keine weiteren Aussagen getroffen werden.

Ein Transfer der RT-Verbesserung in der aktiven Kontrollgruppe konnte eindeutiger erzielt werden. In der Literatur zeigt sich konstant ein nah-naher Transfer, also eine Verbesserung der RT nach einem Training der Verarbeitungsgeschwindigkeit, aber nur gelegentlich ein ferner Transfer (Edwards et al., 2002; Simpson, Camfield, Pipinigas, Macpherson & Stough, 2012; Chen & Chen, 2013; Takeuchi & Kawashima, 2012). Die Analyse des RT-Transfers nach Mediansplit zeigte, dass im Cued-TS-

Transfertest leistungsschwächere Versuchspersonen stärkere RT-Verbesserungen zeigten als leistungsstärkere. Die aktive Kontrollgruppe unterschied sich bei diesem Vergleich der Leistungsschwächeren auch von den anderen beiden Gruppen, sodass tatsächlich angenommen werden kann, dass Leistungsschwächere ein höheres Entwicklungspotenzial aufweisen.

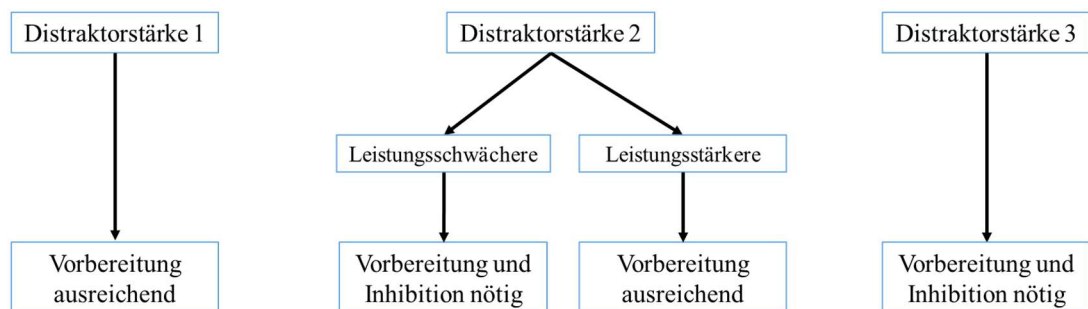
Im geschwindigkeitsfokussierten Training könnte die Flexibilität erhöht worden sein, wobei die Leistungsschwächeren davon mehr profitierten. Theoretisch wäre auch, vor allem bei den Leistungsschwächeren, eine Verbesserung der Kapazität im Sinn von plastischen Prozessen denkbar gewesen. Allerdings zeigten die Leistungsschwächeren keinen stärkeren fernen Transfer als die Leistungsstarken. Dies spricht eher gegen den Aufbau einer stärkeren Kapazität durch die Leistungsschwächeren.

Prinzipiell wäre es also möglich, dass in anderen Cued-TS-Trainings nicht unbedingt Aufgabenwechselfunktionen trainiert wurden, sondern die Verarbeitungsgeschwindigkeit, was sich ab einem gewissen Leistungsniveau stärker auf die Wechseltrials ausgewirkt haben könnte. Für den letzten Punkt liefert diese Studie jedoch keine Evidenz und der oben diskutierte mögliche Zusammenhang zwischen Leistungsniveau und Transfereffekten beim Training der Verarbeitungsgeschwindigkeit sollte in zukünftigen Studien weiter evaluiert werden. Möglicherweise könnte sich dieses Training auch auf die Aufrechterhaltung und Selektion von Aufgabensets auswirken und somit auch die MC im AR-TS verbessern. Die mathematische Kontrolle der altersbedingten Verlangsamung in den Daten würde dies nicht erfassen.

Im Training der aktiven Kontrollgruppe könnte auch die bessere Ausnutzung der Vorbereitungszeit trainiert worden sein. Da die Versuchspersonen eine geringere maximale Reaktionszeit zur Verfügung hatten, mussten sie trainieren, die vorhandene Vorbereitungszeit besser auszunutzen, um schnellstmöglich reagieren zu können. Die Ausnutzung der Vorbereitungszeit sollte bei Seniorinnen und Senioren defizitär sein (Mayr, 2001; Lawo et al., 2012). Außerdem scheint das Training der Vorbereitungszeit zu einem Transfereffekt beim Aufgabenwechseln führen zu können (Zhao, Wang & Maes, 2020). Zhao, Wang und Maes (ebd.) beschreiben an einer Stichprobe von Studierenden, dass ein naher Transfer auf die SC nach Cued-TS-Training besonders auftritt, wenn die Darbietungszeit des Cues und somit die Vorbereitungszeit gering ausfällt (300 ms oder 600 ms). Bei längerem CSI (800 ms) konnten sie keinen Transfer-effekt zeigen. Bei Senioren und Seniorinnen, im Gegensatz zu Jüngeren, sollte die

Vorbereitungszeit von 1000 ms ausgereicht haben, um einen Transfer erzielen zu können (siehe Kap. 1.4). Senioren und Seniorinnen scheinen auch in der Ausnutzung der Vorbereitungszeit verlangsamt zu sein (Lawo et al., 2012), sodass es möglich ist, dass diese Zeit für Vorbereitungsprozesse nicht gänzlich ausreichte und ihre Ausnutzung weiter optimiert werden musste. Prinzipiell müsste sich eine verbesserte Ausnutzung der Vorbereitungszeit nicht unbedingt selektiv oder gestärkt auf die Wechseltrials auswirken. So könnte auch die stärkere Verbesserung der allgemeinen Reaktionszeit durch eine verbesserte Ausnutzung der Vorbereitungszeit erklärbar sein. Da die Versuchspersonen dazu instruiert wurden, möglichst schnell zu reagieren, hätten sie in der Vorbereitungszeit Prozesse aktivieren können, die zu einer verbesserten Reaktionsgeschwindigkeit führen. Die Versuchspersonen könnten gelernt haben, ihre vorhandene Kapazität in der Verarbeitungsgeschwindigkeit effektiver anzupassen und diese dann auf, dem Training inhärente, Prozesse in der Vorbereitung zu legen. Dies könnte durchaus transferiert worden sein.

So wie für die Kontrollgruppe, wäre es auch für die Experimentalgruppe möglich gewesen, Funktionen zu trainieren, die zu einem nahen Transfer hätten geführt haben können. Vielleicht war die Leistungsfähigkeit im Prätest der Transferaufgaben aber zu hoch, um einen nahen Transfer zu induzieren. Als Ergänzung zur Erklärung durch den Expertiseaufbau könnten die Versuchspersonen ebenfalls ihre Fähigkeit in der Vorbereitung ausgebaut oder aber tatsächlich Inhibitionsfunktionen trainiert haben, die aber nicht auf das Aufgabenwechseln transferiert wurden. Diese Überlegung wird in Abbildung 53 grafisch dargestellt und beschrieben.



**Abbildung 53:** Möglicher Zusammenhang von Distraktorstärken, Vorbereitungseffekten und Inhibition im inhibitionsfokussierten Training. In Distraktorstärke eins schien die Vorbereitung ausreichend gewesen zu sein, um die erhöhte Interferenz zu lösen. Mit zunehmender Abnahme der Leistungsfähigkeit mussten zusätzliche Inhibitionsmechanismen genutzt werden, um die Vorbereitung zu unterstützen. In Distraktorstärke drei kam keine Leistungsgruppe mehr ohne die zusätzliche Rekrutierung von Inhibitionsfunktionen aus. Somit sollten Stufe zwei und drei die Inhibitionsfähigkeit trainiert haben können, aber nicht Stufe eins. Die Inhibition sollte auf der Stimulus- und Reaktionsebene stattgefunden haben und nicht auf der Ebene der Aufgabenselektion. Für weitere Erläuterungen siehe Text.

Weil der Distraktor erst nach dem Cue dargeboten wurde, könnte eventuell die Vorbereitung auf den Distraktor verbessert worden sein. Zudem ist es möglich, dass die Vorbereitungszeit mit 1000 ms zu lange andauerte, um Inhibitionsprozesse relevant werden zu lassen. Hierzu scheint keine klare Ableitung aus der Literatur möglich.

Es wurden der Aufgabencue und der Zielcue gleichzeitig dargeboten. Die Vorbereitungszeit hätte nun dazu genutzt werden können, sich auf das Erscheinen des Distraktors vorzubereiten und die Interferenz durch den Distraktor somit zu lösen. Wenn die Vorbereitung auf das Aufgabenset trainiert worden wäre, so hätte dies zu veränderten SC in den Distraktorstärken führen sollen, was die Analysen jedoch nicht belegen. Da im Aufgabenwechseltraining möglicherweise eher Vorbereitungsprozesse als Inhibitionsprozesse trainiert werden (Zhao, Wang und Maes, 2020), wäre es aber möglich, dass sich durch die Modifikation des Trainings die Vorbereitung eher auf die Interferenzlösung durch beispielsweise den Fokus auf die Zielposition als auf das Aktivieren des aktuellen Aufgabensets bezog. Da in der aktiven Kontrollgruppe kein Distraktor dargeboten wurde, wurde hier die Vorbereitungszeit wahrscheinlich eher genutzt, um die Reaktion vorzubereiten. Denn wenn die Vorbereitungszeit dort genutzt worden wäre, um das Aufgabenset zu aktivieren, dann hätte dies auch dort einen eindeutigeren Einfluss auf die SC gehabt haben müssen.

Wie zuvor beschrieben, könnte die Interferenz auf Stimulus und Reaktionsebene aufgetreten sein und weniger auf der Ebene der Aufgabensetselektion. Weil in Distraktorstufe drei höhere Reaktionszeiten auftraten als in den anderen beiden, scheinen verbesserte Vorbereitungsprozesse nicht vollständig auszureichen, um die Trainingsergebnisse und den fehlenden Transfer zu erklären. Auf der leichtesten Stufe könnten diese noch ausgereicht haben, da der Distraktor erst nach dem Zielreiz präsentiert wurde und somit Vorbereitungsprozesse, wie das Ausrichten der Aufmerksamkeit auf die Zielposition, zur Interferenzlösung ausgereicht hätten. Folglich wurden bei der Darbietung von Distraktorstufe eins wahrscheinlich keine Inhibitionsmechanismen trainiert. Aber Stufe zwei (bei Leistungsschwächeren) und drei führten zu erhöhten RT, was insofern interpretiert werden könnte, als dass entweder das konkurrierende Aufgabenset stärkere Aktivierung erhielt und inhibiert werden musste oder aber die konkurrierenden Stimulusmerkmale oder Reaktionen inhibiert werden mussten.

Sollte das kompetierende Aufgabenset durch die Darbietung des Distraktors mehr Aktivierung erhalten haben, so hätte dies nicht unbedingt zu einem nahen Transfer führen



müssen. Wenn die Kapazität oder Flexibilitätsprozesse der Versuchspersonen schon im Prätest ausreichend waren, um die Interferenz zu inhibieren, hätte das Training keinen Transfer auf die Posttest-Inhibition gehabt haben müssen. Wie oben beschrieben, ist dieser Fall aber unwahrscheinlich, da die SC an keiner Stelle im Training anstiegen. Das Gleiche gilt für die als wahrscheinlicher angenommene Variante einer verbesserten Reaktionsinhibition. Auch hier hätte es nicht unbedingt einen Transfer geben müssen, falls die Leistung schon ausreichend war, sodass Flexibilitätsprozesse nicht gestärkt wurden und somit nicht zu einer Erhöhung der Inhibitionsstärke geführt hätten.

Im Sinne der Expertise hätte das Training dann zu einer Verbesserung von Vorbereitungs- oder Inhibitionsmechanismen geführt. Diese Verbesserung wäre aber spezifisch für die Trainingseigenschaften gewesen und hätte somit nicht transferiert werden können. Sollte aber die allgemeine Reaktionsinhibition trainiert worden sein, so könnte dies einen nah-fernen Transfer auf den Stroop-Test erbracht haben. Falls kein nah-ferner Transfer vorliegt, würde dies eher für einen Expertiseaufbau beim inhibitionsfokussierten Cued-TS sprechen.

### **6.3 Diskussion des fernen Transfers**

Im Stroop-Effekt zeigten sich keine stärkeren Verbesserungen vom Prä- zum Posttest für eine der drei Gruppen, was gegen einen Transfer der Reaktionsinhibitionsfähigkeit spricht. Möglicherweise wurde also die spezifische Inhibition der konkurrierenden Stimulusmerkmale trainiert, was nicht zu einem Transfer auf den Stroop-Test hätte führen können. Dies spricht also für einen Aufbau der aufgabenspezifischen Expertise.

Im Stroop-Test waren Gruppenunterschiede in den RT nicht ganz klar. In der frequentistischen Analyse von Testzeitpunkt, Trialtypen und Gruppe zeigte sich keine Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe und nur ein signifikanter Haupteffekt. Die Bayes-Analyse sprach jedoch für eine Interaktion unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. Allerdings unterschieden sich nur aktive und passive Kontrollgruppe in ihrer Prätest-Posttest-Veränderung, nicht aber Experimentalgruppe und aktive Kontrollgruppe oder Experimentalgruppe und passive Kontrollgruppe. Weil im Prätest schon Unterschiede zwischen den beiden aktiven und der passiven Gruppe bestanden, könnten die Ergebnisse verfälscht worden sein. Die Experimentalgruppe könnte sich aufgrund undefinierter, dem Aufgabenwechseln inhärenter Prozesse oder aufgrund von Retest-Effekten beschleunigt haben und die aktive Kontrollgruppe sich zudem

aufgrund von Geschwindigkeitstransfer. Die passive Kontrollgruppe könnte aufgrund des höheren Entwicklungspotenzials stärkere Retest-Effekte gezeigt haben. Weil der Effekt der Interaktion nur gering ausfiel und sie nicht schlüssig zu interpretieren ist, weil nach  $B_{10}$  keine Aussage über die Interaktion beim Vergleich von Experimentalgruppe und aktiver Kontrollgruppe getroffen werden konnte, wird an dieser Stelle keine Aussage über die Anwesenheit des Effekts gegeben.

Da die aktive Kontrollgruppe in den anderen beiden geschwindigkeitsfokussierten Aufgaben (Cued-TS-Transfertest und ANT) ihre Geschwindigkeit verbesserte, war es wahrscheinlich, dass diese nicht ausschließlich ihre Expertise verbesserte, sondern tatsächlich auch die flexible Anpassung ihrer Geschwindigkeit. Um zu überprüfen, ob die Verbesserung der Geschwindigkeit nicht nur aufgabenspezifisch war, sondern generalisierte, wurden die Übungstrials des Stroop-Tests als Reaktionszeitaufgabe analysiert. Wie oben ausgeführt, könnte auch die aktive Kontrollgruppe erlernt haben, die Vorbereitungszeit besser auszunutzen, um eine schnellere Reaktion zu initiieren, was zu einem spezifischen Transfer auf Aufgaben mit Vorbereitungszeit hätte geführt haben können. Dieser wäre beim Aufgabenwechseln und beim ANT, nicht aber beim Stroop-Test möglich gewesen. Auch in den Übungstrials wäre dies nicht gegeben. Bei den Analysen der Reaktionszeitaufgabe zeigten sich Gruppenunterschiede zwischen der aktiven Kontrollgruppe und den anderen beiden Gruppen. Die anderen beiden Gruppen unterschieden sich wiederum nicht. Zudem gab es in dieser Aufgabe eine andere Stimulus-Reaktions-Zuordnung als in den anderen Aufgaben mit Ausnahme des Stroop-Tests. Somit konnten RT-Verbesserungen auch nicht auf eine erlernte Stimulus-Reaktions-Beziehung zurückgeführt werden. Dies spricht dafür, dass tatsächlich die RT verbessert und transferiert wurde. Falls es bei der aktiven Kontrollgruppe keinen Transfer auf den Stroop-Test gab, könnte dies vielleicht in einer Kombination aus der höheren Aufgabenunsicherheit und geringeren Vorbereitung begründet sein. Dies wäre in der „Reaktionszeitaufgabe“ nicht relevant, da keine inkongruenten Trials dargeboten wurden. Aufgrund der Ergebnisse kann ein Transfer der Verarbeitungsgeschwindigkeit auf den Stroop-Test zumindest nicht ausgeschlossen werden.

Da die aktive Kontrollgruppe auf mindestens drei der vier geschwindigkeitsfokussierten Tests einen Transfer erzielte, kann davon ausgegangen werden, dass diese Gruppe tatsächlich die verbesserte RT auf andere Aufgaben transferierte. Da aber kein kritisches Maß verbessert wurde, könnte dabei eher von einem nahen Transfer im Sinne

einer Generalisierung auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit ausgegangen werden. Dies spricht für Chen und Chens (2013) Überlegungen, dass ein Training der Verarbeitungsgeschwindigkeit nicht in der Lage ist, auf exekutive Funktionen zu generalisieren, weswegen es kein alleiniger Mediator altersbedingter Abnahmen sein könnte. Ähnliches bemerkte allerdings auch schon Salthouse (1996). Das geschwindigkeitsfokussierte Training könnte also einen Transfer auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit erwirken, aber keine Verbesserung der, den Aufgaben unterliegenden, kognitiven Funktionen. Dies scheint im Einklang mit der Literatur, wo oft nur die Verbesserung der Verarbeitungsgeschwindigkeit, aber kein ferner Transfer gezeigt werden konnte (z. B. Edwards et al., 2002; Takeuchi & Kawashima, 2012).

Dazu, die genaueren Auswirkungen eines Trainings der Verarbeitungsgeschwindigkeit zu erfassen, war diese Studie nicht konzipiert, sodass hier auch keine weiteren Aussagen dazu getroffen werden können.

In allen Prätest-Posttest-Messungen zum fernen Transfer unterschieden sich die drei Gruppen in den kritischen Merkmalen nicht voneinander. Um einen fernen Transfer induzieren zu können, sollten einerseits an den Funktionen kritisch beteiligte Prozesse zwischen Training und Transfer überlappen. Aber andererseits sollten diese Prozesse bei den Versuchspersonen so gering ausgeprägt sein, dass eine Anpassung des Leistungsniveaus in diesen Prozessen, durch eine Steigerung der flexiblen Anpassung des Leistungsniveaus, oder durch Steigerung der Kapazität, möglich ist. Sollte das Leistungsniveau in den überlappenden Prozessen in einem funktionalen Maß ausgeprägt sein, so würde dies zu geringen Trainingseffekten und auch zu geringem bis nicht vorhandenen Transfer führen (Überlegungen hergeleitet aus: Lövdén, Brehmer, Li & Lindenberger, 2012; Karbach, Könen & Spengler, 2017).

Eine, nach der Konzeption der vorliegenden Arbeit veröffentlichte, Metaanalyse mit Methoden der Bayes-Statistik untersuchte über 176 Studien das Vorliegen eines Inhibitionsdefizits anhand von diversen Aufgaben, die zur Messung der Inhibitionsfähigkeit genutzt würden (Rey-Mermet & Gade, 2018). Die Autoren unterteilten die diversen Paradigmen in drei verschiedene Inhibitionsfunktionen: Das Ignorieren der Distraktorinterferenz („ignore distracting information“), der sie u. a. die Flanker-Aufgabe und n-2-Aufgabenwiederholungskosten zuordneten. Als zweite Möglichkeit der Inhibition benennen sie die Funktion dazu, dominante Reaktionen zu unterdrücken („suppress dominant responses“), der sie die Go/No-Go- und Stopp-Signal-Aufgaben

zuordneten. Als dritte Form der Inhibition benennen sie die Funktion, Reaktionsinterferenz („response interference“) zu inhibieren, worunter sie u. a. den Stroop-Test oder die Simon-Aufgabe einordneten. Im Gegensatz zu Friedman und Miyake (2004) unterscheiden diese Autoren also zwischen der Inhibition von dominanten und von interferierenden Reaktionen und fassen Stopp-Signal-Aufgabe und Stroop-Test nicht zusammen. Kein Inhibitionsdefizit im Sinne eines Leistungsunterschiedes zwischen Jüngeren und Älteren konnten Rey-Mermet und Gade (2018) u. a. für Flanker-Aufgaben, den Stroop-Test oder n-2-Aufgabenwiederholungskosten zeigen. Ein Inhibitionsdefizit konnten sie nur für Go/No-Go- und Stopp-Signal-Aufgaben finden.

Sie schließen daraus, dass es bei Senioren und Seniorinnen kein generelles Inhibitionsdefizit gebe, sondern dass sich dieses auf die Unterdrückung dominierender Reaktionen beschränke. Ältere Personen seien also durchaus, ähnlich wie jüngere, in der Lage, Distraktorinformationen oder interferierende Reaktionen zu inhibieren. Diese Daten entsprechen eher der Taxonomie zu Inhibitionsfunktionen von Stahl und Kollegium (2014) als der von Friedman und Miyake (2004). Sie unterteilten die Kontrolle der Reaktionsinterferenz in Reaktionsauswahl und Zurückhalten der Reaktion. Danach würde der Stroop-Effekt nicht durch das Zurückhalten der Reaktion, sondern durch Reaktionsinterferenzen ausgelöst. Auch das inhibitionsfokussierte Training sollte dann die Kontrolle von Reaktionsinterferenzen trainiert haben, was aber keine defizitäre Inhibitionsfunktion gewesen sein sollte. Auch wenn das kompetierende Aufgabenset höhere Aktivierung erhalten hätte, so wäre die Funktion zum Inhibieren des konkurrierenden Aufgabensets ebenfalls nicht von Alterungsprozessen betroffen gewesen. Somit hätte das Training die Inhibitionsfähigkeit nicht in ausreichendem Maße trainieren können, um einen Transfer zu erzielen.

Eine Erklärung für die nicht vorhandenen fernen Transfereffekte in der Experimentalgruppe wäre also, dass die Inhibitionsmechanismen bei Senioren und Seniorinnen nicht in einem Maße abnehmen, das zu Defiziten in der allgemeinen kognitiven Verarbeitung führen würde. Möglicherweise hätte ein Vergleich von jungen-alten, mittleren-alten und alt-alten Versuchspersonen eher Evidenz für Transfereffekte hervorgebracht, falls die Inhibitionseffekte erst mit noch höherem Alter abnehmen. In der vorliegenden Arbeit wurden keine Unterschiede zwischen den Altersgruppen gemacht. In Bezug auf die Inhibitionsfähigkeit scheint es, besonders in Bezug auf obige Metaanalyse, jedoch keine Evidenz dafür zu geben, dass Inhibitionsfunktionen mit steigendem

Alter noch einmal stärker abnehmen könnten. Zudem unterschieden sich die leistungsschwächeren in Bezug auf das Alter nicht von den leistungsstärkeren Versuchspersonen, was Evidenz dafür liefert, dass die an den SC beteiligten Prozesse nicht mit weiter steigendem Alter nochmals stärker abnehmen.

Eine Erweiterung obiger Erklärung wäre, dass die am Training beteiligten Funktionen nicht oder nur gering an den Transfertests beteiligt waren. Um dies zu überprüfen, wurden post-hoc Leistungsstärkere und Leistungsschwächere in den relevanten Merkmalen der Transfertests miteinander verglichen. Ein methodisches Problem in dieser Analyse bestand darin, dass die vorliegende Studie für diese Untersuchung nicht ausgelegt war, sodass keine komplexeren statistischen Modellierungen wie Strukturgleichungsmodelle dazu angewandt werden konnten, was wahrscheinlich belastbarere Aussagen zugelassen hätte. Da sich, nach dem Mediansplit, die Leistungsstarken und Leistungsschwachen in den SC unterschieden und weil, durch die Bayes-Analyse, aber prinzipiell die Aussage getroffen werden könnte, dass sich die Leistungsschwächeren wahrscheinlich nicht von den Leistungsstärkeren unterschieden, war diese Analyse wohl dennoch zulässig. Die Ergebnisse zu dieser Aussage waren jedoch sehr uneindeutig. Der Bayes-Faktor  $B_{10}$  lieferte in der Regel nur anekdotische Evidenz für  $H_0$ , sodass die Ergebnisse nur sehr vorsichtig interpretiert werden sollten. Wenn man anekdotische Evidenz als ausreichend befindet, um für die  $H_0$  zu argumentieren, dann sprächen die Ergebnisse dafür, dass an den SC beteiligte Prozesse nicht an den Transferaufgaben beteiligt waren. Welche Prozesse dies genau sind, kann nicht gesagt werden. Aus der Literatur ist aber zu entnehmen, dass es sich wahrscheinlich um Vorbereitungsprozesse, Inhibitionsprozesse und Arbeitsgedächtnisprozesse wie das Aufrechterhalten und Aktivieren des aktuellen Aufgabensets handeln könnte (Monsell, 2003; Koch et al., 2010; Kiesel et al., 2010).

Die Analyse nach dem Mediansplit gibt Evidenz für prozessspezifische Annahmen zum kognitiven Altern. Sollte ein gemeinsamer Generalfaktor an der altersbedingten Abnahme vieler kognitiver Funktionen beteiligt sein, so sollten Versuchspersonen, die in einer Funktion geringe Leistungen zeigten, auch in anderen Funktionen geringe Leistungen zeigen. Somit sollten die Gruppen der in den SC hoch und gering Leistenden auch in kritischen Maßen anderer kognitiver Tests unterschiedlich sein. Dies spricht weiter dafür, dass prozessbasiertes Training, wie das vorliegende, tatsächlich

nur den trainierten Prozess verbessern kann und kein ferner Transfer stattfinden könnte.

Einschränkend ist aber zu erwähnen, dass die Verbesserung der Verarbeitungsgeschwindigkeit vielleicht transferiert werden könnte, auch wenn dies möglicherweise nur eine Verbesserung der Flexibilität und nicht der Kapazität beinhaltet.

Für die Experimentalgruppe bedeuten der fehlende nahe und ferne Transfer bei Verbesserungen in der Trainingsaufgabe, dass diese wohl sehr spezifische Funktionen trainierte, die nicht transferiert werden konnten. Der fehlende nahe Transfer deutet darauf hin, dass tatsächlich die Expertise für aufgabenspezifische Prozesse trainiert wurde und die vermeintlich trainierte Funktion zur Reaktions- oder Distraktorinhibition nicht transferiert werden konnte. Wie oben beschrieben, trainierte die Experimentalgruppe vielleicht tatsächlich Inhibitionsprozesse sowie Vorbereitungsprozesse wie die Aufmerksamkeitsausrichtung. Dieses Training war aber so aufgabenspezifisch, dass es nicht transferiert wurde.

## **7 Fazit**

Zusammenfassend können die Daten dieser Arbeit als Evidenz gegen Transfereffekte durch das hier verwendete inhibitionsfokussierte Cued-TS-Training bei Senioren und Seniorinnen gedeutet werden. Aufgrund der letzten Diskussionspunkte könnte davon ausgegangen werden, dass im Training die Inhibition interferierender Reaktionen nach Stahl und Kollegium (2014) trainiert wurde. Somit könnten die Ergebnisse dieser Arbeit möglicherweise auf Evidenz gegen Transfereffekte durch ein Training der Inhibition interferierender Reaktionen generalisiert werden. Vielmehr liefert die vorliegende Arbeit Evidenz für einen Expertiseaufbau durch kognitives Training. Der, trotz Verbesserungen im Training, fehlende nahe Transfer sowohl in der Experimentalgruppe als auch der aktiven Kontrollgruppe steht einigen anderen Trainingsstudien in Aufgabenwechselparadigmen entgegen (Minear & Shah, 2008; Karbach & Kray, 2009; Pereg, Shahr, Meiran, 2013; Kray & Fehér, 2017; Gaál & Czigler, 2018; Sabah, Dolk, Meiran & Dreisbach, 2019; Zhao, Wang, Maes, 2020). Bei den Trainingsprogrammen der vorliegenden Arbeit kann aufgrund des fehlenden nahen Transfers bei dennoch vorhandenen Verbesserungen in den Trainingsprogrammen davon ausgegangen werden, dass die Trainingsprogramme spezifisch an der trainierten Aufgabe beteiligte Prozesse verbesserten. Jedoch scheinen die Versuchspersonen dazu eher aufgabenspezi-

fische Strategien trainiert zu haben, was entweder implizit oder auch explizit geschehen sein könnte. Weil in den oben genannten Aufgaben, in denen ein naher Transfer erzielt werden konnte, meist nur geringe Modifikationen an der Transferaufgabe vorgenommen wurden, wäre es möglich, dass auch in diesen Studien nur die Aufgabenerfahrung trainiert und transferiert wurde. Ein naher Transfer würde also über den Ausbau der Expertise stattfinden.

Transferiert werden konnte jedoch die, in der aktiven Kontrollgruppe verbesserte, Verarbeitungsgeschwindigkeit. Für die aktive Kontrollgruppe sprachen die Daten dafür, dass diese in der Lage war, ihre Flexibilität zu steigern und ihre Reaktionsgeschwindigkeit flexibel an die neuen Aufgabenanforderungen anzupassen, was sie auch transferiert zu haben schien. Da aber auch für diese Gruppe kein Transfer auf die SC gezeigt werden konnte, hat wohl auch diese Gruppe, neben der Steigerung der flexiblen Reaktionsgeschwindigkeitsanpassung, eine Expertise für die spezifische Aufgabe aufgebaut.

In der Diskussion wurde herausgearbeitet, dass die hier möglicherweise trainierten Inhibitionsfunktionen wahrscheinlich nicht mit steigendem Alter abnehmen oder nicht mit Alterungsprozessen in anderen kognitiven Funktionen assoziiert wären (Rey-Mermet & Gade, 2018). Der Zusammenhang zwischen Verarbeitungsgeschwindigkeit und der altersbedingten Abnahme kognitiver Funktionen scheint in der Literatur deutlicher zu sein (Salthouse, 1996; Salthouse 2000; Verhaeghen & Salthouse, 1997; Bunce & Macready 2005; Lee et al., 2012).

Möglicherweise kann ein Training in Abhängigkeit der Defizite in einer trainierten Funktion diese Funktion verbessern und eventuell transferieren. In der vorliegenden Arbeit trainierte die Experimentalgruppe möglicherweise die Reaktionsinhibitionsfähigkeit, welche aber wahrscheinlich gar nicht von Alterungsprozessen betroffen war (Rey-Mermet & Gade, 2018). Auch die möglicherweise trainierte Ausrichtung der Aufmerksamkeit während der Vorbereitung war sehr wahrscheinlich nur am ANT beteiligt und somit nur auf diesen transferierbar. Im ANT wurde aber die Aufmerksamkeitsausrichtung auf der Vertikalen und nicht, wie trainiert, auf der Horizontalen benötigt. Somit hätte auch diese nicht transferiert werden können. Zudem ist sie sehr wahrscheinlich nicht oder nur gering durch Alterungsprozesse betroffen (Jennings et al., 2007; Gamboz, Zamarian & Cavallero, 2010; Zhou et al., 2011). Da somit die trainierten Funktionen gut funktionierten, konnte im Training keine Steigerung der

Kapazität oder der Flexibilität erzielt werden. Verbesserungen im Training wurden eher dadurch erzielt, dass die vorhandene Kapazität besser auf kritische, aufgabenspezifische Funktionen ausgerichtet wurde. Auch die aktive Kontrollgruppe schien eher die Ausrichtung kognitiver, an der Aufgabe beteiligter Kapazitäten auf aufgabenspezifische Funktionen zu trainieren. Zusätzlich aber verbesserte sich die flexible Anpassung der Verarbeitungsgeschwindigkeit, welche eine wahrscheinlich defizitäre Funktion gewesen sein sollte.

Möglicherweise wird im Training generell die Aufgabenexpertise trainiert und zusätzlich die Flexibilität in defizitären, für die Aufgabe wichtigen Funktionen. Wenn die Funktion nicht in einem Maße defizitär ist, in dem sie zu Problemen in der Aufgabebearbeitung führt, könnte eher die Expertise trainiert werden. Wenn die Flexibilität nicht ausreicht, aber die Kapazität, würde die Flexibilität erhöht. Eine Erklärung für die Daten von Strong und Alvarez (2017) zum Expertiseaufbau wäre, dass sie nur junge Erwachsene trainierten, deren Kapazitäten wahrscheinlich ausreichend waren, um die Aufgaben zu bewältigen. Dadurch wäre dort nur die Expertise aufgebaut worden. Sofern die Diskrepanz zwischen dem Defizit in der relevanten Funktion und den Aufgabenanforderungen zu hoch ist, könnte das Training möglicherweise auch zu einer Steigerung der Kapazität führen (siehe Lövdén et al., 2010). Hierfür liefert die Arbeit jedoch keine Evidenz.

## **8 Ausblick**

Nach diesen Überlegungen würde der Expertiseaufbau im Training immer eine zentrale Rolle spielen und kognitive Funktionen durch einen Ausbau der Flexibilität oder Prozesse zur Plastizität nur bis zu einem Grad gesteigert werden, ab dem der Expertiseaufbau möglich ist. Dies würde bedeuten, dass ein naher Transfer möglich sein könnte, ein ferner dadurch aber sehr erschwert würde. In zukünftigen Untersuchungen könnte diese Überlegung weiter evaluiert werden. Hierzu könnten Transfereffekte zwischen leistungsstarken und leistungsschwachen Seniorinnen und Senioren in Aufgaben, die für kognitive Alterungsprozesse zentrale Funktionen nutzen, evaluiert werden. Hierbei könnte auf einen nahen oder fernen Transfer hin untersucht werden und zudem für einen Expertiseaufbau kontrolliert werden. Dazu sollten jedoch auch die Zusammenhänge zwischen verschiedenen kognitiven Funktionen und der Einfluss von Alterungsprozessen weiter untersucht werden.



Die Daten der vorliegenden Arbeit sprechen eher für prozessspezifische Erklärungsansätze des Alterns, woraus folgt, dass ferner Transfer nur sehr eingeschränkt und sehr spezifisch möglich sein sollte. Ein möglicher Generalfaktor könnte aber die Verarbeitungsgeschwindigkeit sein. Wurde sie in dieser Arbeit als Kontrolltraining verwendet, sprachen die Ergebnisse doch eher dafür, dass das Training der Verarbeitungsgeschwindigkeit altersbedingte kognitive Defizite, zumindest im Ausbau der Flexibilität, verbessern könnte. Wie Chen und Chen (2013) berichten, sei ein Transfer der Verarbeitungsgeschwindigkeit schwer zu erzielen. Eventuell könnte aber ein Transfer auf defizitäre exekutive Funktionen erfolgen. Um den Einfluss des Trainings der Verarbeitungsgeschwindigkeit zu erfassen, sollten Aufgaben entwickelt werden, in denen komplexe kognitive Funktionen unter Zeitdruck bearbeitet werden müssen. Es könnten beispielsweise Trainingsdesigns entwickelt werden, bei denen z. B. in n-zurück-Aufgaben die Enkodierzeit verringert wird, um so zu erfassen, ob das Training der Verarbeitungsgeschwindigkeit einen Transfer auf das Enkodieren in anderen Arbeitsgedächtnisaufgaben oder Gedächtnisaufgaben haben könnte. Auch andere Aufgaben zu exekutiven Funktionen könnten unter Zeitdruck trainiert werden, was möglicherweise einen Transfer im höheren Lebensalter erzielen könnte.

Ob Training eher Flexibilität oder Plastizität steigern kann, sollte weiterhin durch den Einsatz neurophysiologischer Verfahren, wie beispielsweise bei Dörrenbächer und Kollegium (2019), evaluiert werden. Die Ausführungen von Lövdén und Kollegium (2010) lassen darauf schließen, dass durch Training eher die Flexibilität gesteigert werden könnte als die Kapazität, worauf auch diese Arbeit hindeutet. Dass bei Senioren und Seniorinnen die Plastizität geringer ausgeprägt sein könnte (Jones et al., 2006) als bei Jüngeren, macht es auch wahrscheinlich, dass im höheren Lebensalter eher Flexibilität als Plastizität trainiert wird.

Ein weiterer wichtiger Ansatz für folgende Studien stellt die Praxistauglichkeit kognitiven Trainings dar. Laut Simons und Kollegiums (2016) Übersichtsarbeit gebe es nur wenig Evidenz für die Verbesserung von Alltagsaktivitäten durch kognitives Training. Wenn Trainingseffekte tatsächlich so spezifisch sind, wie in der vorliegenden Arbeit dargestellt, dann könnte ein Transfer auf Alltagsaktivitäten auch nur entstehen, wenn das kognitive Training tatsächlich wichtige Alltagsfunktionen abbildet. Trainingsprogramme sollten also direkt für Alltagsaufgaben konzipiert werden. Beispielsweise könnten spezifische Funktionen in dreidimensionalen Computerprogrammen, wie

simulierten Unterhaltungen zu folgen oder Reizdiskrimination in alltagsorientierten Umgebungen, einen Transfer in den Alltag zur Folge haben.

Generell deuten die Daten der vorliegenden Arbeit darauf hin, dass kognitives Training sehr spezifisch zu sein scheint. Ein Expertiseaufbau sollte also in der Konzeption von Studien mitbedacht werden. Er könnte aber auch in der Konzeption kommerzieller Trainingsprogramme bedacht werden, um Alltagstransfers wahrscheinlicher zu machen.

## Literatur

- Allen, J. S., Bruss, J., Brown, C. K., & Damasio, H. (2005). Normal neuroanatomical variation due to age: the major lobes and a parcellation of the temporal region. *Neurobiology of aging*, 26(9), 1245-1260.
- Allen, P. A., Hall, R. J., Druley, J. A., Smith, A. F., Sanders, R. E., & Murphy, M. D. (2001). How shared are age-related influences on cognitive and noncognitive variables?. *Psychology and Aging*, 16(3), 532.
- Allport, A., & Wylie, G. (1999). Task-switching: Positive and negative priming of task-set.
- Allport, A., Styles, E. A., & Hsieh, S. (1994). 17 Shifting Intentional Set: Exploring the Dynamic Control of Tasks. *Attention and performance XV: Conscious and non-conscious information processing*, 15, 421.
- Altmann, E. M. (2007). Comparing switch costs: alternating runs and explicit cuing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(3), 475.
- Andrés, P., Guerrini, C., Phillips, L. H., & Perfect, T. J. (2008). Differential effects of aging on executive and automatic inhibition. *Developmental neuropsychology*, 33(2), 101-123.
- Anguera, J. A., Boccanfuso, J., Rintoul, J. L., Al-Hashimi, O., Faraji, F., Janowich, J., & Gazzaley, A. (2013). Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, 501(7465), 97-101.
- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 22(2), 366-377.
- Baddeley, A. (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. *The psychology of learning and motivation*, 8, 47-89.
- Ball, K., Edwards, J. D., & Ross, L. A. (2007). The impact of speed of processing training on cognitive and everyday functions. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 62 (Special\_Issue\_1), 19-31.
- Barnett, S. M., & Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn?: A taxonomy for far transfer. *Psychological bulletin*, 128(4), 612.
- Bhome, R., Berry, A. J., Huntley, J. D., & Howard, R. J. (2018). Interventions for subjective cognitive decline: systematic review and meta-analysis. *BMJ open*, 8(7), e021610.
- Bonsang, E., Adam, S., & Perelman, S. (2012). Does retirement affect cognitive functioning?. *Journal of health economics*, 31(3), 490-501.
- Borghesani, P. R., Madhyastha, T. M., Aylward, E. H., Reiter, M. A., Swarny, B. R., Schaie, K. W., & Willis, S. L. (2013). The association between higher order abilities,

processing speed, and age are variably mediated by white matter integrity during typical aging. *Neuropsychologia*, 51(8), 1435-1444.

Bortz, J., & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer-Verlag.

Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological review*, 108(3), 624.

Brainerd, C. J. (1975). Debate: structures-of-the-whole and elementary education. *American Educational Research Journal*, 12(3), 369-378.

Braver, T. S. (2012). The variable nature of cognitive control: a dual mechanisms framework. *Trends in cognitive sciences*, 16(2), 106-113.

Brehmer, Y., Li, S. C., Müller, V., von Oertzen, T., & Lindenberger, U. (2007). Memory plasticity across the life span: uncovering children's latent potential. *Developmental psychology*, 43(2), 465.

Brockmole, J. R., Parra, M. A., Sala, S. D., & Logie, R. H. (2008). Do binding deficits account for age-related decline in visual working memory?. *Psychonomic bulletin & review*, 15(3), 543-547.

Buchner, A., & Brandt, M. (2009). Gedächtniskonzeptionen und Wissensrepräsentationen. In *Allgemeine Psychologie* (pp. 428-464). Springer, Berlin, Heidelberg.

Bugaiska, A., Clarys, D., Jarry, C., Tacconnat, L., Tapia, G., Vanneste, S., & Isingrini, M. (2007). The effect of aging in recollective experience: The processing speed and executive functioning hypothesis. *Consciousness and Cognition*, 16(4), 797-808.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales. (<https://www.bmas.de/DE/Soziales/Rente-und-Altersvorsorge/Fakten-zur-Rente/Alternde-Gesellschaft/alternde-gesellschaft.html>). Zuletzt abgerufen: August 2022

Bunce, D., & Macready, A. (2005). Processing speed, executive function, and age differences in remembering and knowing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58(1), 155-168.

Buschkuehl, M., Jaeggi, S. M., & Jonides, J. (2012). Neuronal effects following working memory training. *Developmental cognitive neuroscience*, 2, S167-S179.

Butler, M., McCreedy, E., Nelson, V. A., Desai, P., Ratner, E., Fink, H. A., & Kane, R. L. (2018). Does cognitive training prevent cognitive decline? A systematic review. *Annals of internal medicine*, 168(1), 63-68.

Cabeza, R., Nyberg, L., & Park, D. C. (Eds.). (2016). *Cognitive neuroscience of aging: Linking cognitive and cerebral aging*. Oxford University Press.

Campbell, K. L., & Hasher, L. (2018). Hyper-binding only apparent under fully implicit test conditions. *Psychology and Aging*, 33(1), 176.

Campbell, K. L., Hasher, L., & Thomas, R. C. (2010). Hyper-binding: A unique age effect. *Psychological Science*, 21(3), 399-405.

Campbell, K. L., Lustig, C., & Hasher, L. (2020). Aging and inhibition: Introduction to the special issue. *Psychology and Aging*, 35(5), 605.

- Campbell, K. L., Trelle, A., & Hasher, L. (2014). Hyper-binding across time: age differences in the effect of temporal proximity on paired-associate learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(1), 293.
- Campbell, K. L., Zimmerman, S., Healey, M. K., Lee, M., & Hasher, L. (2012). Age differences in visual statistical learning. *Psychology and Aging*, 27(3), 650.
- CANTAB <https://www.cambridgecognition.com/cantab/cognitive-tests/memory/paired-associates-learning-pal/>. Zuletzt abgerufen: 04.07.2022
- Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & Gonzalez de Sather, J. (2001). Changes in executive control across the life span: examination of task-switching performance. *Developmental psychology*, 37(5), 715.
- Chen, E. P., & Chen, J. Y. (2013, March). The effect of multiple processing speed training on age-related cognitive decline. In *2013 1st International Conference on Orange Technologies (ICOT)* (pp. 266-269). IEEE.
- Chen, T., & Naveh-Benjamin, M. (2012). Assessing the associative deficit of older adults in long-term and short-term/working memory. *Psychology and aging*, 27(3), 666.
- Clark, J. M. (1996). Contributions of inhibitory mechanisms to unified theory in neuroscience and psychology. *Brain and Cognition*, 30(1), 127-152.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). Hillsdale, N.J: L. Erlbaum Associates.
- Cowan, N. (1998). *Attention and memory: An integrated framework*. Oxford University Press.
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and brain sciences*, 24(1), 87-114.
- Cowan, N., Morey, C. C., & Naveh-Benjamin, M. (2021). An embedded-processes approach to working memory: how is it distinct from other approaches, and to what ends?.
- Cowan, N., Naveh-Benjamin, M., Kilb, A., & Saults, J. S. (2006). Life-span development of visual working memory: When is feature binding difficult?. *Developmental psychology*, 42(6), 1089.
- Craik, F. I. (1986). A functional account of age differences in memory. *Human memory and cognitive capabilities: Mechanisms and performances*, 409-422.
- Craik, F. I., & McDowd, J. M. (1987). Age differences in recall and recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(3), 474.
- Crawford, J. R., Bryan, J., Luszcz, M. A., Obonsawin, M. C., & Stewart, L. (2000). The executive decline hypothesis of cognitive aging: Do executive deficits qualify as differential deficits and do they mediate age-related memory decline?. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 7(1), 9-31.

- Damoiseaux, J. S., Beckmann, C. F., Arigita, E. S., Barkhof, F., Scheltens, P., Stam, C. J., & Rombouts, S. A. R. B. (2008). Reduced resting-state brain activity in the “default network” in normal aging. *Cerebral cortex*, *18*(8), 1856-1864.
- de Frias, C. M., Lövdén, M., Lindenberger, U., & Nilsson, L. G. (2007). Revisiting the dedifferentiation hypothesis with longitudinal multi-cohort data. *Intelligence*, *35*(4), 381-392.
- De Simoni, C., & von Bastian, C. C. (2018). Working memory updating and binding training: Bayesian evidence supporting the absence of transfer. *Journal of Experimental Psychology: General*, *147*(6), 829.
- Deary, I. J., Egan, V., Gibson, G. J., Austin, E. J., Brand, C. R., & Kellaghan, T. (1996). Intelligence and the differentiation hypothesis. *Intelligence*, *23*(2), 105-132.
- Delius, J. & Lindenberger, U. (2014). Gehirnjogging am Computer hält nicht, was es verspricht: Gemeinsame Erklärung von internationalen Kognitions- und Neurowissenschaftlern. <https://www.mpib-berlin.mpg.de/de/presse/2014/10/gehirnjogging-am-computer-haelt-nicht-was-es-verspricht>. Englische Originalversion: <https://longevity.stanford.edu/a-consensus-on-the-brain-training-industry-from-the-scientific-community-2/> (beide Zuletzt abgerufen: August 2022)
- Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental review*, *12*(1), 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.
- Dörrenbächer, S., Schütz, C., Woirgardt, M., Wu, C. C., Zimmer, H. D., & Kray, J. (2019). Spatio-temporal neural changes after task-switching training in old age. *Frontiers in aging neuroscience*, *11*, 267.
- Dougherty, M. R., Hamovitz, T., & Tidwell, J. W. (2016). Reevaluating the effectiveness of n-back training on transfer through the Bayesian lens: Support for the null. *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*(1), 306-316.
- Duff, K., Schoenberg, M. R., Scott, J. G., & Adams, R. L. (2005). The relationship between executive functioning and verbal and visual learning and memory. *Archives of clinical neuropsychology*, *20*(1), 111-122.
- Dunlap, W. P., Cortina, J. M., Vaslow, J. B., & Burke, M. J. (1996). Meta-analysis of experiments with matched groups or repeated measures designs. *Psychological Methods*, *1*(2), 170.
- Edwards, J. D., Wadley, V. G., Myers, R. S., Roenker, D. L., Cissell, G. M., & Ball, K. K. (2002). Transfer of a speed of processing intervention to near and far cognitive functions. *Gerontology*, *48*(5), 329-340.
- Edwards, J. D., Wadley, V. G., Vance, D. E., Wood, K., Roenker, D. L., & Ball, K. K. (2005). The impact of speed of processing training on cognitive and everyday performance. *Aging & mental health*, *9*(3), 262-271.
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (1997). Aging and mind wandering: reduced inhibition in older adults?. *Experimental aging research*, *23*(4), 343-354.

- Ellis, P. D. (2010). *The essential guide to effect sizes: Statistical power, meta-analysis, and the interpretation of research results*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & psychophysics*, *16*(1), 143-149.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of cognitive neuroscience*, *14*(3), 340-347.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, *41*, 1149-1160. Download PDF
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*, 175-191. Download PDF
- Fernandez-Duque, D., & Black, S. E. (2006). Attentional networks in normal aging and Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, *20*(2), 133.
- Ferrer-Caja, E., Crawford, J. R., & Bryan, J. (2002). A structural modeling examination of the executive decline hypothesis of cognitive aging through reanalysis of Crawford et al.'s (2000) data. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *9*(3), 231-249.
- Forstmann, B. U., Tittgemeyer, M., Wagenmakers, E. J., Derrfuss, J., Imperati, D., & Brown, S. (2011). The speed-accuracy tradeoff in the elderly brain: a structural model-based approach. *Journal of Neuroscience*, *31*(47), 17242-17249.
- 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.
- Friedrich, C. (2015). Training und Transfer Exekutiver Funktionen bei Senioren. *Unveröffentlichte Masterarbeit. Universität des Saarlandes*.
- Gaál, Z. A., & Czigler, I. (2018). Task-switching training and transfer: Age-related effects on late ERP components. *Journal of Psychophysiology*, *32*(3), 106.
- Gamboz, N., Zamarian, S., & Cavallero, C. (2010). Age-related differences in the attention network test (ANT). *Experimental aging research*, *36*(3), 287-305.
- Garfein, A. J., & Herzog, A. R. (1995). Robust aging among the young-old, old-old, and oldest-old. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *50*(2), S77-S87.
- Gaspar, J. G., Neider, M. B., Simons, D. J., McCarley, J. S., & Kramer, A. F. (2013). Change detection: training and transfer. *PloS one*, *8*(6), e67781.
- Gazzaley, A., Clapp, W., Kelley, J., McEvoy, K., Knight, R. T., & D'Esposito, M. (2008). Age-related top-down suppression deficit in the early stages of cortical visual memory processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(35), 13122-13126.

- Gazzaley, A., Cooney, J. W., Rissman, J., & D'Esposito, M. (2005). Top-down suppression deficit underlies working memory impairment in normal aging. *Nature neuroscience*, *8*(10), 1298-1300.
- Goh, J. O. (2011). Functional dedifferentiation and altered connectivity in older adults: neural accounts of cognitive aging. *Aging and disease*, *2*(1), 30.
- Goschke, T. (2000). 14 Intentional Reconfiguration and. *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII*, *18*, 331.
- Grady, C. (2012). The cognitive neuroscience of ageing. *Nature Reviews Neuroscience*, *13*(7), 491-505.
- Greenwood, P. M., & Parasuraman, R. (2010). Neuronal and cognitive plasticity: a neurocognitive framework for ameliorating cognitive aging. *Frontiers in aging neuroscience*, *2*, 150.
- Guye, S., & Von Bastian, C. C. (2017). Working memory training in older adults: Bayesian evidence supporting the absence of transfer. *Psychology and aging*, *32*(8), 732.
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. *Psychology of learning and motivation*, *22*, 193-225.
- Hasher, L., Zacks, R. T., & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. Gopher, D. & Koriati, A. (eds.), *Attention and Performance XVIII* (pp. 653-675), Cambridge MA: MIT Press.
- Heinzel, S., Schulte, S., Onken, J., Duong, Q. L., Riemer, T. G., Heinz, A., & Rapp, M. A. (2014). Working memory training improvements and gains in non-trained cognitive tasks in young and older adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *21*(2), 146-173.
- IBM Corp. Released 2021. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28.0. Armonk, NY: IBM Corp. [Computer software].
- Introzzi, I., Zamora, E., Aydmune, Y., Richard's, M. M., Comesaña, A., & Canet-Juric, L. (2020). The change processes in selective attention during adulthood. Inhibition or processing speed?. *The Spanish Journal of Psychology*, *23*.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(19), 6829-6833.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Shah, P. (2011). Short-and long-term benefits of cognitive training. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(25), 10081-10086.
- JASP Team (2021). JASP (Version 0.16) [Computer software].
- Jeffreys, H. (1961). *Theory of probability*. Oxford, England: Oxford University Press
- Jennings, J. M., Dagenbach, D., Engle, C. M., & Funke, L. J. (2007). Age-related changes and the attention network task: An examination of alerting, orienting, and executive function. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *14*(4), 353-369.



- Jolles, D. D., Grol, M. J., Van Buchem, M. A., Rombouts, S. A., & Crone, E. A. (2010). Practice effects in the brain: changes in cerebral activation after working memory practice depend on task demands. *Neuroimage*, *52*(2), 658-668.
- Jolly, T. A., Cooper, P. S., Rennie, J. L., Levi, C. R., Lenroot, R., Parsons, M. W., & Karayanidis, F. (2017). Age-related decline in task switching is linked to both global and tract-specific changes in white matter microstructure. *Human Brain Mapping*, *38*(3), 1588-1603.
- Jones, S., Nyberg, L., Sandblom, J., Neely, A. S., Ingvar, M., Petersson, K. M., & Bäckman, L. (2006). Cognitive and neural plasticity in aging: general and task-specific limitations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *30*(6), 864-871.
- Jost, K., Bryck, R. L., Vogel, E. K., & Mayr, U. (2011). Are old adults just like low working memory young adults? Filtering efficiency and age differences in visual working memory. *Cerebral cortex*, *21*(5), 1147-1154.
- Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., & Kwapil, T. R. (2007). For whom the mind wanders, and when an experience-sampling study of working memory and executive control in daily life. *Psychological science*, *18*(7), 614-621.
- Karbach, J., Könen, T., & Spengler, M. (2017). Who benefits the most? Individual differences in the transfer of executive control training across the lifespan. *Journal of Cognitive Enhancement*, *1*(4), 394-405.
- 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*(6), 978-990.
- Karbach, J., Mang, S., & Kray, J. (2010). Transfer of task-switching training in older age: the role of verbal processes. *Psychology and aging*, *25*(3), 677.
- Karbach, J., & Verhaeghen, P. (2014). Making working memory work: a meta-analysis of executive-control and working memory training in older adults. *Psychological science*, *25*(11), 2027-2037.
- Kiesel, A., Steinhauser, M., Wendt, M., Falkenstein, M., Jost, K., Philipp, A. M., & Koch, I. (2010). Control and interference in task switching—A review. *Psychological bulletin*, *136*(5), 849.
- Kirmße, A., Zimmer, H. D., & Ecker, U. K. (2018). Age-related changes in working memory: Age affects relational but not conjunctive feature binding. *Psychology and Aging*, *33*(3), 512.
- Ko, P. C., Duda, B., Hussey, E., Mason, E., Molitor, R. J., Woodman, G. F., & Ally, B. A. (2014). Understanding age-related reductions in visual working memory capacity: Examining the stages of change detection. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *76*(7), 2015-2030.
- Koch, I., Gade, M., Schuch, S., & Philipp, A. M. (2010). The role of inhibition in task switching: A review. *Psychonomic bulletin & review*, *17*(1), 1-14.
- Kramer, J. H., Mungas, D., Reed, B. R., Wetzel, M. E., Burnett, M. M., Miller, B. L., & Chui, H. C. (2007). Longitudinal MRI and cognitive change in healthy elderly. *Neuropsychology*, *21*(4), 412.

- Kray, J., & Fehér, B. (2017). Age differences in the transfer and maintenance of practice-induced improvements in task switching: The impact of working-memory and inhibition demands. *Frontiers in Psychology*, 8, 410.
- Kray, J., & Lindenberger, U. (2000). Adult age differences in task switching. *Psychology and aging*, 15(1), 126.
- Kray, J., Li, K. Z., & Lindenberger, U. (2002). Age-related changes in task-switching components: The role of task uncertainty. *Brain and cognition*, 49(3), 363-381.
- Kueider, A. M., Parisi, J. M., Gross, A. L., & Rebok, G. W. (2012). Computerized cognitive training with older adults: a systematic review. *PloS one*, 7(7), e40588.
- Kvavilashvili, L., Kornbrot, D. E., Mash, V., Cockburn, J., & Milne, A. (2009). Differential effects of age on prospective and retrospective memory tasks in young, young-old, and old-old adults. *Memory*, 17(2), 180-196.
- La Fleur, C. G., Meyer, M. J., & Dodson, C. (2018). Exploring dedifferentiation across the adult lifespan. *Psychology and aging*, 33(5), 855.
- Lawlor-Savage, L., & Goghari, V. M. (2016). Dual N-back working memory training in healthy adults: a randomized comparison to processing speed training. *PloS one*, 11(4), e0151817.
- Lawo, V., Philipp, A. M., Schuch, S., & Koch, I. (2012). The role of task preparation and task inhibition in age-related task-switching deficits. *Psychology and aging*, 27(4), 1130.
- Lee, E. Y., Cowan, N., Vogel, E. K., Rolan, T., Valle-Inclan, F., & Hackley, S. A. (2010). Visual working memory deficits in patients with Parkinson's disease are due to both reduced storage capacity and impaired ability to filter out irrelevant information. *Brain*, 133(9), 2677-2689.
- Lee, T., Crawford, J. D., Henry, J. D., Trollor, J. N., Kochan, N. A., Wright, M. J., & Sachdev, P. S. (2012). Mediating effects of processing speed and executive functions in age-related differences in episodic memory performance: a cross-validation study. *Neuropsychology*, 26(6), 776.
- Li, C. H., He, X., Wang, Y. J., Hu, Z., & Guo, C. Y. (2017). Visual working memory capacity can be increased by training on distractor filtering efficiency. *Frontiers in psychology*, 8, 196.
- Logan, G. D., & Gordon, R. D. (2001). Executive control of visual attention in dual-task situations. *Psychological review*, 108(2), 393.
- Lövdén, M., Bäckman, L., Lindenberger, U., Schaefer, S., & Schmiedek, F. (2010). A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychological bulletin*, 136(4), 659.
- Lövdén, M., Brehmer, Y., Li, S. C., & Lindenberger, U. (2012). Training-induced compensation versus magnification of individual differences in memory performance. *Frontiers in human neuroscience*, 6, 141.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279-281.

- Luria, R., Balaban, H., Awh, E., & Vogel, E. K. (2016). The contralateral delay activity as a neural measure of visual working memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *62*, 100-108.
- Lustig, C., Hasher, L., & Tonev, S. T. (2006). Distraction as a determinant of processing speed. *Psychonomic bulletin & review*, *13*(4), 619-625.
- Lustig, C., Hasher, L., & Zacks, R. T. (2007). Inhibitory deficit theory: Recent developments in a "new view".
- Lustig, C., May, C. P., & Hasher, L. (2001). Working memory span and the role of proactive interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*(2), 199.
- Mahoney, J. R., Verghese, J., Goldin, Y., Lipton, R., & Holtzer, R. (2010). Alerting, orienting, and executive attention in older adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *16*(5), 877-889.
- Mathewson, K. J., Jetha, M. K., Drmic, I. E., Bryson, S. E., Goldberg, J. O., Hall, G. B., & Schmidt, L. A. (2010). Autonomic predictors of Stroop performance in young and middle-aged adults. *International journal of psychophysiology*, *76*(3), 123-129.
- 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.
- Mayr, U., & Kliegl, R. (2003). Differential effects of cue changes and task changes on task-set selection costs. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *29*(3), 362.
- Mazzonna, F., & Peracchi, F. (2012). Ageing, cognitive abilities and retirement. *European Economic*.
- McIntosh, A. R., Nyberg, L., Bookstein, F. L., & Tulving, E. (1997). Differential functional connectivity of prefrontal and medial temporal cortices during episodic memory retrieval. *Human brain mapping*, *5*(4), 323-327.
- Meiran, N., Gotler, A., & Perlman, A. (2001). Old age is associated with a pattern of relatively intact and relatively impaired task-set switching abilities. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *56*(2), P88-P102.
- Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2016). There is no convincing evidence that working memory training is effective: A reply to Au et al. (2014) and Karbach and Verhaeghen (2014). *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*(1), 324-330.
- Melby-Lervåg, M., Redick, T. S., & Hulme, C. (2016). Working memory training does not improve performance on measures of intelligence or other measures of “far transfer” evidence from a meta-analytic review. *Perspectives on Psychological Science*, *11*(4), 512-534.
- Merzenich, M. et al. (2014). Cognitive Training Data Response Letter. <https://www.cognitivetrainingdata.org/the-controversy-does-brain-training-work/response-letter/> (zuletzt abgerufen: August 2022)
- Minear, M., & Shah, P. (2008). Training and transfer effects in task switching. *Memory & cognition*, *36*(8), 1470-1483.

- Mitchell, K. J., Johnson, M. K., Raye, C. L., & D'Esposito, M. (2000). fMRI evidence of age-related hippocampal dysfunction in feature binding in working memory. *Cognitive brain research*, *10*(1-2), 197-206.
- Mitchell, K. J., Johnson, M. K., Raye, C. L., Mather, M., & D'Esposito, M. (2000). Aging and reflective processes of working memory: binding and test load deficits. *Psychology and aging*, *15*(3), 527.
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current directions in psychological science*, *21*(1), 8-14.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, 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*(1), 49-100.
- Mohammed, S., Flores, L., Deveau, J., Cohen Hoffing, R., Phung, C., M Parlett, C., & R Seitz, A. (2017). The benefits and challenges of implementing motivational features to boost cognitive training outcome. *Journal of Cognitive Enhancement*, *1*(4), 491-507.
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in cognitive sciences*, *7*(3), 134-140.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British journal of psychology*, *81*(2), 111-121.
- Navarro, E., & Calero, M. D. (2018). Cognitive plasticity in young-old adults and old-old adults and its relationship with successful aging. *Geriatrics*, *3*(4), 76. Review, *56*(4), 691-710.
- Naveh-Benjamin, M. (2000). Adult age differences in memory performance: tests of an associative deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *26*(5), 1170.
- Naveh-Benjamin, M., & Mayr, U. (2018). Age-related differences in associative memory: Empirical evidence and theoretical perspectives. *Psychology and Aging*, *33*(1), 1.
- Naveh-Benjamin, M., Guez, J., Kilb, A., & Reedy, S. (2004). The associative memory deficit of older adults: further support using face-name associations. *Psychology and aging*, *19*(3), 541.
- Naveh-Benjamin, M., Hussain, Z., Guez, J., & Bar-On, M. (2003). Adult age differences in episodic memory: further support for an associative-deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *29*(5), 826.
- Nguyen, L., Murphy, K., & Andrews, G. (2019). Immediate and long-term efficacy of executive functions cognitive training in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *145*(7), 698.
- Nilsson, J., Thomas, A. J., O'Brien, J. T., & Gallagher, P. (2014). White matter and cognitive decline in aging: A focus on processing speed and variability. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *20*(3), 262-267.
- Nyberg, L., Lövdén, M., Riklund, K., Lindenberger, U., & Bäckman, L. (2012). Memory aging and brain maintenance. *Trends in cognitive sciences*, *16*(5), 292-305.

- Nyberg, L., Maitland, S. B., Rönnlund, M., Bäckman, L., Dixon, R. A., Wahlin, Å., & Nilsson, L. G. (2003). Selective adult age differences in an age-invariant multifactor model of declarative memory. *Psychology and aging, 18*(1), 149.
- Old, S. R., & Naveh-Benjamin, M. (2008a). Differential effects of age on item and associative measures of memory: a meta-analysis. *Psychology and aging, 23*(1), 104.
- Old, S. R., & Naveh-Benjamin, M. (2008b). Memory for people and their actions: further evidence for an age-related associative deficit. *Psychology and aging, 23*(2), 467.
- Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S., & Ballard, C. G. (2010). Putting brain training to the test. *Nature, 465*(7299), 775-778.
- Park, D. C., & Festini, S. B. (2017). Theories of memory and aging: A look at the past and a glimpse of the future. *The Journals of Gerontology: Series B, 72*(1), 82-90.
- Park, D. C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and aging, 17*(2), 299.
- Park, D. C., Smith, A. D., Lautenschlager, G., Earles, J. L., Frieske, D., Zwahr, M., & Gaines, C. L. (1996). Mediators of long-term memory performance across the life span. *Psychology and aging, 11*(4), 621.
- Parra, M. A., Abrahams, S., Logie, R. H., & Della Sala, S. (2009). Age and binding within-dimension features in visual short-term memory. *Neuroscience letters, 449*(1), 1-5.
- Peng, H., Wen, J., Wang, D., & Gao, Y. (2012). The impact of processing speed training on working memory in old adults. *Journal of Adult Development, 19*(3), 150-157.
- Pereg, M., Shahar, N., & Meiran, N. (2013). Task switching training effects are mediated by working-memory management. *Intelligence, 41*(5), 467-478.
- Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual review of neuroscience, 35*, 73.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology, 32*(1), 3-25.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1989). The attention system of the human brain.
- Pringle, H. L., Irwin, D. E., Kramer, A. F., & Atchley, P. (2001). The role of attentional breadth in perceptual change detection. *Psychonomic bulletin & review, 8*(1), 89-95.
- Psychology Software Tools, Inc. [E-Prime 2.0 SP2]. (2015). Retrieved from <https://pstnet.com/products/e-prime-legacy-versions/>.
- Psychology Software Tools, Inc. [E-Prime 3.0]. (2016). Retrieved from <https://support.pstnet.com/>.
- Psychology Software Tools, Inc. [E-Prime Go]. (2020). Retrieved from <https://support.pstnet.com/>.
- Rabbitt, P. (1965). An age-decrement in the ability to ignore irrelevant information. *Journal of Gerontology, 20*(2), 233-238.

- Rabbitt, P. (1993). Does it all go together when it goes? The Nineteenth Bartlett Memorial Lecture. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 46(3), 385-434.
- Raichle, M. E., & Snyder, A. Z. (2007). A default mode of brain function: a brief history of an evolving idea. *Neuroimage*, 37(4), 1083-1090.
- Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2), 676-682.
- Read, C. A., Rogers, J. M., & Wilson, P. H. (2016). Working memory binding of visual object features in older adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 23(3), 263-281.
- Reischies, F. M., & Lindenberger, U. (2010). Grenzen und Potentiale kognitiver Leistungsfähigkeit im Alter. In *Die Berliner Altersstudie* (pp. 375-401). Akademie Verlag.
- Rey-Mermet, A., & Gade, M. (2018). Inhibition in aging: What is preserved? What declines? A meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 25(5), 1695-1716.
- Rhodes, S., Parra, M. A., Cowan, N., & Logie, R. H. (2017). Healthy aging and visual working memory: The effect of mixing feature and conjunction changes. *Psychology and Aging*, 32(4), 354.
- Rieck, J. R., Baracchini, G., Nichol, D., Abdi, H., & Grady, C. L. (2021). Reconfiguration and dedifferentiation of functional networks during cognitive control across the adult lifespan. *Neurobiology of Aging*, 106, 80-94.
- Rogers, W. A. (2000). Attention and aging.
- Rönnlund, M., Nyberg, L., Bäckman, L., & Nilsson, L. G. (2005). Stability, growth, and decline in adult life span development of declarative memory: cross-sectional and longitudinal data from a population-based study. *Psychology and aging*, 20(1), 3.
- Rozas, A. X. P., Juncos-Rabadán, O., & González, M. S. R. (2008). Processing speed, inhibitory control, and working memory: three important factors to account for age-related cognitive decline. *The International Journal of Aging and Human Development*, 66(2), 115-130.
- 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.
- Rush, B. K., Barch, D. M., & Braver, T. S. (2006). Accounting for cognitive aging: context processing, inhibition or processing speed?. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 13(3-4), 588-610.
- Rypma, B., Berger, J. S., Prabhakaran, V., Bly, B. M., Kimberg, D. Y., Biswal, B. B., & D'Esposito, M. (2006). Neural correlates of cognitive efficiency. *Neuroimage*, 33(3), 969-979.
- Sabah, K., Dolk, T., Meiran, N., & Dreisbach, G. (2019). When less is more: Costs and benefits of varied vs. fixed content and structure in short-term task switching training. *Psychological Research*, 83(7), 1531-1542.

- Sahakian, B. J., & Owen, A. (1992). Computerized assessment in neuropsychiatry using CANTAB: discussion paper. *Journal of the Royal Society of medicine*, 85(7), 399.
- Salami, A., Eriksson, J., & Nyberg, L. (2012). Opposing effects of aging on large-scale brain systems for memory encoding and cognitive control. *Journal of Neuroscience*, 32(31), 10749-10757.
- Salomon, G., & Perkins, D. N. (1989). Rocky roads to transfer: Rethinking mechanism of a neglected phenomenon. *Educational psychologist*, 24(2), 113-142.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological review*, 103(3), 403.
- Salthouse, T. A. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological psychology*, 54(1-3), 35-54.
- Salthouse, T. A. (2006). Mental exercise and mental aging: Evaluating the validity of the “use it or lose it” hypothesis. *Perspectives on Psychological Science*, 1(1), 68-87.
- Salthouse, T. A. (2009). When does age-related cognitive decline begin?. *Neurobiology of aging*, 30(4), 507-514.
- Salthouse, T. A. (2011). Neuroanatomical substrates of age-related cognitive decline. *Psychological bulletin*, 137(5), 753.
- Salthouse, T. A., & Czaja, S. J. (2000). Structural constraints on process explanations in cognitive aging. *Psychology and Aging*, 15(1), 44.
- Schooler, C. (2007). Use it - and keep it, longer, probably: A reply to Salthouse (2006). *Perspectives on Psychological Science*, 2(1), 24-29.
- Sedlmeier, P., & Renkewitz, F. (2010). *Forschungsmethoden und Statistik in der Psychologie*. München, Germany: Pearson Studium.
- Shah, P., & Miyake, A. (1999). Models of Working Memory - An Introduction.
- Shing, Y. L., Werkle-Bergner, M., Brehmer, Y., Müller, V., Li, S. C., & Lindenberger, U. (2010). Episodic memory across the lifespan: The contributions of associative and strategic components. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 1080-1091.
- Silver, H., Goodman, C., & Bilker, W. B. (2012). Impairment in associative memory in healthy aging is distinct from that in other types of episodic memory. *Psychiatry research*, 197(1), 135-139.
- Simons, D. J., Boot, W. R., Charness, N., Gathercole, S. E., Chabris, C. F., Hambrick, D. Z., & Stine-Morrow, E. A. (2016). Do “brain-training” programs work?. *Psychological Science in the Public Interest*, 17(3), 103-186.
- Simpson, T., Camfield, D., Pipingas, A., Macpherson, H., & Stough, C. (2012). Improved processing speed: Online computer-based cognitive training in older adults. *Educational gerontology*, 38(7), 445-458.
- Sliwinski, M. (1997). Aging and counting speed: evidence for process-specific slowing. *Psychology and Aging*, 12(1), 38.
- Smyth, A. C., & Naveh-Benjamin, M. (2016). Can DRYAD explain age-related associative memory deficits?. *Psychology and Aging*, 31(1), 1.

- Spreng, R. N., Shoemaker, L., & Turner, G. R. (2017). Executive functions and neurocognitive aging. In *Executive functions in health and disease* (pp. 169-196). Academic Press.
- Stahl, C., Voss, A., Schmitz, F., Nuszbaum, M., Tüscher, O., Lieb, K., & Klauer, K. C. (2014). Behavioral components of impulsivity. *Journal of Experimental Psychology: General*, *143*(2), 850.
- Starns, J. J., & Ratcliff, R. (2010). The effects of aging on the speed–accuracy compromise: Boundary optimality in the diffusion model. *Psychology and aging*, *25*(2), 377.
- Statistisches Bundesamt. [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/09/PD21\\_459\\_12411.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/09/PD21_459_12411.html). Zuletzt abgerufen: August 2022.
- Strong, R. W., & Alvarez, G. A. (2017). Training enhances attentional expertise, but not attentional capacity: Evidence from content-specific training benefits. *Journal of Vision*, *17*(4), 4-4.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of experimental psychology*, *18*(6), 643.
- Sullivan, M. P. (1999). The functional interaction of visual-perceptual and response mechanisms during selective attention in young adults, young-old adults, and old-old adults. *Perception & psychophysics*, *61*(5), 810-825.
- Takeuchi, H., & Kawashima, R. (2012). Effects of processing speed training on cognitive functions and neural systems. *Reviews in the Neurosciences*, *23*(3), 289-301.
- Thöne-Otto (2017). Dosis-Wirkungszusammenhänge in der Neurorehabilitation am Beispiel Arbeitsgedächtnistraining. *Neurologie & Rehabilitation*, *23*,9-18.
- Toril, P., Reales, J. M., & Ballesteros, S. (2014). Video game training enhances cognition of older adults: a meta-analytic study. *Psychology and aging*, *29*(3), 706.
- Tornay, F. J., & Milán, E. G. (2001). A more complete task-set reconfiguration in random than in predictable task switch. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *54*(3), 785-803.
- Townsend, J. T., & Ashby, F. G. (1978). Methods of modeling capacity in simple processing systems. In J. N. J. Castellan & F. Restle (Eds.), *Cognitive theory* (Vol. 3, pp. 199–239). New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Townsend, J. T., & Ashby, F. G. (2014). Methods of modeling capacity in simple processing systems. In *Cognitive theory* (pp. 211-252). Psychology Press.
- Tschirk, W. (2019). *Bayes-Statistik für Human- und Sozialwissenschaften*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Tulving, E. (1993). What is episodic memory?. *Current directions in psychological science*, *2*(3), 67-70.
- Turunen, M., Hokkanen, L., Bäckman, L., Stigsdotter-Neely, A., Hänninen, T., Paajanen, T., & Ngandu, T. (2019). Computer-based cognitive training for older adults: Determinants of adherence. *PLoS One*, *14*(7), e0219541.



- van Doorn, J., Aust, F., Haaf, J. M., Stefan, A. M., & Wagenmakers, E. J. (2021). Bayes factors for mixed models. *Computational Brain & Behavior*, 1-13.
- van Doorn, J., van den Bergh, D., Böhm, U., Dablander, F., Derks, K., Draws, T., & Wagenmakers, E. J. (2021). The JASP guidelines for conducting and reporting a Bayesian analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 28(3), 813-826.
- Vandierendonck, A. (2017). A comparison of methods to combine speed and accuracy measures of performance: A rejoinder on the binning procedure. *Behavior research methods*, 49(2), 653-673.
- Vandierendonck, A., Liefoghe, B., & Verbruggen, F. (2010). Task switching: interplay of reconfiguration and interference control. *Psychological bulletin*, 136(4), 601.
- Verhaeghen, P. (2011). Aging and executive control: Reports of a demise greatly exaggerated. *Current Directions in Psychological Science*, 20(3), 174-180.
- Verhaeghen, P., & Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention: A review of meta-analyses. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26(7), 849-857.
- Verhaeghen, P., & De Meersman, L. (1998). Aging and the Stroop effect: a meta-analysis. *Psychology and aging*, 13(1), 120.
- Verhaeghen, P., & Salthouse, T. A. (1997). Meta-analyses of age-cognition relations in adulthood: Estimates of linear and nonlinear age effects and structural models. *Psychological bulletin*, 122(3), 231.
- Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, 438(7067), 500-503.
- Von Bastian, C. C., & Eschen, A. (2016). Does working memory training have to be adaptive?. *Psychological research*, 80(2), 181-194.
- Wadley, V. G., Benz, R. L., Ball, K. K., Roenker, D. L., Edwards, J. D., & Vance, D. E. (2006). Development and evaluation of home-based speed-of-processing training for older adults. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 87(6), 757-763.
- Wagenmakers, E. J., Wetzels, R., Borsboom, D., & Van Der Maas, H. L. (2011). Why psychologists must change the way they analyze their data: the case of psi: comment on Bem (2011).
- Warbrick, T., Arrubla, J., Boers, F., Neuner, I., & Shah, N. J. (2014). Attention to detail: why considering task demands is essential for single-trial analysis of BOLD correlates of the visual P1 and N1. *Journal of cognitive neuroscience*, 26(3), 529-542.
- Ward, J. (2010). *The student's guide to cognitive neuroscience 2<sup>nd</sup> edition*. psychology press.
- Wasylyshyn, C., Verhaeghen, P., & Sliwinski, M. J. (2011). Aging and task switching: a meta-analysis. *Psychology and aging*, 26(1), 15.
- Weicker, J., Villringer, A., Thöne-Otto, A. (2015). Can Impaired Working Memory Functioning Be Improved by Training? A Meta-Analysis with a Special Focus on Brain Injured Patients. *Neuropsychology*.

- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological bulletin*, *120*(2), 272.
- 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.
- Westfall, P. H., Johnson, W. O., and Utts, J. M. (1997). A Bayesian perspective on the Bonferroni adjustment. *Biometrika*, *84*:419–427.
- Wiemers, E. A., Redick, T. S., & Morrison, A. B. (2019). The influence of individual differences in cognitive ability on working memory training gains. *Journal of Cognitive Enhancement*, *3*(2), 174-185.
- Wilkinson, A. J., & Yang, L. (2016). Inhibition plasticity in older adults: Practice and transfer effects using a multiple task approach. *Neural plasticity*, 2016.
- Williams, R. S., Biel, A. L., Wegier, P., Lapp, L. K., Dyson, B. J., & Spaniol, J. (2016). Age differences in the Attention Network Test: Evidence from behavior and event-related potentials. *Brain and Cognition*, *102*, 65-79.
- Willis, S. L., & Schaie, K. W. (2009). Cognitive training and plasticity: theoretical perspective and methodological consequences. *Restorative neurology and neuroscience*, *27*(5), 375-389.
- Wright, A. M., & Holliday, R. E. (2007). Enhancing the recall of young, young-old and old-old adults with cognitive interviews. *Applied cognitive psychology*, *21*(1), 19-43.
- Yang, L., Reed, M., Russo, F. A., & Wilkinson, A. (2009). A new look at retest learning in older adults: Learning in the absence of item-specific effects. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *64*(4), 470-473.
- ZanESCO, A. P., Witkin, J. E., Morrison, A. B., Denkova, E., & Jha, A. P. (2020). Memory load, distracter interference, and dynamic adjustments in cognitive control influence working memory performance across the lifespan. *Psychology and aging*, *35*(5), 614.
- Zelinski, E. M. (2009). Far transfer in cognitive training of older adults. *Restorative neurology and neuroscience*, *27*(5), 455-471.
- Zelinski, E. M., & Lewis, K. L. (2003). Adult age differences in multiple cognitive functions: differentiation, dedifferentiation, or process-specific change?. *Psychology and aging*, *18*(4), 727.
- Zelinski, E. M., Gilewski, M. J., & Schaie, K. W. (1993). Individual differences in cross-sectional and 3-year longitudinal memory performance across the adult life span. *Psychology and aging*, *8*(2), 176.
- Zhao, X., Wang, H., & Maes, J. H. (2020). Training and transfer effects of extensive task-switching training in students. *Psychological Research*, *84*(2), 389-403.
- Zhou, S. S., Fan, J., Lee, T. M., Wang, C. Q., & Wang, K. (2011). Age-related differences in attentional networks of alerting and executive control in young, middle-aged, and older Chinese adults. *Brain and Cognition*, *75*(2), 205-210.

# Anhang

## A1: Trainingsobjekte

Stufe 1

Stufe 2

Stufe 3

### Belebt-Indoor-Objekte



### Belebt-Outdoor-Objekte



### Unbelebt-Indoor-Objekte



### Unbelebt-Outdoor-Objekte



Die Objekte wurden jeweils in den verschiedenen Stufen präsentiert. Pro Stufe wurden also 16 Objekte präsentiert.

## A2: Objekte im Paarassoziationslernen

### Objektkombination 1



### Objektkombination 2



Die aufgeführten Objektkombinationen wurden entweder im Prätest oder im Posttest dargeboten. Die Reihenfolge wurde über die Versuchspersonen ausbalanciert.

### A3: Objekte und Kategorien im assoziativen Rekognitionstest

Objektliste 1			
Objekt	Kategorie	Objekt	Kategorie
Eule	Tiere	Sprungseil	Sport
Strauß	Tiere	Schwimmbrille	Sport
Pinguin	Tiere	Schlittschuhe	Sport
Papagei	Tiere	Tischtennisschläger	Sport
Krokodil	Tiere	Pokal	Sport
Schlange	Tiere	Zahnbürste	Pflege und Gesundheit
Käfer	Tiere	Zahnpasta	Pflege und Gesundheit
Löwe	Tiere	Seife	Pflege und Gesundheit
Eisbär	Tiere	Toilettenpapier	Pflege und Gesundheit
Schwein	Tiere	Kamm	Pflege und Gesundheit
Hase	Tiere	Lockenwickler	Pflege und Gesundheit
Igel	Tiere	Haarbürste	Pflege und Gesundheit
Frosch	Tiere	Schneidebrett	Geschirr und Ähnliches
Schildkröte	Tiere	Topf	Geschirr und Ähnliches
Schlauchboot	Transportmittel	Schöpfkelle	Geschirr und Ähnliches
Schiff	Transportmittel	Becher	Geschirr und Ähnliches
Traktor	Transportmittel	Gabel	Geschirr und Ähnliches
Heißluftballon	Transportmittel	Löffel	Geschirr und Ähnliches
Motorrad	Transportmittel	Kinderbett	Kindheit
Schild	Transportmittel	Lätzchen	Kindheit
Autoschlüssel	Transportmittel	Dinofigur	Kindheit
Propeller	Transportmittel	grüner Ballon	Kindheit
Straßenspiegel	Transportmittel	Legostein	Kindheit
Akkordeon	Instrumente	Puzzlestück	Kindheit
Klavier	Instrumente	Würfel	Kindheit
Trompete	Instrumente	Hut	Kleidung
Trommel	Instrumente	Kappe	Kleidung
Xylophon	Instrumente	Mütze	Kleidung
Metronom	Instrumente	T-Shirt	Kleidung
E-Gitarre	Instrumente	Shirt	Kleidung
Zierpflanze	Pflanzen und Garten	Jacke	Kleidung
Kaktus	Pflanzen und Garten	Hose	Kleidung
Blatt	Pflanzen und Garten	Schuhe	Kleidung
Pinke Blume	Pflanzen und Garten	Gummiwischer	Hilfsmittel
Kleeblatt	Pflanzen und Garten	Schlüsselbund	Hilfsmittel
Holzstück	Pflanzen und Garten	Schloss	Hilfsmittel
Erde	Pflanzen und Garten	Pipette	Hilfsmittel
Tannenzapfen	Pflanzen und Garten	Feuerzeug	Hilfsmittel
Kühlschrank	Elektronik	Streichholz	Hilfsmittel
Herd	Elektronik	Kerze	Hilfsmittel
Monitor	Elektronik	Axt	Handwerk
Tischlampe	Elektronik	Hammer	Handwerk
Mikrofon	Elektronik	Spachtel	Handwerk
Fernseher	Elektronik	Zollstock	Handwerk
USB-Stick	Elektronik	Schraube	Handwerk

Schallplatte	Elektronik	Bohrmaschine	Handwerk
Videokamera	Elektronik	Locher	Büro
Handy	Elektronik	Füller	Büro
Handtasche	Behälter	Stift	Büro
Kartonbox	Behälter	Spitzer	Büro
Koffer	Behälter	Lineal	Büro
Eimer	Behälter	Briefumschlag	Büro
Wasserflasche	Behälter	Zitrone	Nahrungsmittel
Sprühflasche	Behälter	Blumenkohl	Nahrungsmittel
Kanne	Behälter	Pflaume	Nahrungsmittel
Vase	Behälter	Knoblauch	Nahrungsmittel
Kühlbox	Behälter	Lauch	Nahrungsmittel
Golfball	Sport	Champignon	Nahrungsmittel
Billiardkugel	Sport	Baguette	Nahrungsmittel
Tennisball	Sport	Ei	Nahrungsmittel

---

**Objektliste 2**

---

<b>Objekt</b>	<b>Kategorie</b>	<b>Objekt</b>	<b>Kategorie</b>
Fossilie	Tiere	Hockeypuck	Sport
Vogel	Tiere	Skischuhe	Sport
Bison	Tiere	Baseball	Sport
Ente	Tiere	Federball	Sport
Schaf	Tiere	Fahrrad	Sport
Hahn	Tiere	Zahn	Pflege und Gesundheit
Seepferd	Tiere	Rasierer	Pflege und Gesundheit
Hund	Tiere	Wattestäbchen	Pflege und Gesundheit
Eidechse gelb/schwarz	Tiere	Spiegel	Pflege und Gesundheit
Pferd	Tiere	Medikament	Pflege und Gesundheit
Libelle	Tiere	Deo	Pflege und Gesundheit
Schmetterling	Tiere	Papierrolle	Pflege und Gesundheit
Zebra	Tiere	Teller	Geschirr und Ähnliches
Elefant	Tiere	Rührgerät	Geschirr und Ähnliches
Reflektor	Transportmittel	Messer	Geschirr und Ähnliches
Reifen	Transportmittel	Schale	Geschirr und Ähnliches
Flugzeug	Transportmittel	Knoblauch- presse	Geschirr und Ähnliches
Rad	Transportmittel	Pfanne	Geschirr und Ähnliches
Schulbus	Transportmittel	Spielstein	Kindheit
Bulldozer	Transportmittel	Kindersitz	Kindheit
Steuer	Transportmittel	Clown	Kindheit
Auto	Transportmittel	Gummiente	Kindheit
Fahrrad	Transportmittel	Sandschaufel	Kindheit
Schieber	Transportmittel	Puppe	Kindheit
Klarinette	Instrumente	Teddybär	Kindheit
Akustik-Gitarre	Instrumente	Krone	Kleidung
Trommel	Instrumente	Brille	Kleidung
Tamburin	Instrumente	Sandalen	Kleidung
Blockflöte	Instrumente	Haarreif	Kleidung

Geige	Instrumente	Regenschirm	Kleidung
Blumenkranz	Pflanzen und Garten	Weste	Kleidung
Schlauchdüse	Pflanzen und Garten	Pulli	Kleidung
Blume	Pflanzen und Garten	Gürtel	Kleidung
Ast	Pflanzen und Garten	Besen	Hilfsmittel
Batterie	Elektronik	Handschippe	Hilfsmittel
CD-Rom	Elektronik	Bürste	Hilfsmittel
Taschenlampe	Elektronik	Schwamm	Hilfsmittel
Glühbirne	Elektronik	Tesafilm	Hilfsmittel
Uhr	Elektronik	Spülmittel	Hilfsmittel
Fernbedienung	Elektronik	Taschentuch	Hilfsmittel
Antenne	Elektronik	Teppichmesser	Handwerk
Toaster	Elektronik	Spanneisen	Handwerk
Mixer	Elektronik	Bohrkopf	Handwerk
Moulinex-Mixer	Elektronik	Scharnier	Handwerk
Spülmaschine	Elektronik	Drahtzange	Handwerk
Ventilator	Elektronik	Handsäge	Handwerk
Drucker	Elektronik	Abhefter	Büro
Tastatur	Elektronik	Buntstift	Büro
Sporttasche	Behälter	Radiergummi	Büro
Rucksack	Behälter	Büroklammer	Büro
Messbecher	Behälter	Zirkel	Büro
Gießkanne	Behälter	Klebstift	Büro
Mülleimer	Behälter	Torte	Nahrungsmittel
Tupperbox	Behälter	Banane	Nahrungsmittel
Sparschwein	Behälter	Limette	Nahrungsmittel
Schale	Behälter	Brokkoli	Nahrungsmittel
Box	Behälter	Tomatensaft	Nahrungsmittel
Basketball	Sport	Pizza	Nahrungsmittel
Fahrradhelm	Sport	Orangensaft	Nahrungsmittel
Billardtisch	Sport	Zucchini	Nahrungsmittel

---

Die Objektlisten wurden entweder im Prätest oder im Posttest dargeboten. Die Reihenfolge wurde über die Versuchspersonen ausbalanciert.

#### A4 Cohens d als Effektstärkemaß für Prätest-Posttest Veränderungen jeder Gruppe

Training		Stroop-Test	
<i>Experimentalgruppe</i>		<i>Experimentalgruppe</i>	
Wechselkosten RT	0.6	Stroop-Effekt RT	0.090
Wechselkosten Acc	0.327	Kongruente Trials RT	0.313
Wiederholungstrials RT	-0.711	Inkongruente Trials RT	0.378
Wechseltrials RT	0.787	Stroop-Effekt Acc	0.414
Wiederholungstrials Acc	-0.851	Kongruente Trials Acc	-0.220
Wechseltrials Acc	-0.929	Inkongruente Trials Acc	-0.531
<i>Aktive Kontrollgruppe</i>		<i>Aktive Kontrollgruppe</i>	
Wechselkosten RT	0.48	Stroop-Effekt RT	0.035
Wechselkosten Acc	0.554	Kongruente Trials RT	0.586
Wiederholungstrials RT	-1.319	Inkongruente Trials RT	0.570
Wechseltrials RT	1.471	Stroop-Effekt Acc	0.635
Wiederholungstrials Acc	-0.273	Kongruente Trials Acc	-0.217
Wechseltrials Acc	-0.402	Inkongruente Trials Acc	-0.656
<b>Cued-TS Transfer</b>		<i>Passive Kontrollgruppe</i>	
<i>Experimentalgruppe</i>		Stroop-Effekt RT	
Wechselkosten RT	-0.052	Kongruente Trials RT	0.475
Mixingkosten RT	0.337	Inkongruente Trials RT	0.081
Wiederholungstrials RT	0.557	Stroop-Effekt Acc	0.383
Wechseltrials RT	0.504	Kongruente Trials Acc	0.209
Wiederholungsblock RT	0.345	Inkongruente Trials Acc	-0.244
Wechselkosten Acc	-0.119	Inkongruente Trials Acc	-0.399
Mixingkosten Acc	-0.408	<b>Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test</b>	
Wiederholungstrials Acc	-0.735	<i>Experimentalgruppe (RT)</i>	
Wechseltrials Acc	-0.566	Aktivierung	0.168
Wiederholungsblock Acc	-0.317	Orientierung	-0.532
<i>Aktive Kontrollgruppe</i>		Exekutive Aufmerksamkeit	0.221
Wechselkosten RT	0.473	RT-Gesamt	0.319
Mixingkosten RT	0.392	<i>Aktive Kontrollgruppe (RT)</i>	
Wiederholungstrials RT	0.899	Aktivierung	0.050
Wechseltrials RT	1.185	Orientierung	-0.038
Wiederholungsblock RT	0.779	Exekutive Aufmerksamkeit	-0.038
Wechselkosten Acc	0.049	RT Gesamt	1.014
Mixingkosten Acc	-0.239	<i>Passive Kontrollgruppe (RT)</i>	
Wiederholungstrials Acc	-0.503	Aktivierung	0.117
Wechseltrials Acc	-0.484	Orientierung	0.118
Wiederholungsblock Acc	-0.163	Exekutive Aufmerksamkeit	0.028
<i>Passive Kontrollgruppe</i>		RT Gesamt	0.228
Wechselkosten RT	0.257	<b>Change Detection ohne und mit Filter</b>	
Mixingkosten RT	0.114	<i>Experimentalgruppe</i>	
Wiederholungstrials RT	0.291	K-Max	-0.54
Wechseltrials RT	0.435	Unnötige Speicherung	0.064
Wiederholungsblock RT	0.255	<i>Aktive Kontrollgruppe</i>	
Wechselkosten Acc	0.123	K-Max	-0.146
Mixingkosten Acc	-0.139	Unnötige Speicherung	0.336
Wiederholungstrials Acc	-0.195	<i>Passive Kontrollgruppe</i>	
Wechseltrials Acc	-0.334	K-Max	-0.482
Wiederholungsblock Acc	-0.031	Unnötige Speicherung	0.250
<b>Cued-TS Mediansplit leistungsschwache Gruppen</b>		<b>Paarassoziationslernen</b>	
<i>Experimentalgruppe (RT)</i>		<i>Experimentalgruppe</i>	
Wechselkosten	0.918	Maximal memorierte Stimuli	-0.360
Wiederholungstrials	0.741	<i>Aktive Kontrollgruppe</i>	
Wechseltrials	0.984	Maximal memorierte Stimuli	-0.593
<i>Aktive Kontrollgruppe (RT)</i>		<i>Passive Kontrollgruppe</i>	
Wechselkosten	1.097	Maximal memorierte Stimuli	-0.154
Wiederholungstrials	1.403	<b>Assoziativer Rekognitionstest</b>	
Wechseltrials	1.948	<i>Experimentalgruppe</i>	
<i>Passive Kontrollgruppe (RT)</i>		PR-Maß	-0.19
Wechselkosten	0.833	<i>Aktive Kontrollgruppe</i>	
Wiederholungstrials	0.249	PR-Maß	-0.105
Wechseltrials	0.875	<i>Passive Kontrollgruppe</i>	
		PR-Maß	-0.005

Dargestellt sind alle Effektstärken (Cohens d) für jede Gruppe für die Veränderungen vom Prä- zum Posttest. Um zu überprüfen, ob die Effekte signifikant wurden, siehe Ergebnisberichte.



## A5 Anhang zu den Trainingsanalysen

**Tabelle A5.1:** Wechselkosten von Experimental- und aktiver Kontrollgruppe über die Trainingssitzungen. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen in Reaktionszeit und Genauigkeit.

<b>Wechselkosten im Training</b>				
<b>Trainingssitzung</b>	<b>Reaktionszeiten (ms)</b>		<b>Genauigkeit</b>	
	<b>MW (SD)</b>		<b>MW (SD)</b>	
	<b>Experimental- gruppe (N = 27)</b>	<b>Aktive Kon- trollgruppe (N = 26)</b>	<b>Experimen- talgruppe (N = 28)</b>	<b>Aktive Kon- trollgruppe (N = 22)</b>
<b>1</b>	92 (112)	25 (47)	0.03 (0.05)	0.05 (0.05)
<b>2</b>	90 (127)	20 (37)	0.02 (0.05)	0.03 (0.03)
<b>3</b>	64 (91)	25 (29)	0.01 (0.04)	0.02 (0.04)
<b>4</b>	66 (56)	26 (35)	0.02 (0.04)	0.01 (0.03)
<b>5</b>	65 (65)	18 (20)	0.02 (0.04)	0.01 (0.04)
<b>6</b>	51 (63)	18 (19)	0.02 (0.04)	0.03 (0.04)
<b>7</b>	53 (56)	20 (24)	0.02 (0.05)	0.01 (0.04)
<b>8</b>	58 (60)	11 (16)	0.02 (0.04)	0.02 (0.03)
<b>9</b>	32 (60)	7 (18)	0.02 (0.05)	0.01 (0.04)
<b>10</b>	30 (43)	8 (13)	0.02 (0.04)	0.02 (0.03)
<b>11</b>	17 (60)	7 (22)	0.02 (0.04)	0.01 (0.04)
<b>12</b>	21 (46)	4 (17)	0.01 (0.04)	0.02 (0.03)

## Kontrast-/Post-hoc-Analysen der Wechselkosten

### Reaktionszeit

**Tabelle A5.2:** Tabellen zum Vergleich der Trainingssitzungen zur Kontrastanalyse. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen. Da aufgrund der signifikanten Abnahme der SC im Übergang von Stufe acht zu neun Helmert-Kontraste nicht gut zu interpretieren wären, wurden auch die umgekehrten Helmert-Kontraste berichtet.

<b>Messwiederholte Kontraste – Experimentalgruppe (SC-RT)</b>				
Vergleich	df	F	p	$\eta_p^2$
S1-S2	1, 26	0.009	0.924	0.000
<b>S2-S3</b>	<b>1, 26</b>	<b>4.301</b>	<b>0.048</b>	<b>0.142</b>
S3-S4	1, 26	0.031	0.863	0.001
S4-S5	1, 26	0.020	0.888	0.001
S5-S6	1, 26	0.911	0.349	0.034
S6-S7	1, 26	0.021	0.887	0.001
S7-S8	1, 26	0.375	0.545	0.014
<b>S8-S9</b>	<b>1, 26</b>	<b>12.618</b>	<b>0.001</b>	<b>0.327</b>
S9-S10	1, 26	0.032	0.859	0.001
S10-S11	1, 26	0.922	0.346	0.034
S11-S12	1, 26	0.263	0.612	0.010
<b>Messwiederholte Kontraste – Aktive Kontrollgruppe (SC-RT)</b>				
S1-S2	1, 25	0.200	0.659	0.008
S2-S3	1, 25	0.458	0.505	0.018
S3-S4	1, 25	0.036	0.852	0.001
S4-S5	1, 25	1.524	0.228	0.057
S5-S6	1, 25	0.003	0.957	0.000
S6-S7	1, 25	0.361	0.553	0.014
S7-S8	1, 25	3.858	0.061	0.134
S8-S9	1, 25	1.238	0.276	0.047
S9-S10	1, 25	0.251	0.621	0.010
S10-S11	1, 25	0.160	0.693	0.006
S11-S12	1, 25	0.297	0.590	0.012
<b>Umgekehrte Helmert-Kontraste – Experimentalgruppe (SC-RT)</b>				
Vergleich	df	F	p	$\eta_p^2$
S2-vorherige	1, 26	0.009	0.924	0.000
S3-vorherige	1, 26	3.418	0.076	0.116
S4-vorherige	1, 26	1.051	0.315	0.039
S5-vorherige	1, 26	0.782	0.385	0.029
S6-vorherige	1, 26	4.073	0.054	0.135
S7-vorherige	1, 26	2.914	0.100	0.101
S8-vorherige	1, 26	0.881	0.357	0.033
<b>S9-vorherige</b>	<b>1, 26</b>	<b>13.836</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.347</b>
<b>S10-vorherige</b>	<b>1, 26</b>	<b>8.528</b>	<b>0.007</b>	<b>0.247</b>
<b>S11-vorherige</b>	<b>1, 26</b>	<b>17.089</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.397</b>
<b>S12-vorherige</b>	<b>1, 26</b>	<b>13.850</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.348</b>
<b>Umgekehrte Helmert-Kontraste – Aktive Kontrollgruppe (SC-RT)</b>				
S2-vorherige	1, 25	0.200	0.659	0.008
S3-vorherige	1, 25	0.111	0.742	0.004
S4-vorherige	1, 25	0.265	0.611	0.010
S5-vorherige	1, 25	1.723	0.201	0.064
S6-vorherige	1, 25	1.212	0.282	0.046
S7-vorherige	1, 25	0.237	0.631	0.009
<b>S8-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>7.096</b>	<b>0.013</b>	<b>0.221</b>
<b>S9-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>9.844</b>	<b>0.004</b>	<b>0.283</b>
<b>S10-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>10.751</b>	<b>0.003</b>	<b>0.301</b>
<b>S11-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>7.536</b>	<b>0.011</b>	<b>0.232</b>
<b>S12-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>10.782</b>	<b>0.003</b>	<b>0.301</b>

**Tabelle A5.3:** Tabellen zum Vergleich der Trainingssitzungen (SC RT) für jede Gruppe einzeln nach Bayes-Analyse. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

<b>Post-hoc-Analysen der Wechselkosten (RT) im Training je Gruppe</b>						
<b>Vergleich von:</b>		<b>Experimentalgruppe</b>		<b>Aktive Kontrollgruppe</b>		
		<b>B<sub>10, U</sub></b>	<b>Fehler B<sub>10</sub></b>	<b>B<sub>10, U</sub></b>	<b>Fehler B<sub>10</sub></b>	
Sitzung 1	Sitzung 2	0.205	0.029	0.227	0.028	
	Sitzung 3	0.409	0.029	0.207	0.027	
	Sitzung 4	0.396	0.029	0.209	0.027	
	Sitzung 5	0.410	0.029	0.270	0.028	
	Sitzung 6	1.189	0.022	0.269	0.028	
	Sitzung 7	0.787	0.025	0.242	0.028	
	Sitzung 8	0.579	0.027	0.554	0.027	
	<b>Sitzung 9</b>	<b>7.451</b>	<b>1.25·10<sup>-4</sup></b>	0.949	0.024	
	<b>Sitzung 10</b>	<b>2.622</b>	<b>9.77·10<sup>-4</sup></b>	0.876	0.024	
	<b>Sitzung 11</b>	<b>38.711</b>	<b>6.00·10<sup>-5</sup></b>	1.028	0.023	
	<b>Sitzung 12</b>	<b>9.201</b>	<b>7.04·10<sup>-5</sup></b>	<b>1.673</b>	<b>1.87·10<sup>-3</sup></b>	
	Sitzung 2	Sitzung 3	<b>1.283</b>	<b>0.022</b>	0.255	0.028
Sitzung 4		0.376	0.029	0.298	0.028	
Sitzung 5		0.354	0.029	0.223	0.027	
Sitzung 6		0.844	0.025	0.218	0.027	
Sitzung 7		0.686	0.026	0.207	0.027	
Sitzung 8		0.469	0.028	0.449	0.027	
<b>Sitzung 9</b>		<b>2.697</b>	<b>9.35·10<sup>-4</sup></b>	1.239	0.022	
<b>Sitzung 10</b>		<b>2.462</b>	<b>1.08·10<sup>-3</sup></b>	0.694	0.026	
<b>Sitzung 11</b>		<b>18.128</b>	<b>2.99·10<sup>-5</sup></b>	0.933	0.024	
<b>Sitzung 12</b>		<b>7.352</b>	<b>1.30·10<sup>-4</sup></b>	1.259	0.022	
Sitzung 3		Sitzung 4	0.207	0.029	0.211	0.027
		Sitzung 5	0.204	0.029	0.498	0.027
	Sitzung 6	0.265	0.029	0.345	0.028	
	Sitzung 7	0.255	0.029	0.264	0.028	
	Sitzung 8	0.213	0.029	<b>2.893</b>	<b>8,31·10<sup>-4</sup></b>	
	Sitzung 9	0.711	0.026	<b>6.920</b>	<b>1,37·10<sup>-4</sup></b>	
	<b>Sitzung 10</b>	<b>1.084</b>	<b>0.023</b>	<b>19.738</b>	<b>4,74·10<sup>-5</sup></b>	
	<b>Sitzung 11</b>	<b>6.411</b>	<b>1.81·10<sup>-4</sup></b>	<b>47.522</b>	<b>7,91·10<sup>-5</sup></b>	
	<b>Sitzung 12</b>	<b>2.997</b>	<b>7.91·10<sup>-4</sup></b>	<b>16.210</b>	<b>3,92·10<sup>-5</sup></b>	
	Sitzung 4	Sitzung 5	0.206	0.029	0.410	0.028
		Sitzung 6	0.489	0.028	0.471	0.027
		Sitzung 7	0.783	0.025	0.319	0.028
Sitzung 8		0.275	0.029	<b>1.844</b>	<b>1,64·10<sup>-3</sup></b>	
<b>Sitzung 9</b>		<b>50.695</b>	<b>6.39·10<sup>-5</sup></b>	<b>4.250</b>	<b>4,15·10<sup>-4</sup></b>	
<b>Sitzung 10</b>		<b>38.371</b>	<b>5.98·10<sup>-5</sup></b>	<b>2.908</b>	<b>8,24·10<sup>-4</sup></b>	
<b>Sitzung 11</b>		<b>102.422</b>	<b>8.26·10<sup>-2</sup></b>	<b>2.905</b>	<b>8,26·10<sup>-4</sup></b>	
<b>Sitzung 12</b>		<b>130.703</b>	<b>4.48·10<sup>-3</sup></b>	<b>6.340</b>	<b>1,71·10<sup>-4</sup></b>	
Sitzung 5		Sitzung 6	0.308	0.029	0.207	0.027
		Sitzung 7	0.305	0.029	0.232	0.028
		Sitzung 8	0.231	0.029	0.921	0.024
		<b>Sitzung 9</b>	<b>12.375</b>	<b>3.87·10<sup>-5</sup></b>	<b>1.501</b>	<b>0.021</b>
	<b>Sitzung 10</b>	<b>4.839</b>	<b>3.34·10<sup>-4</sup></b>	<b>1.979</b>	<b>1,49·10<sup>-3</sup></b>	

	<b>Sitzung 11</b>	<b>5.558</b>	<b>2.50·10<sup>-4</sup></b>	<b>2.839</b>	<b>8,57·10<sup>-4</sup></b>
	<b>Sitzung 12</b>	<b>9.942</b>	<b>5.68·10<sup>-5</sup></b>	<b>5.052</b>	<b>2,89·10<sup>-4</sup></b>
Sitzung 6	Sitzung 7	0.206	0.029	0.244	0.028
	Sitzung 8	0.236	0.029	0.861	0.025
	Sitzung 9	0.567	0.027	<b>1.995</b>	<b>1,47·10<sup>-3</sup></b>
	Sitzung 10	0.650	0.026	<b>2.303</b>	<b>1,19·10<sup>-3</sup></b>
	<b>Sitzung 11</b>	<b>58.645</b>	<b>5.70·10<sup>-1</sup></b>	<b>2.700</b>	<b>9,31·10<sup>-4</sup></b>
	<b>Sitzung 12</b>	<b>31.171</b>	<b>5.36·10<sup>-5</sup></b>	<b>9.510</b>	<b>6,29·10<sup>-5</sup></b>
Sitzung 7	Sitzung 8	0.242	0.029	1.084	0.023
	Sitzung 9	<b>1.437</b>	<b>0.021</b>	<b>2.492</b>	<b>1,06·10<sup>-3</sup></b>
	Sitzung 10	1.068	0.023	<b>3.374</b>	<b>6,38·10<sup>-4</sup></b>
	<b>Sitzung 11</b>	<b>6.799</b>	<b>1.58·10<sup>-4</sup></b>	<b>2.708</b>	<b>9,27·10<sup>-4</sup></b>
	<b>Sitzung 12</b>	<b>13.892</b>	<b>3.37·10<sup>-5</sup></b>	<b>19.416</b>	<b>4,65·10<sup>-5</sup></b>
Sitzung 8	<b>Sitzung 9</b>	<b>24.066</b>	<b>4.25·10<sup>-5</sup></b>	0.361	0.028
	<b>Sitzung 10</b>	<b>5.752</b>	<b>2.32·10<sup>-4</sup></b>	0.293	0.028
	<b>Sitzung 11</b>	<b>6.514</b>	<b>1.75·10<sup>-4</sup></b>	0.286	0.028
	<b>Sitzung 12</b>	<b>5.145</b>	<b>2.94·10<sup>-4</sup></b>	0.755	0.025
Sitzung 9	Sitzung 10	0.207	0.029	0.232	0.028
	Sitzung 11	0.333	0.029	0.207	0.027
	Sitzung 12	0.275	0.029	0.236	0.028
Sitzung 10	Sitzung 11	0.310	0.029	0.223	0.027
	Sitzung 12	0.262	0.029	0.399	0.028
Sitzung 11	Sitzung 12	0.230	0.029	0.237	0.028

Die a-posteriori Chancen wurden für multiples Testen korrigiert, indem die Prior-Wahrscheinlichkeit, dass die Nullhypothese über alle Vergleiche hinweg gilt, auf 0,5 festgelegt wurde (Westfall, Johnson & Utts, 1997). Einzelne Vergleiche basieren auf dem Standard-t-Test mit einem Cauchy-Prior (0, r = 1/sqrt(2)). Das "U" beim Bayes-Faktor zeigt an, dass er nicht korrigiert ist.

## Kontrast-/Post-hoc-Analysen der Trialtypen

### Reaktionszeiten

**Tabelle A5.4:** Messwiederholte Kontraste der Trainingssitzungen nach Trialtypen (RT). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

Vergleich	df	F	p	$\eta_p^2$
<b>Messwiederholte Kontraste – Trialtypen - Trainingssitzungen (Reaktionszeit)</b>				
<i>S1-S2</i>	<i>1, 51</i>	<i>5.230</i>	<i>0.026</i>	<i>0.093</i>
S2-S3	1, 51	0.892	0.349	0.017
<i>S3-S4</i>	<i>1, 51</i>	<i>5.540</i>	<i>0.022</i>	<i>0.098</i>
S4-S5	1, 51	2.254	0.139	0.042
<i>S5-S6</i>	<i>1, 51</i>	<i>10.928</i>	<i>0.002</i>	<i>0.176</i>
S6-S7	1, 51	2.229	0.142	0.042
S7-S8	1, 51	1.976	0.166	0.037
<i>S8-S9</i>	<i>1, 51</i>	<i>4.908</i>	<i>0.031</i>	<i>0.088</i>
S9-S10	1, 51	1.476	0.230	0.028
S10-S11	1, 51	1.160	0.287	0.022
S11-S12	1, 51	3.607	0.063	0.066
<b>Messwiederholte Kontraste - Trialtypen - Trainingssitzung*Gruppe (Reaktionszeit)</b>				
S1-S2	1, 51	2.059	0.157	0.039
S2-S3	1, 51	1.327	0.255	0.025
S3-S4	1, 51	0.370	0.546	0.007
S4-S5	1, 51	1.797	0.186	0.034
S5-S6	1, 51	0.375	0.543	0.007
S6-S7	1, 51	0.858	0.359	0.017
S7-S8	1, 51	1.184	0.282	0.023
<i>S8-S9</i>	<i>1, 51</i>	<i>40.807</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.444</i>
S9-S10	1, 51	0.633	0.430	0.012
S10-S11	1, 51	3.389	0.071	0.062
S11-S12	1, 51	1.194	0.280	0.023
<b>Messwiederholte Kontraste - Trialtypen - Trainingssitzung*Trialtypen (Reaktionszeit)</b>				
S1-S2	1, 51	0.078	0.781	0.002
S2-S3	1, 51	2.262	0.139	0.042
S3-S4	1, 51	0.056	0.813	0.001
S4-S5	1, 51	0.502	0.482	0.010
S5-S6	1, 51	0.804	0.374	0.016
S6-S7	1, 51	0.107	0.744	0.002
S7-S8	1, 51	0.098	0.755	0.002
<i>S8-S9</i>	<i>1, 51</i>	<i>13.228</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.206</i>
S9-S10	1, 51	0.001	0.971	0.000
S10-S11	1, 51	1.037	0.313	0.020
S11-S12	1, 51	0.049	0.826	0.001

**Tabelle A5.5:** Umgekehrte Helmert-Kontraste und messwiederholte Kontraste der Trainingssitzungen nach Trialtypen (RT) für beide Trainingsgruppen einzeln. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

Vergleich	df	F	p	$\eta_p^2$
<b>Umgekehrte Helmert-Kontraste - Trialtypen - Trainingssitzungen (RT) - Experimentalgruppe</b>				
S2-vorherige	1, 26	3.818	0.062	0.128
<b>S3-vorherige</b>	<b>1, 26</b>	<b>14.184</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.353</b>
<b>S4-vorherige</b>	<b>1, 26</b>	<b>23.159</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.471</b>
<b>S5-vorherige</b>	<b>1, 26</b>	<b>7.069</b>	<b>0.013</b>	<b>0.214</b>
<b>S6-vorherige</b>	<b>1, 26</b>	<b>14.730</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.362</b>
<b>S7-vorherige</b>	<b>1, 26</b>	<b>24.467</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.485</b>
<b>S8-vorherige</b>	<b>1, 26</b>	<b>15.899</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.379</b>
S9-vorherige	1, 26	1.365	0.253	0.050
S10-vorherige	1, 26	0.242	0.627	0.009
S11-vorherige	1, 26	0.038	0.848	0.01
S12-vorherige	1, 26	0.852	0.364	0.032
<b>Messwiederholte Kontraste - Trialtypen - Trainingssitzungen (RT) - Experimentalgruppe</b>				
S1-S2	1, 26	3.818	0.062	0.128
<b>S2-S3</b>	<b>1, 26</b>	<b>7.496</b>	<b>0.011</b>	<b>0.224</b>
<b>S3-S4</b>	<b>1, 26</b>	<b>7.804</b>	<b>0.010</b>	<b>0.231</b>
S4-S5	1, 26	0.009	0.927	0.000
<b>S5-S6</b>	<b>1, 26</b>	<b>6.151</b>	<b>0.020</b>	<b>0.191</b>
S6-S7	1, 26	2.077	0.161	0.074
S7-S8	1, 26	0.032	0.860	0.001
<b>S8-S9</b>	<b>1, 26</b>	<b>30.798</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.542</b>
S9-S10	1, 26	1.400	0.246	0.051
<b>S10-S11</b>	<b>1, 26</b>	<b>4.431</b>	<b>0.045</b>	<b>0.146</b>
S11-S12	1, 26	4.089	0.054	0.136
<b>Umgekehrte Helmert-Kontraste - Trialtypen - Trainingssitzungen (RT) – Aktive Kontrollgruppe</b>				
S2-vorherige	1, 25	3.043	0.093	0.108
S3-vorherige	1, 25	0.054	0.819	0.002
<b>S4-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>7.514</b>	<b>0.011</b>	<b>0.231</b>
<b>S5-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>18.080</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.420</b>
<b>S6-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>19.295</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.436</b>
<b>S7-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>15.662</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.385</b>
<b>S8-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>19.634</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.440</b>
<b>S9-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>31.529</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.558</b>
<b>S10-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>26.146</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.511</b>
<b>S11-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>25.738</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.507</b>
<b>S12-vorherige</b>	<b>1, 25</b>	<b>22.895</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.478</b>
<b>Messwiederholte Kontraste – Trialtypen - Trainingssitzungen (RT) – Aktive Kontrollgruppe</b>				
S1-S2	1, 25	3.043	0.093	0.108
S2-S3	1, 25	0.012	0.913	0.000
S3-S4	1, 25	1.035	0.319	0.040
<b>S4-S5</b>	<b>1, 25</b>	<b>9.195</b>	<b>0.006</b>	<b>0.269</b>
<b>S5-S6</b>	<b>1, 25</b>	<b>4.964</b>	<b>0.035</b>	<b>0.166</b>
S6-S7	1, 25	0.288	0.596	0.011
<b>S7-S8</b>	<b>1, 25</b>	<b>8.490</b>	<b>0.007</b>	<b>0.254</b>
<b>S8-S9</b>	<b>1, 25</b>	<b>11.151</b>	<b>0.003</b>	<b>0.308</b>
S9-S10	1, 25	0.170	0.684	0.007
S10-S11	1, 25	0.280	0.601	0.01
S11-S12	1, 25	0.363	0.552	0.014

**Tabelle A5.6:** Bayes-Analyse der Trialtypen (RT) pro Trainingssitzung jeder Gruppe. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

<b>Post-hoc Bayes-Analysen Trialtypen - Trainingssitzungen – Trialtypen (RT)</b>							
Vergleich von:		<b>Beide Gruppen</b>		<b>Experimentalgruppe</b>		<b>Aktive Kontrollgruppe</b>	
		<b>B<sub>10, U</sub></b>	<b>Fehler %</b>	<b>B<sub>10, U</sub></b>	<b>Fehler %</b>	<b>B<sub>10, U</sub></b>	<b>Fehler %</b>
Sitzung 1	Sitzung 2	<b>12.101</b>	<b>1.166·10<sup>-6</sup></b>	<b>4.208</b>	<b>4.181·10<sup>-7</sup></b>	<b>1.749</b>	<b>1.129·10<sup>-6</sup></b>
	Sitzung 3	<b>49.720</b>	<b>3.185·10<sup>-7</sup></b>	<b>147.034</b>	<b>3.322·10<sup>-8</sup></b>	0.201	2.148·10 <sup>-7</sup>
	Sitzung 4	<b>625067.821</b>	<b>2.002·10<sup>-11</sup></b>	<b>10400.485</b>	<b>1.636·10<sup>-10</sup></b>	<b>272.482</b>	<b>1.379·10<sup>-8</sup></b>
	Sitzung 5	<b>4.617·10<sup>11</sup></b>	<b>8.740·10<sup>-18</sup></b>	<b>1.100·10<sup>+6</sup></b>	<b>5.607·10<sup>-13</sup></b>	<b>3.204·10<sup>6</sup></b>	<b>4.886·10<sup>-10</sup></b>
	Sitzung 6	<b>3.379·10<sup>14</sup></b>	<b>2.751·10<sup>-20</sup></b>	<b>6.729·10<sup>+7</sup></b>	<b>6.840·10<sup>-11</sup></b>	<b>1.838·10<sup>7</sup></b>	<b>4.472·10<sup>-10</sup></b>
	Sitzung 7	<b>2.254·10<sup>16</sup></b>	<b>4.151·10<sup>-22</sup></b>	<b>4.956·10<sup>+9</sup></b>	<b>8.482·10<sup>-16</sup></b>	<b>7.310·10<sup>6</sup></b>	<b>6.203·10<sup>-10</sup></b>
	Sitzung 8	<b>1.595·10<sup>16</sup></b>	<b>5.941·10<sup>-22</sup></b>	<b>4.864·10<sup>+8</sup></b>	<b>2.480·10<sup>-11</sup></b>	<b>4.309·10<sup>7</sup></b>	<b>2.665·10<sup>-10</sup></b>
	Sitzung 9	<b>9.179·10<sup>10</sup></b>	<b>2.738·10<sup>-17</sup></b>	<b>170.354</b>	<b>2.861·10<sup>-8</sup></b>	<b>3.406·10<sup>11</sup></b>	<b>3.132·10<sup>-14</sup></b>
	Sitzung 10	<b>2.938·10<sup>12</sup></b>	<b>1.995·10<sup>-18</sup></b>	<b>1216.805</b>	<b>3.102·10<sup>-9</sup></b>	<b>1.788·10<sup>11</sup></b>	<b>2.520·10<sup>-16</sup></b>
	Sitzung 11	<b>1.334·10<sup>13</sup></b>	<b>5.425·10<sup>-19</sup></b>	<b>4821.463</b>	<b>5.064·10<sup>-10</sup></b>	<b>9.926·10<sup>10</sup></b>	<b>3.543·10<sup>-16</sup></b>
	Sitzung 12	<b>4.526·10<sup>13</sup></b>	<b>1.809·10<sup>-19</sup></b>	<b>14039.687</b>	<b>1.020·10<sup>-10</sup></b>	<b>4.518·10<sup>10</sup></b>	<b>5.567·10<sup>-16</sup></b>
	Sitzung 2	Sitzung 3	0.257	2.812·10 <sup>-5</sup>	<b>31.851</b>	<b>1.333·10<sup>-7</sup></b>	0.153
Sitzung 4		<b>799834.164</b>	<b>1.521·10<sup>-11</sup></b>	<b>14120.711</b>	<b>1.010·10<sup>-10</sup></b>	<b>28.189</b>	<b>1.683·10<sup>-7</sup></b>
Sitzung 5		<b>5175.346</b>	<b>3.329·10<sup>-9</sup></b>	<b>6.428</b>	<b>3.648·10<sup>-7</sup></b>	<b>29869.818</b>	<b>1.353·10<sup>-12</sup></b>
Sitzung 6		<b>496480.575</b>	<b>2.586·10<sup>-11</sup></b>	<b>67.999</b>	<b>1.642·10<sup>-4</sup></b>	<b>21373.252</b>	<b>2.561·10<sup>-12</sup></b>
Sitzung 7		<b>1.155·10<sup>7</sup></b>	<b>7.010·10<sup>-13</sup></b>	<b>766.055</b>	<b>5.431·10<sup>-9</sup></b>	<b>8429.104</b>	<b>5.507·10<sup>-11</sup></b>
Sitzung 8		<b>1.095·10<sup>7</sup></b>	<b>7.465·10<sup>-13</sup></b>	<b>297.920</b>	<b>1.587·10<sup>-8</sup></b>	<b>35055.323</b>	<b>2.183·10<sup>-12</sup></b>
Sitzung 9		<b>3238.280</b>	<b>5.369·10<sup>-9</sup></b>	0.248	0.030	<b>4.591·10<sup>7</sup></b>	<b>2.551·10<sup>-10</sup></b>
Sitzung 10		<b>9930.018</b>	<b>1.702·10<sup>-9</sup></b>	0.389	8.678·10 <sup>-7</sup>	<b>2.294·10<sup>7</sup></b>	<b>3.965·10<sup>-10</sup></b>
Sitzung 11		<b>79443.593</b>	<b>1.904·10<sup>-10</sup></b>	0.837	7.282·10 <sup>-8</sup>	<b>1.564·10<sup>7</sup></b>	<b>4.842·10<sup>-10</sup></b>
Sitzung 12		<b>388072.505</b>	<b>3.395·10<sup>-11</sup></b>	<b>1.725</b>	<b>3.734·10<sup>-7</sup></b>	<b>9.572·10<sup>6</sup></b>	<b>5.852·10<sup>-10</sup></b>
Sitzung 3	Sitzung 4	<b>17.155</b>	<b>8.500·10<sup>-7</sup></b>	<b>58.224</b>	<b>8.007·10<sup>-8</sup></b>	0.400	6.746·10 <sup>-7</sup>
	Sitzung 5	<b>54.984</b>	<b>2.898·10<sup>-7</sup></b>	0.861	8.607·10 <sup>-8</sup>	<b>22.453</b>	<b>2.081·10<sup>-7</sup></b>
	Sitzung 6	<b>4624.774</b>	<b>3.734·10<sup>-9</sup></b>	<b>7.433</b>	<b>3.425·10<sup>-7</sup></b>	<b>138.068</b>	<b>3.132·10<sup>-8</sup></b>
	Sitzung 7	<b>60073.620</b>	<b>2.567·10<sup>-10</sup></b>	<b>70.332</b>	<b>6.752·10<sup>-8</sup></b>	<b>121.811</b>	<b>3.620·10<sup>-8</sup></b>
	Sitzung 8	<b>108271.492</b>	<b>1.365·10<sup>-10</sup></b>	<b>33.363</b>	<b>1.284·10<sup>-7</sup></b>	<b>582.861</b>	<b>5.108·10<sup>-9</sup></b>
	Sitzung 9	<b>44.032</b>	<b>3.567·10<sup>-7</sup></b>	0.149	0.002	<b>14523.094</b>	<b>1.245·10<sup>-11</sup></b>
	Sitzung 10	<b>120.062</b>	<b>1.384·10<sup>-7</sup></b>	0.162	8.940·10 <sup>-4</sup>	<b>7178.892</b>	<b>7.917·10<sup>-11</sup></b>
	Sitzung 11	<b>528.255</b>	<b>3.291·10<sup>-8</sup></b>	0.226	0.024	<b>7338.524</b>	<b>7.544·10<sup>-11</sup></b>
	Sitzung 12	<b>1693.553</b>	<b>1.034·10<sup>-8</sup></b>	0.360	1.109·10 <sup>-6</sup>	<b>6261.467</b>	<b>1.060·10<sup>-10</sup></b>
Sitzung 4	Sitzung 5	0.805	0.001	0.150	0.002	<b>255.955</b>	<b>1.491·10<sup>-8</sup></b>
	Sitzung 6	<b>49.306</b>	<b>3.210·10<sup>-7</sup></b>	0.344	1.261·10 <sup>-6</sup>	<b>553.517</b>	<b>5.479·10<sup>-9</sup></b>
	Sitzung 7	<b>497.499</b>	<b>3.491·10<sup>-8</sup></b>	1.177	2.393·10 <sup>-7</sup>	<b>403.878</b>	<b>8.332·10<sup>-9</sup></b>
	Sitzung 8	<b>1445.323</b>	<b>1.211·10<sup>-8</sup></b>	1.101	2.082·10 <sup>-7</sup>	<b>1813.300</b>	<b>9.717·10<sup>-10</sup></b>
	Sitzung 9	1.080	0.007	1.125	2.188·10 <sup>-7</sup>	<b>945587.932</b>	<b>1.116·10<sup>-9</sup></b>
	Sitzung 10	<b>2.704</b>	<b>4.334·10<sup>-6</sup></b>	0.401	7.845·10 <sup>-7</sup>	<b>578951.201</b>	<b>5.245·10<sup>-9</sup></b>
	Sitzung 11	<b>7.818</b>	<b>1.722·10<sup>-6</sup></b>	0.237	0.027	<b>449919.856</b>	<b>9.661·10<sup>-9</sup></b>
	Sitzung 12	<b>30.486</b>	<b>5.019·10<sup>-7</sup></b>	0.171	0.004	<b>355738.630</b>	<b>1.612·10<sup>-8</sup></b>
Sitzung 5	Sitzung 6	<b>321.506</b>	<b>5.352·10<sup>-8</sup></b>	<b>7.888</b>	<b>3.330·10<sup>-7</sup></b>	<b>10.633</b>	<b>3.946·10<sup>-7</sup></b>
	Sitzung 7	<b>1593.283</b>	<b>1.099·10<sup>-8</sup></b>	<b>78.166</b>	<b>6.126·10<sup>-8</sup></b>	<b>3.569</b>	<b>8.283·10<sup>-7</sup></b>

	Sitzung 8	<b>188400.003</b>	<b>7.493·10<sup>-11</sup></b>	<b>202.994</b>	<b>2.387·10<sup>-8</sup></b>	<b>135.387</b>	<b>3.204·10<sup>-8</sup></b>
	Sitzung 9	0.208	3.266·10 <sup>-5</sup>	<b>51.214</b>	<b>8.962·10<sup>-8</sup></b>	<b>137662.413</b>	<b>4.470·10<sup>-12</sup></b>
	Sitzung 10	0.519	0.012	<b>2.807</b>	<b>4.347·10<sup>-7</sup></b>	<b>43658.160</b>	<b>3.256·10<sup>-12</sup></b>
	Sitzung 11	<b>1.321</b>	<b>7.887·10<sup>-6</sup></b>	0.537	2.237·10 <sup>-7</sup>	<b>70852.019</b>	<b>4.588·10<sup>-12</sup></b>
	Sitzung 12	<b>6.184</b>	<b>2.119·10<sup>-6</sup></b>	0.248	0.030	<b>20081.429</b>	<b>3.488·10<sup>-12</sup></b>
Sitzung 6	Sitzung 7	0.792	8.209·10 <sup>-4</sup>	0.833	7.036·10 <sup>-8</sup>	0.197	2.532·10 <sup>-7</sup>
	Sitzung 8	<b>16.034</b>	<b>9.040·10<sup>-7</sup></b>	0.644	5.758·10 <sup>-8</sup>	<b>60.297</b>	<b>7.851·10<sup>-8</sup></b>
	Sitzung 9	0.125	4.619·10 <sup>-5</sup>	<b>3659.569</b>	<b>7.423·10<sup>-10</sup></b>	<b>28379.170</b>	<b>1128·10<sup>-12</sup></b>
	Sitzung 10	0.109	5.060·10 <sup>-5</sup>	<b>141.415</b>	<b>3.455·10<sup>-8</sup></b>	<b>6763.466</b>	<b>9006·10<sup>-11</sup></b>
	Sitzung 11	0.128	4.557·10 <sup>-5</sup>	<b>18.499</b>	<b>2.002·10<sup>-7</sup></b>	<b>12101.530</b>	<b>2177·10<sup>-11</sup></b>
	Sitzung 12	0.225	3.094·10 <sup>-5</sup>	<b>4.485</b>	<b>4.117·10<sup>-7</sup></b>	<b>2694.735</b>	<b>5087·10<sup>-10</sup></b>
Sitzung 7	Sitzung 8	0.559	0.008	0.153	8.349·10 <sup>-4</sup>	<b>84.569</b>	<b>5.453·10<sup>-8</sup></b>
	Sitzung 9	0.284	2.614·10 <sup>-5</sup>	<b>140710.152</b>	<b>4.485·10<sup>-13</sup></b>	<b>153140.621</b>	<b>7.818·10<sup>-8</sup></b>
	Sitzung 10	0.139	4.315·10 <sup>-5</sup>	<b>14047.697</b>	<b>1.019·10<sup>-10</sup></b>	<b>14288.350</b>	<b>1.312·10<sup>-11</sup></b>
	Sitzung 11	0.113	4.933·10 <sup>-5</sup>	<b>753.144</b>	<b>5.542·10<sup>-9</sup></b>	<b>8406.938</b>	<b>5.541·10<sup>-11</sup></b>
	Sitzung 12	0.113	4.929·10 <sup>-5</sup>	<b>238.994</b>	<b>2.010·10<sup>-8</sup></b>	<b>3643.177</b>	<b>3.011·10<sup>-10</sup></b>
Sitzung 8	Sitzung 9	<b>1.955</b>	<b>5.700·10<sup>-6</sup></b>	<b>3.475·10<sup>+7</sup></b>	<b>6.424·10<sup>-11</sup></b>	<b>1122.669</b>	<b>2.019·10<sup>-9</sup></b>
	Sitzung 10	0.448	0.024	<b>1.606·10<sup>+7</sup></b>	<b>1.217·10<sup>-11</sup></b>	<b>214.399</b>	<b>1.854·10<sup>-8</sup></b>
	Sitzung 11	0.239	2.961·10 <sup>-5</sup>	<b>58347.347</b>	<b>6.996·10<sup>-12</sup></b>	<b>119.965</b>	<b>3.684·10<sup>-8</sup></b>
	Sitzung 12	0.127	4.575·10 <sup>-5</sup>	<b>23384.173</b>	<b>4.325·10<sup>-11</sup></b>	<b>93.366</b>	<b>4.888·10<sup>-8</sup></b>
Sitzung 9	Sitzung 10	0.388	2.074·10 <sup>-5</sup>	0.452	5.015·10 <sup>-7</sup>	0.177	5.466·10 <sup>-7</sup>
	Sitzung 11	1.288	8.053·10 <sup>-6</sup>	<b>6.492</b>	<b>3.633·10<sup>-7</sup></b>	0.151	1.166·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 12	<b>28.423</b>	<b>5.354·10<sup>-7</sup></b>	<b>175.193</b>	<b>2.780·10<sup>-8</sup></b>	0.162	8.689·10 <sup>-7</sup>
Sitzung 10	Sitzung 11	0.235	2.993·10 <sup>-5</sup>	<b>1.254</b>	<b>2.668·10<sup>-7</sup></b>	0.194	2.905·10 <sup>-7</sup>
	Sitzung 12	<b>7.633</b>	<b>1.759·10<sup>-6</sup></b>	<b>55.500</b>	<b>8.352·10<sup>-8</sup></b>	0.152	1.161·10 <sup>-6</sup>
Sitzung 11	Sitzung 12	<b>1.481</b>	<b>7.179·10<sup>-6</sup></b>	<b>1.830</b>	<b>3.868·10<sup>-7</sup></b>	0.205	1.804·10 <sup>-7</sup>

Die a-posteriori Chancen wurden für multiples Testen korrigiert, indem die Prior-Wahrscheinlichkeit, dass die Nullhypothese über alle Vergleiche hinweg gilt, auf 0,5 festgelegt wurde (Westfall, Johnson & Utts, 1997). Einzelne Vergleiche basieren auf dem Standard-t-Test mit einem Cauchy-Prior (0, r = 1/sqrt(2)). Das "U" beim Bayes-Faktor zeigt an, dass er nicht korrigiert ist.



## Genauigkeit

**Tabelle A5.7:** Messwiederholte Kontraste der Trainingssitzungen nach Trialtypen (Acc). Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen.

Vergleich	df	F	p	$\eta_p^2$
<b>Messwiederholte Kontraste - Trialtypen - Trainingssitzungen (Acc)</b>				
<i>S1-S2</i>	<i>1, 48</i>	<i>28.046</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.369</i>
<i>S2-S3</i>	<i>1, 48</i>	<i>8.059</i>	<i>0.007</i>	<i>0.144</i>
S3-S4	1, 48	2.702	0.107	0.053
<i>S4-S5</i>	<i>1, 48</i>	<i>6.374</i>	<i>0.015</i>	<i>0.117</i>
S5-S6	1, 48	1.862	0.179	0.037
<i>S6-S7</i>	<i>1, 48</i>	<i>6.564</i>	<i>0.014</i>	<i>0.120</i>
S7-S8	1, 48	0.193	0.663	0.004
<i>S8-S9</i>	<i>1, 48</i>	<i>5.819</i>	<i>0.020</i>	<i>0.108</i>
<i>S9-S10</i>	<i>1, 48</i>	<i>3.201</i>	<i>0.080</i>	<i>0.063</i>
S10-S11	1, 48	0.971	0.329	0.020
S11-S12	1, 48	0.497	0.484	0.010
<b>Messwiederholte Kontraste - Trialtypen - Trainingssitzung*Trialtypen (Acc)</b>				
S1-S2	1, 48	3.187	0.081	0.062
S2-S3	1, 48	1.572	0.216	0.032
S3-S4	1, 48	0.000	0.983	0.000
S4-S5	1, 48	0.124	0.726	0.003
S5-S6	1, 48	2.934	0.093	0.058
S6-S7	1, 48	1.100	0.299	0.022
S7-S8	1, 48	0.135	0.715	0.003
S8-S9	1, 48	0.447	0.507	0.009
S9-S10	1, 48	0.420	0.520	0.009
S10-S11	1, 48	0.493	0.486	0.010
S11-S12	1, 48	0.024	0.878	0.000

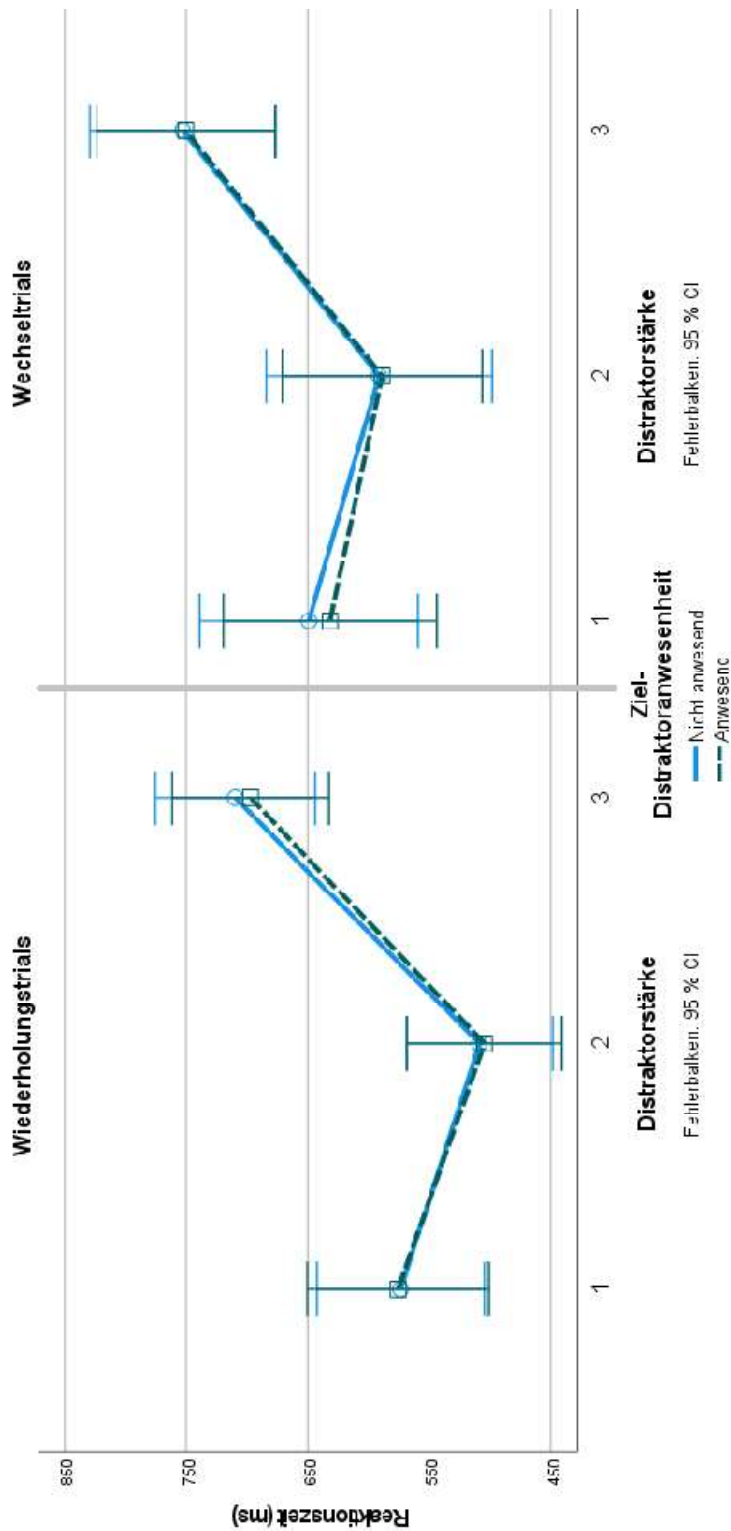
**Tabelle A5.8:** Bayes-Analyse der Trialtypen (Acc) pro Trainingssitzung jeder Gruppe. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

Post-hoc Bayes-Analysen Trialtypen – Trainingssitzung – Genauigkeit							
Vergleich von:		Beide Gruppen		Experimentalgruppe		Aktive Kontrollgruppe	
		BF <sub>10, U</sub>	Fehler %	BF <sub>10, U</sub>	Fehler %	BF <sub>10, U</sub>	Fehler %
Sitzung 1	Sitzung 2	<b>3.937·10<sup>7</sup></b>	<b>2.979·10<sup>-14</sup></b>	<b>22434.166</b>	<b>1.163·10<sup>-10</sup></b>	<b>340.484</b>	<b>5.980·10<sup>-6</sup></b>
	Sitzung 3	<b>2.055·10<sup>11</sup></b>	<b>4.287·10<sup>-17</sup></b>	<b>434890.652</b>	<b>8.657·10<sup>-13</sup></b>	<b>49234.797</b>	<b>6.168·10<sup>-11</sup></b>
	Sitzung 4	<b>2.843·10<sup>11</sup></b>	<b>3.162·10<sup>-17</sup></b>	<b>3.219·10<sup>6</sup></b>	<b>6.877·10<sup>-14</sup></b>	<b>10647.825</b>	<b>2.275·10<sup>-10</sup></b>
	Sitzung 5	<b>791336.399</b>	<b>4.803·10<sup>-12</sup></b>	<b>608.405</b>	<b>8.035·10<sup>-9</sup></b>	<b>184.120</b>	<b>3.700·10<sup>-5</sup></b>
	Sitzung 6	<b>2.108·10<sup>6</sup></b>	<b>1.206·10<sup>-12</sup></b>	<b>1971.565</b>	<b>2.299·10<sup>-9</sup></b>	<b>141.951</b>	<b>6.723·10<sup>-5</sup></b>
	Sitzung 7	<b>5.572·10<sup>9</sup></b>	<b>1.041·10<sup>-15</sup></b>	<b>3895·10<sup>6</sup></b>	<b>7.349·10<sup>-14</sup></b>	<b>485.681</b>	<b>8.593·10<sup>-7</sup></b>
	Sitzung 8	<b>1.059·10<sup>10</sup></b>	<b>6.079·10<sup>-16</sup></b>	<b>406378.548</b>	<b>1.008·10<sup>-12</sup></b>	<b>2906.637</b>	<b>2.362·10<sup>-6</sup></b>
	Sitzung 9	<b>3753.216</b>	<b>3.284·10<sup>-9</sup></b>	<b>4.845.672</b>	<b>8.127·10<sup>-10</sup></b>	<b>1.157</b>	<b>2.647·10<sup>-6</sup></b>
	Sitzung 10	<b>27398.613</b>	<b>3.335·10<sup>-10</sup></b>	<b>20874.756</b>	<b>1.281·10<sup>-10</sup></b>	<b>1.828</b>	<b>1.567·10<sup>-6</sup></b>
	Sitzung 11	<b>267497.246</b>	<b>2.020·10<sup>-11</sup></b>	<b>1126·10<sup>6</sup></b>	<b>4.440·10<sup>-14</sup></b>	<b>1.744</b>	<b>1.657·10<sup>-6</sup></b>
	Sitzung 12	<b>616292.337</b>	<b>6.739·10<sup>-12</sup></b>	<b>298251.428</b>	<b>1.927·10<sup>-12</sup></b>	<b>2.696</b>	<b>9.563·10<sup>-7</sup></b>
	Sitzung 2	Sitzung 3	<b>61.908</b>	<b>2.678·10<sup>-7</sup></b>	<b>11.219</b>	<b>1.363·10<sup>-7</sup></b>	<b>1.027</b>
Sitzung 4		<b>431.200</b>	<b>3.508·10<sup>-8</sup></b>	<b>32.967</b>	<b>8.954·10<sup>-8</sup></b>	<b>2.453</b>	<b>1.083·10<sup>-6</sup></b>
Sitzung 5		0.128	9.404·10 <sup>-5</sup>	0.240	0.023	0.164	1.397·10 <sup>-5</sup>
Sitzung 6		0.283	4.742·10 <sup>-5</sup>	0.446	0.006	0.185	1.292·10 <sup>-5</sup>
Sitzung 7		<b>6.680</b>	<b>2.487·10<sup>-6</sup></b>	<b>80.400</b>	<b>4.918·10<sup>-8</sup></b>	0.281	9.640·10 <sup>-6</sup>
Sitzung 8		<b>4.415</b>	<b>3.718·10<sup>-6</sup></b>	<b>7.802</b>	<b>1.369·10<sup>-7</sup></b>	0.307	9.014·10 <sup>-6</sup>
Sitzung 9		0.113	1.051·10 <sup>-4</sup>	0.520	0.011	0.225	0.022
Sitzung 10		0.162	7.694·10 <sup>-5</sup>	<b>2.189</b>	<b>1.049·10<sup>-8</sup></b>	0.184	1.300·10 <sup>-5</sup>
Sitzung 11		0.279	4.801·10 <sup>-5</sup>	<b>36.808</b>	<b>8.395·10<sup>-8</sup></b>	0.185	1.296·10 <sup>-5</sup>
Sitzung 12		0.440	3.198·10 <sup>-5</sup>	<b>61.116</b>	<b>6.015·10<sup>-8</sup></b>	0.185	1.293·10 <sup>-5</sup>
Sitzung 3	Sitzung 4	0.657	2.225·10 <sup>-5</sup>	0.279	0.009	0.481	6.227·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 5	0.752	1.966·10 <sup>-5</sup>	0.650	0.016	0.293	9.342·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 6	0.154	8.059·10 <sup>-5</sup>	0.231	0.028	0.171	1.364·10 <sup>-5</sup>
	Sitzung 7	0.190	6.705·10 <sup>-5</sup>	0.331	9.017·10 <sup>-4</sup>	0.178	1.326·10 <sup>-5</sup>
	Sitzung 8	0.148	8.315·10 <sup>-5</sup>	0.181	1.354·10 <sup>-5</sup>	0.178	1.325·10 <sup>-5</sup>
	Sitzung 9	0.347	3.960·10 <sup>-5</sup>	0.165	1.549·10 <sup>-5</sup>	0.459	6.490·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 10	0.135	9.017·10 <sup>-5</sup>	0.173	1.439·10 <sup>-5</sup>	0.290	9.415·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 11	0.111	1.062·10 <sup>-4</sup>	0.530	0.011	0.296	9.273·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 12	0.113	1.051·10 <sup>-4</sup>	0.955	6.444·10 <sup>-7</sup>	0.322	8.685·10 <sup>-6</sup>
Sitzung 4	Sitzung 5	<b>14.129</b>	<b>1.190·10<sup>-6</sup></b>	<b>1.410</b>	<b>1.896·10<sup>-7</sup></b>	<b>1.861</b>	<b>1.533·10<sup>-6</sup></b>
	Sitzung 6	<b>1.045</b>	<b>1.453·10<sup>-5</sup></b>	0.430	0.005	0.489	6.146·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 7	0.112	1.054·10 <sup>-4</sup>	0.157	1.658·10 <sup>-5</sup>	0.186	1.289·10 <sup>-5</sup>
	Sitzung 8	0.122	9.789·10 <sup>-5</sup>	0.146	1.826·10 <sup>-5</sup>	0.198	1.238·10 <sup>-5</sup>
	Sitzung 9	<b>1.900</b>	<b>8.309·10<sup>-6</sup></b>	0.247	0.020	<b>1.666</b>	<b>1.750·10<sup>-6</sup></b>
	Sitzung 10	0.296	4.553·10 <sup>-5</sup>	0.146	1.827·10 <sup>-5</sup>	0.665	4.641·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 11	0.159	7.807·10 <sup>-5</sup>	0.232	0.027	0.657	4.696·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 12	0.134	9.039·10 <sup>-5</sup>	0.361	3.814·10 <sup>-4</sup>	0.876	3.543·10 <sup>-6</sup>
Sitzung 5	Sitzung 6	0.406	3.438·10 <sup>-5</sup>	0.239	0.023	0.363	7.890·10 <sup>-6</sup>

	Sitzung 7	<b>503.510</b>	<b>2.971·10<sup>-8</sup></b>	<b>23.710</b>	<b>1.065·10<sup>-7</sup></b>	<b>3.625</b>	<b>6.349·10<sup>-7</sup></b>
	Sitzung 8	<b>29.293</b>	<b>5.737·10<sup>-7</sup></b>	<b>1.275</b>	<b>2.740·10<sup>-7</sup></b>	<b>28.555</b>	<b>6.152·10<sup>-9</sup></b>
	Sitzung 9	0.115	1.034·10 <sup>-4</sup>	0.201	0.049	0.322	8.687·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 10	0.144	8.518·10 <sup>-5</sup>	0.758	1.126·10 <sup>-6</sup>	0.203	1.214·10 <sup>-5</sup>
	Sitzung 11	0.278	4.817·10 <sup>-5</sup>	<b>8.104</b>	<b>1.376·10<sup>-7</sup></b>	0.202	1.219·10 <sup>-5</sup>
	Sitzung 12	0.566	2.549·10 <sup>-5</sup>	<b>33.535</b>	<b>8.866·10<sup>-8</sup></b>	0.206	1.203·10 <sup>-5</sup>
Sitzung 6	Sitzung 7	<b>7.708</b>	<b>2.163·10<sup>-6</sup></b>	<b>3.573</b>	<b>7.176·10<sup>-8</sup></b>	0.474	6.316·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 8	<b>2.025</b>	<b>7.825·10<sup>-6</sup></b>	0.693	1.371·10 <sup>-6</sup>	0.668	4.625·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 9	0.235	5.575·10 <sup>-5</sup>	0.152	1.723·10 <sup>-5</sup>	0.657	4.695·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 10	0.112	1.057·10 <sup>-4</sup>	0.380	0.001	0.304	9.076·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 11	0.126	9.579·10 <sup>-5</sup>	<b>5.769</b>	<b>1.241·10<sup>-7</sup></b>	0.301	9.147·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 12	0.166	7.534·10 <sup>-5</sup>	<b>39.632</b>	<b>8.023·10<sup>-8</sup></b>	0.333	8.460·10 <sup>-6</sup>
Sitzung 7	Sitzung 8	0.127	9.476·10 <sup>-5</sup>	0.169	1.488·10 <sup>-5</sup>	0.165	1.395·10 <sup>-5</sup>
	Sitzung 9	<b>14.299</b>	<b>1.176·10<sup>-6</sup></b>	0.631	0.016	<b>4.385</b>	<b>4.795·10<sup>-7</sup></b>
	Sitzung 10	0.543	2.647·10 <sup>-5</sup>	0.154	1.693·10 <sup>-5</sup>	0.946	3.274·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 11	0.189	6.758·10 <sup>-5</sup>	0.260	0.015	0.876	3.541·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 12	0.143	8.581·10 <sup>-5</sup>	0.580	0.014	<b>1.171</b>	<b>2.611·10<sup>-6</sup></b>
Sitzung 8	Sitzung 9	<b>8.262</b>	<b>2.021·10<sup>-6</sup></b>	0.360	3.133·10 <sup>-4</sup>	<b>5.078</b>	<b>3.822·10<sup>-7</sup></b>
	Sitzung 10	0.355	3.872·10 <sup>-5</sup>	0.146	1.825·10 <sup>-5</sup>	0.933	3.320·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 11	0.152	8.122·10 <sup>-5</sup>	0.379	0.001	0.891	3.481·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 12	0.125	9.640·10 <sup>-5</sup>	<b>1.359</b>	<b>2.182·10<sup>-7</sup></b>	<b>1.371</b>	<b>2.193·10<sup>-6</sup></b>
Sitzung 9	Sitzung 10	<b>1.163</b>	<b>1.315·10<sup>-5</sup></b>	0.998	5.734·10 <sup>-7</sup>	0.273	9.841·10 <sup>-6</sup>
	Sitzung 11	<b>11.483</b>	<b>1.462·10<sup>-6</sup></b>	<b>100.111</b>	<b>4.148·10<sup>-8</sup></b>	0.218	1.158·10 <sup>-5</sup>
	Sitzung 12	<b>134.471</b>	<b>1.200·10<sup>-7</sup></b>	<b>1327.834</b>	<b>3.550·10<sup>-9</sup></b>	0.257	1.028·10 <sup>-5</sup>
Sitzung 10	Sitzung 11	0.288	4.668·10 <sup>-5</sup>	0.521	0.011	0.163	1.401·10 <sup>-5</sup>
	Sitzung 12	<b>1.048</b>	<b>1.450·10<sup>-5</sup></b>	<b>3.475</b>	<b>6.757·10<sup>-8</sup></b>	0.164	1.396·10 <sup>-5</sup>
Sitzung 11	Sitzung 12	0.154	8.039·10 <sup>-5</sup>	0.219	0.035	0.165	1.390·10 <sup>-5</sup>

Die a-posteriori Chancen wurden für multiples Testen korrigiert, indem die Prior-Wahrscheinlichkeit, dass die Nullhypothese über alle Vergleiche hinweg gilt, auf 0,5 festgelegt wurde (Westfall, Johnson & Utts, 1997). Einzelne Vergleiche basieren auf dem Standard-t-Test mit einem Cauchy-Prior (0, r = 1/sqrt(2)). Das "U" beim Bayes-Faktor zeigt an, dass er nicht korrigiert ist.

## Distraktoren im inhibitionsfokussierten Training



**Abbildung A5.1:** Interaktion von Distraktorstärke, Ziel-Distraktoranwesenheit und Trialtypen. Es konnte keine signifikante Interaktion von Ziel-Distraktoranwesenheit und Trialtypen oder allen drei Faktoren gezeigt werden. Es konnte ein signifikanter Haupteffekt für die Ziel-Distraktoranwesenheit in der frequentistischen Analyse aber nicht der Bayes-Analyse gezeigt werden.

## Anhang Ferner Transfer

### A6 Aufgabenwechseltransfertest

**Tabelle A6.1** Wechselkosten der Gruppen. Es werden die MW und SD der Reaktionszeit und der Genauigkeit dargestellt.

Wechselkosten	<i>Experimentalgruppe</i> (N = 32)		<i>Aktive Kontrollgruppe</i> (N = 29)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>Reaktionszeit (ms)</b>	90 (156)	100 (116)	92 (140)	22 (102)
<b>Genauigkeit</b>	0.008 (0.07)	0.018 (0.04)	0.02 (0.06)	0.019 (0.05)

**Tabelle A6.2:** Mixingkosten der Gruppen. Es werden die MW und SD der Reaktionszeit und der Genauigkeit dargestellt.

	<b>Mixingkosten</b>			
	<b>Experimentalgruppe</b> (N = 32)		<b>Aktive Kontrollgruppe</b> (N = 29)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>Reaktionszeit (ms)</b>	167 (300)	82 (189)	114 (141)	56 (106)
<b>Genauigkeit</b>	0.09 (0.11)	0.04 (0.08)	0.04 (0.10)	0.01 (0.06)

### A7 Stroop-Test

**Tabelle A7.1:** Reaktionszeiten im Stroop-Effekt. Angegeben werden Mittelwert und Standardabweichung im Prä- und Posttest der beiden Gruppen.

Stroop-Effekt	<b>Experimentalgruppe</b> (N = 30)		<b>Aktive Kontrollgruppe</b> (N = 26)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>Reaktionszeit (ms)</b>	84 (91)	73 (70)	44 (74)	41 (44)
<b>Genauigkeit</b>	0.08 (0.1)	0.04 (0.05)	0.08 (0.08)	0.02 (0.09)

## A8 Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test

**Tabelle A8.1:** Vergleich der Aufmerksamkeitsnetzwerke im Prä- und Posttest. Wie erwartet, unterscheiden sich die drei Netzwerke im Prätest signifikant voneinander. Das Orientierungs- und exekutive Aufmerksamkeits-Netzwerk erschienen nach dem Training jedoch nicht mehr unterschiedlich. Die p-Werte wurden nach Bonferroni korrigiert.

Post-hoc-Analyse der Netzwerkeffekte (zwei Gruppen)						
Vergleich	df	t	P <sub>Bonf</sub>	Cohens d	B <sub>10</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<b>Prätest</b>						
Aktivierung - Orientierung	60	-2.684	0.054	-0.344	103.866	1.589·10 <sup>-7</sup>
Aktivierung - Exekutive	60	-6.397	<0.001	-0.819	935172.412	1.276·10 <sup>-11</sup>
Orientierung - Exekutive	60	-3.553	<0.001	-0.455	0.915	0.003
<b>Posttest</b>						
Aktivierung - Orientierung	60	-6.541	<0.001	-0.838	5.495·10 <sup>7</sup>	1.041·10 <sup>-13</sup>
Aktivierung - Exekutive	60	-5.846	<0.001	-0.749	1.417·10 <sup>8</sup>	3.095·10 <sup>-14</sup>
Orientierung - Exekutive	60	-1.186	> 0.999	-0.152	0.236	2.985·10 <sup>-5</sup>

**Tabelle A8.2:** Post-hoc-Analysen zu den Haupteffekten für Cue- und Flankertypen bei zwei Gruppen. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen. Die p-Werte wurden nach Bonferroni korrigiert.

Post-hoc-Analysen zu den Haupteffekten für Cue- und Flankertypen bei zwei Gruppen						
Vergleich	df	t	P <sub>Bonf</sub>	Cohens d	B <sub>10</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<b>Prätest</b>						
Zentraler Cue - Doppelcue	60	2.312	0.336	0.296	1.638	2.654·10 <sup>-6</sup>
Zentraler Cue - kein Cue	60	-2.503	0.210	-0.320	2.448	0.003
<b>Zentraler Cue – räumlicher Cue</b>	<b>60</b>	<b>7.930</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>1.015</b>	<b>1.511·10<sup>8</sup></b>	<b>9.425·10<sup>-16</sup></b>
<b>Doppelcue - kein Cue</b>	<b>60</b>	<b>-4.247</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>-0.544</b>	<b>276.888</b>	<b>4.729·10<sup>-9</sup></b>
<b>Doppelcue – räumlicher Cue</b>	<b>60</b>	<b>6.736</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.862</b>	<b>1.708·10<sup>6</sup></b>	<b>1.673·10<sup>-12</sup></b>
<b>Kein Cue – räumlicher Cue</b>	<b>60</b>	<b>7.772</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.995</b>	<b>8.327·10<sup>7</sup></b>	<b>4.180·10<sup>-15</sup></b>
<b>Inkongruenter Flanker – kongruenter Flanker</b>	<b>60</b>	<b>11.719</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>1.500</b>	<b>1.579·10<sup>14</sup></b>	<b>5.627·10<sup>-20</sup></b>
<b>Posttest</b>						
Zentraler Cue - Doppelcue	60	0.502	1.000	0.064	0.158	3.892·10 <sup>-5</sup>
<b>Zentraler Cue - kein Cue</b>	<b>60</b>	<b>-5.347</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>-0.685</b>	<b>10963.211</b>	<b>4.116·10<sup>-10</sup></b>
<b>Zentraler Cue – räumlicher Cue</b>	<b>60</b>	<b>12.183</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>1.560</b>	<b>7.854·10<sup>14</sup></b>	<b>2.043·10<sup>-20</sup></b>
<b>Doppelcue - kein Cue</b>	<b>60</b>	<b>-4.794</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>-0.614</b>	<b>1641.716</b>	<b>1.973·10<sup>-9</sup></b>
<b>Doppelcue – räumlicher Cue</b>	<b>60</b>	<b>12.447</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>1.594</b>	<b>1.932·10<sup>15</sup></b>	<b>1.164·10<sup>-20</sup></b>
<b>Kein Cue – räumlicher Cue</b>	<b>60</b>	<b>16.768</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>2.147</b>	<b>1.518·10<sup>21</sup></b>	<b>1.970·10<sup>-24</sup></b>
<b>Inkongruenter Flanker – kongruenter Flanker</b>	<b>60</b>	<b>10.174</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>1.303</b>	<b>6.391·10<sup>11</sup></b>	<b>1.374·10<sup>-14</sup></b>

## A9 PAL

**Tabelle A9.1:** Durchschnittliche memorierte Stimuli pro Setgröße im PAL (drei Gruppen). Angegeben sind MW und SD.

PAL - Durchschnitt memorierter Stimuli pro Setgröße						
Setgrößen	Experimentalgruppe (N = 30)		Aktive Kontrollgruppe (N = 29)		Passive Kontroll- gruppe (N = 44)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
Setgröße 2	1.59 (0.50)	1.59 (0.47)	1.56 (0.55)	1.62 (0.39)	1.59 (0.50)	1.70 (0.41)
Setgröße 4	1.96 (0.85)	2.04 (1.05)	2.62 (1.05)	2.58 (0.98)	2.48 (1.04)	2.47 (1.02)
Setgröße 6	2.08 (0.92)	2.77 (1.34)	2.78 (1.27)	3.47 (1.48)	2.74 (1.19)	2.93 (1.10)
Setgröße 8	2.55 (0.88)	2.90 (1.70)	3.28 (1.44)	3.95 (1.76)	3.11 (1.43)	3.17 (1.36)

**Tabelle A9.2:** Analyse der durchschnittlich memorierten Stimuli pro Setgröße im PAL. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen.

PAL Mixed-Model-ANOVA 2 Gruppen (Experimental- und aktive Kontrollgruppe)*Testzeitpunkt*Setgröße (2,4,6,8); AV: Durchschnittliche Anzahl memorierter Stimuli pro Setgröße							
Effekte	Green-house-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}/B_{inkl}$	Fehler ( $B_{10}$ )
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 57</i>	<i>12.186</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.176</i>	<i>10.411</i>	<i>2.921</i>
<i>Gruppe</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 57</i>	<i>8.466</i>	<i>0.005</i>	<i>0.129</i>	<i>6.244</i>	<i>2.977</i>
<i>Setgröße</i>	<i>Ja</i>	<i>2.652, 151.184</i>	<i>55.497</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.493</i>	<i>1.327·10<sup>29</sup></i>	<i>2.999</i>
Testzeitpunkt* Gruppe	Nein	1, 57	0.146	0.704	0.003	0.345	
<i>Testzeitpunkt*Setgröße</i>	<i>Ja</i>	<i>2.340, 133.380</i>	<i>5.278</i>	<i>0.004</i>	<i>0.085</i>	<i>6.950</i>	
<i>Gruppe*Setgröße</i>	<i>Ja</i>	<i>2.652, 151.184</i>	<i>4.681</i>	<i>0.005</i>	<i>0.076</i>	<i>45.677</i>	
Testzeitpunkt*Gruppe*Setgröße	Ja	2.340, 133.380	0.414	0.694	0.007	0.136	
PAL Mixed-Model-ANOVA 3 Gruppen (Experimental-/aktive/passive Kontrollgruppe)*Testzeitpunkt*Setgröße (2,4,6,8); AV: Durchschnittliche Anzahl memorierter Stimuli pro Setgröße							
Effekte	Green-house-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}/B_{inkl}$	Fehler ( $B_{10}$ )
<i>Testzeitpunkt</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 100</i>	<i>14.053</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.123</i>	<i>5.239</i>	<i>3.385</i>
<i>Gruppe</i>	<i>Nein</i>	<i>2, 100</i>	<i>4.258</i>	<i>0.017</i>	<i>0.078</i>	<i>1.752</i>	<i>3.917</i>
<i>Setgröße</i>	<i>Ja</i>	<i>2.666, 266.625</i>	<i>98.292</i>	<i>&lt; 0.001</i>	<i>0.496</i>	<i>8.033·10<sup>56</sup></i>	<i>0.601</i>
Testzeitpunkt* Gruppe	Nein	2, 100	1.765	0.176	0.034	0.306	
<i>Testzeitpunkt*Setgröße</i>	<i>Ja</i>	<i>2.408, 240.789</i>	<i>4.911</i>	<i>0.005</i>	<i>0.047</i>	<i>1.439</i>	
<i>Gruppe*Setgröße</i>	<i>Ja</i>	<i>5.333, 266.625</i>	<i>2.739</i>	<i>0.017</i>	<i>0.052</i>	<i>3.861</i>	
Testzeitpunkt*Gruppe*Setgröße	Ja	4.816, 240.789	1.100	0.363	0.022	0.024	

## Neuropsychologie des Alterns

### Wie funktioniert unser Gehirn und wie altert es?

#### 1.) Was ist Neuropsychologie?

Die Neuropsychologie ist eine Disziplin der Psychologie, die sich mit den biologischen Grundlagen des menschlichen Erlebens und Verhaltens auseinandersetzt. Es geht hier vor allem darum zu erforschen, wie kognitive Leistungen, beispielsweise Wahrnehmungsprozesse, Gedächtnis, Aufmerksamkeit, Emotionsverarbeitung oder das Planen von Handlungen durch das Gehirn umgesetzt werden. Ziel ist es, Modelle zu entwickeln, die beschreiben, nach welchen Prinzipien solche Leistungen im Gehirn umgesetzt werden.

In der „Entwicklungsneuropsychologie des Alterns“ geht es vor allem darum, wie sich unser Gehirn und die Gehirnfunktionen im Laufe des Lebens verändern, wie potenzielle Abnahmen in der Gehirnfunktion stattfinden, welche Gehirnfunktionen erhalten bleiben, oder sich sogar im Laufe des Lebens verbessern. Ein sehr großes Thema ist die Frage, wie Gehirnfunktionen trainiert werden können.

#### 2.) Grundlagen der Gehirnfunktion

Unser Großhirn kann grob in vier Bereiche aufgeteilt werden (Abbildung 1). Den Frontallappen, den Temporallappen, den Parietallappen sowie den Okzipitallappen.

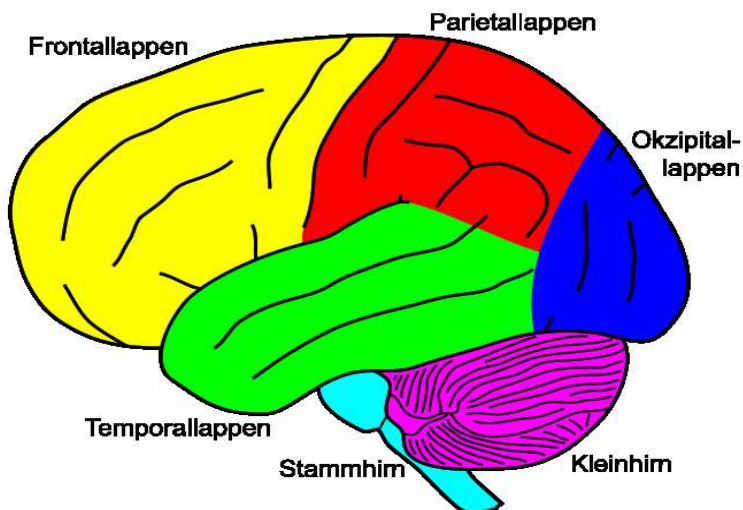


Abbildung 1: Abbildung des Großhirns; Quelle: Wikipedia: [https://de.wikipedia.org/wiki/Gehirn#/media/File:Gehirn,\\_lateral\\_-\\_Lobi\\_%2B\\_Stammhirn\\_%2B\\_Cerebellum\\_deu.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Gehirn#/media/File:Gehirn,_lateral_-_Lobi_%2B_Stammhirn_%2B_Cerebellum_deu.svg)

Der Okzipitallappen ist zuständig für das Sehen. Bilder, die wir mit dem Auge wahrnehmen, werden dorthin projiziert und hier sichtbar gemacht. Schädigungen in diesem Bereich können zum Beispiel zu Gesichtsfeldausfällen führen. Der Parietallappen ist



zuständig für die räumliche Wahrnehmung, das Rechnen, die somatosensorische Wahrnehmung (z. B. Temperatur-, Druck- oder Schmerzempfinden) und die räumliche Orientierung.

Im Temporallappen findet sich der sogenannte Hippocampus. Dieser hat die Funktion, Informationen zusammenzufügen. Hierüber werden Gedächtnisinhalte abgespeichert. Er ist also, ganz grob gesagt, der Ort, an dem unsere Erinnerungen zusammengesetzt werden.

Der Frontallappen ist der entwicklungsgeschichtlich neueste Teil unseres Gehirns. Seine Funktion liegt in der Überwachung und Koordination aller anderen Gehirnprozesse und Gehirnbereiche. Außerdem ist er zuständig für das Denken, Planen, Problemlösen, Verhalten und die soziale Kommunikation. Er ist also einer der wichtigsten Bereiche in unserem Gehirn.

Für das Altern wichtige neuropsychologische Funktionen sind die Verarbeitungsgeschwindigkeit, die Aufmerksamkeit, das Gedächtnis sowie die sogenannten „exekutiven Funktionen“. Letztere sind die Funktionen des Frontalhirns, die dazu dienen, andere Gehirnfunktionen zu koordinieren und zu überwachen. Diese Funktionen werden im Folgenden etwas näher erläutert.

### ***Verarbeitungsgeschwindigkeit***

Die Verarbeitungsgeschwindigkeit wird über unser Stammhirn dominiert. Dieses ist der „Taktgeber“ des Gehirns und für die sogenannten „vegetativen Funktionen“ (z. B. Atmung oder Herzschlag) zuständig. Es ist auch für die Verarbeitungsgeschwindigkeit, mit der wir auf die Umwelt reagieren, verantwortlich. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit ist essenziell für alle Gehirnfunktionen. Sie ist dafür verantwortlich, wie schnell Prozesse im Gehirn durchgeführt werden können. Hierbei ist es egal, ob es sich um eher bewusste Prozesse, wie zum Beispiel Denken und Bewegungen handelt oder um unbewusste Prozesse, wie die Prozesse, die beim Lernen oder beim Gedächtnisabruf stattfinden.

### ***Aufmerksamkeit***

Die Funktion der Aufmerksamkeit liegt einerseits darin, schnellstmöglich mit der Umwelt interagieren zu können und andererseits darin, begrenzte Aufmerksamkeitsressourcen auf für den Menschen wichtige Dinge zu verteilen. Wenn wir also versuchen, zu viele Dinge gleichzeitig zu tun, müssen wir unsere begrenzten Ressourcen auf diese aufteilen. Dies bedeutet, wir können mehrere Aufgaben in der Regel schlechter lösen als eine oder wenige, weil die Aufmerksamkeitsressourcen begrenzt sind.

### ***Exekutive Funktionen***

Die Exekutiven Funktionen sind dafür da, andere Hirnfunktionen zu überwachen. Sie werden allgemein hin unterteilt in das Arbeitsgedächtnis, die Inhibition und die kognitive (gedankliche) Flexibilität.

Das **Arbeitsgedächtnis** brauchen Sie beispielsweise beim Lösen von Rechenaufgaben. Es ist immer dann aktiv, wenn Sie etwas im Gedächtnis behalten und damit etwas tun müssen. Wenn Sie zum Beispiel die Zahlen 17, 54 und 30 im Gedächtnis haben (z.B. als Telefonnummer), dann wären Sie im Bereich des Kurzzeitgedächtnisses. An diesem sind andere Gehirnbereiche beteiligt als am Arbeitsgedächtnis. Wenn Sie mit diesen Zahlen jedoch eine Rechenaufgabe bestreiten und beispielsweise versuchen, diese im Kopf zu addieren, dann sind wir im Bereich des Arbeitsgedächtnisses. Das Arbeitsgedächtnis ist also in fast jeder Lebenslage wichtig, zum Beispiel beim Kommunizieren und darüber nachzudenken, was der andere sagte, beim Lesen oder beim Rechnen. Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist sehr beschränkt. Dies bedeutet, dass man im Durchschnitt nicht viele Informationen gleichzeitig im Kopf behalten kann.

Die **Inhibitionsfähigkeit** ist wichtig für die Interaktion mit der Umwelt, indem irrelevante Reize durch die Inhibition unterdrückt und somit am Zugang zum Arbeitsgedächtnis gehindert werden. Außerdem ist sie zuständig dafür, nicht mehr benötigte Informationen aus dem Arbeitsgedächtnis zu entfernen oder Handlungsimpulse (z. B. sich im Gespräch auf andere Dinge zu konzentrieren) zu unterdrücken. Hierdurch sollen Aufmerksamkeitskapazitäten freigegeben und das Arbeitsgedächtnis von nicht benötigten Informationen freigehalten werden.

Die **Kognitive Flexibilität** ermöglicht wiederum das Wechseln zwischen mehreren Aufgaben oder Gedanken. Sie wird zum Beispiel beim Multitasking gebraucht oder um flexibel auf Situationen reagieren zu können.

### ***Gedächtnis***

Unser Gedächtnis wird unterteilt in das sensorische Gedächtnis, das Kurzzeitgedächtnis sowie das Langzeitgedächtnis. Dieses wiederum ist weiter unterteilt in verschiedene Gedächtniseinheiten.

Im sensorischen Gedächtnis werden Informationen abgespeichert, noch bevor sie in unser Bewusstsein gelangen. Verschiedene Verarbeitungsprozesse wählen nun unbewusst diejenigen Gedächtnisinhalte aus, die ins Kurzzeitgedächtnis gelangen. Das Kurzzeitgedächtnis ist der Teil des Gedächtnisses, der uns bewusst ist. Wenn die Inhalte lange genug im Kurzzeitgedächtnis verweilen, werden sie weiter ins Langzeitgedächtnis gegeben. Dort sind die Gedächtnisspuren zunächst unbewusst abgespeichert. Sie können aber wiederum über verschiedene Prozesse ins Kurzzeitgedächtnis abgerufen und somit dem Bewusstsein wieder zur Verfügung gestellt werden.

### ***3.) Wie altert unser Gehirn?***

Bis zum ca. 20. Lebensjahr entwickelt sich unser Gehirn und die Gehirnleistung steigt an. Bis zum ca. 25. Lebensjahr bleibt die Leistung konstant. Danach beginnt sie dann kontinuierlich abzunehmen. Statistisch bedeutsame Leistungseinbrüche sind jedoch erst mit dem Renteneintritt zu finden. Was aber wichtig ist: Unser Gehirn entwickelt sich ein Leben lang! Es ist bis ins hohe Alter veränderbar. Dieses Phänomen nennt

man neuronale Plastizität. Einige Hirnfunktionen können also abnehmen, andere aber auch wieder zunehmen, wenn sie häufig benutzt werden.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über Ab- und Zunahmen von Gehirnfunktionen mit steigendem Alter.

Neuronal zeigt sich beim Altern besonders eine Abnahme in der Nervenleitgeschwindigkeit und somit eine Verlangsamung der generellen Verarbeitungsgeschwindigkeit. Weiterhin gibt es besonders starke Abnahmen im Hippocampus, der für Gedächtnisbildung zuständig ist sowie in Bereichen des frontalen Kortex, die für Inhibitionsleistungen zuständig sind. Man kann also davon ausgehen, dass mit steigendem Alter die Fähigkeit, schnell zu reagieren oder irrelevante Informationen zu filtern sowie die Fähigkeit, Gedächtnisinhalte auszubilden, verringert wird.

<b>Zu- und Abnahmen von Gehirnfähigkeiten mit steigendem Alter</b>	
<b>Kognitive Fähigkeit</b>	<b>Veränderungsprozess</b>
Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung	Nachlassende Aufnahme und Verarbeitungsgeschwindigkeit (besonders unter Zeitdruck)
Reaktion	Abnehmende Informationsverarbeitungskapazität Nachlassende Geschwindigkeit bei der Übertragung von Nervenimpulsen Erhöhte Ablenkbarkeit und Irritationen
Koordination	Das gleichzeitige oder schnelle hintereinander Verrichten von Aufgaben fällt zunehmend schwerer
Gedächtnisleistung	Weniger effiziente oder spontane Nutzung von „Eselsbrücken“ Längere Dauer, um Informationen aus dem Gedächtnis zu holen und höhere Störanfälligkeit beim Abrufen
Lernen	Längere Lernzeit durch Verlangsamung der Informationsverarbeitung; einmal Gelerntes kann aber genauso gut behalten werden wie bei Jüngeren
Weisheit	Erhöhtes Lebensalter führt zu mehr Lebenserfahrung und damit zu höherer Weisheitskompetenz

Tabelle 1: Kognitive Veränderungen mit steigendem Alter. Nach Wikipedia:  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Altern>

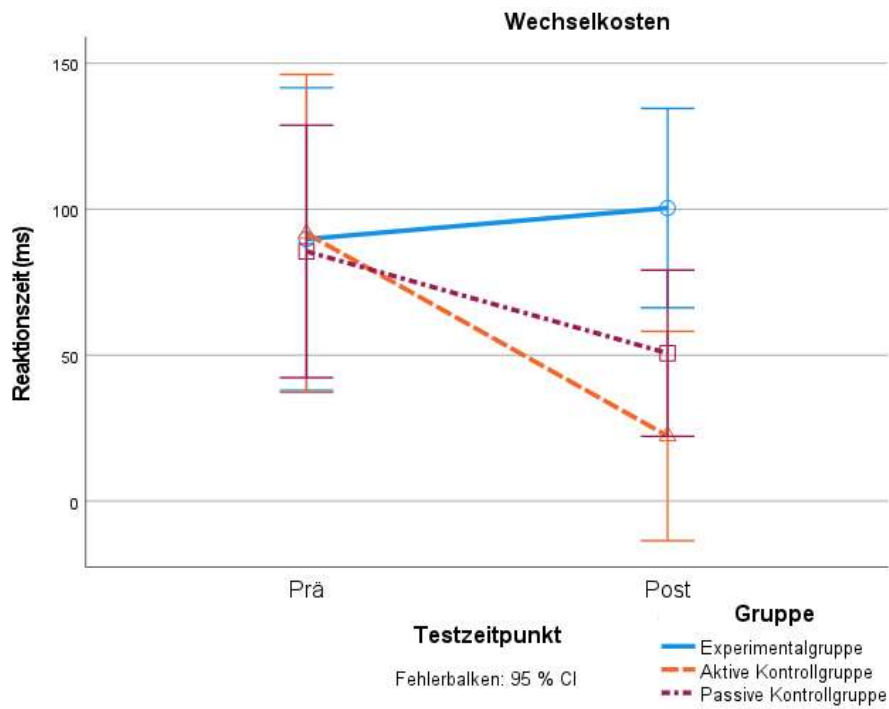
Da unser Gehirn die Fähigkeit hat, sich fortwährend zu verändern, können Sie eine Menge tun, um Gehirnfunktionen zu verbessern. Generell ist es immer gut, geistiger Tätigkeit nachzugehen.

Also auch wenn mit steigendem Alter die kognitive Leistung abzunehmen scheint, lässt sich dem entgegenwirken. Effektiv trainieren Sie durch das Lernen neuer Dinge (z. B. ein neues Musikinstrument).

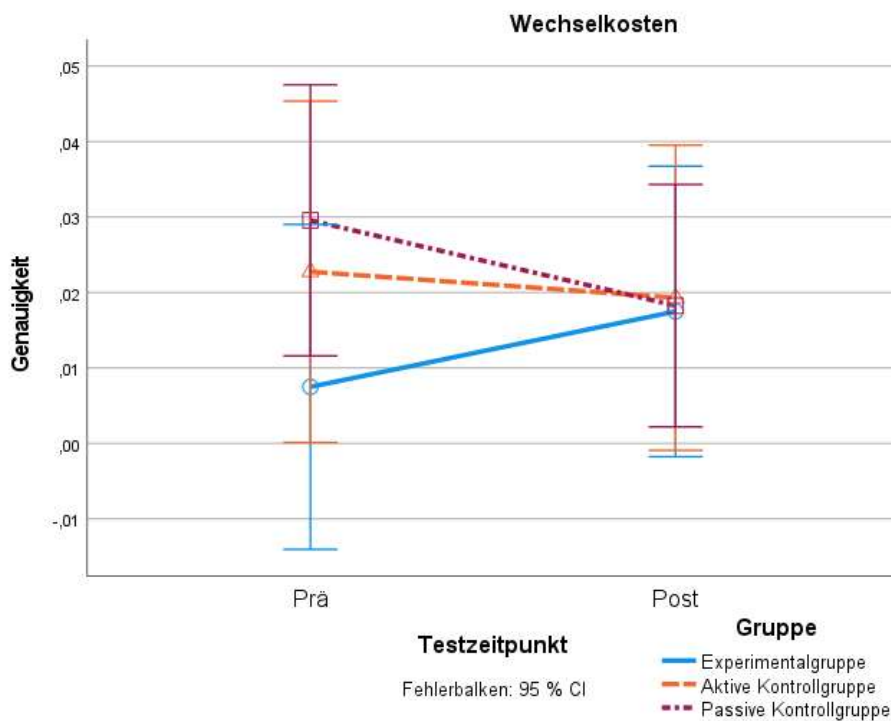
Aber schon allein, sich bewusst zu machen, dass es mit dem Altern einhergehende kognitive Defizite gibt und dass unser Gehirn in der Regel nicht perfekt funktioniert, kann schon dazu führen, bessere Gehirnleistungen zu erzielen.

## A11 Cued-TS - Wechselkosten bei drei Gruppen

a)



b)



**Abbildung A11.1:** Wechselkosten unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. A) RT und b) Acc. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an.

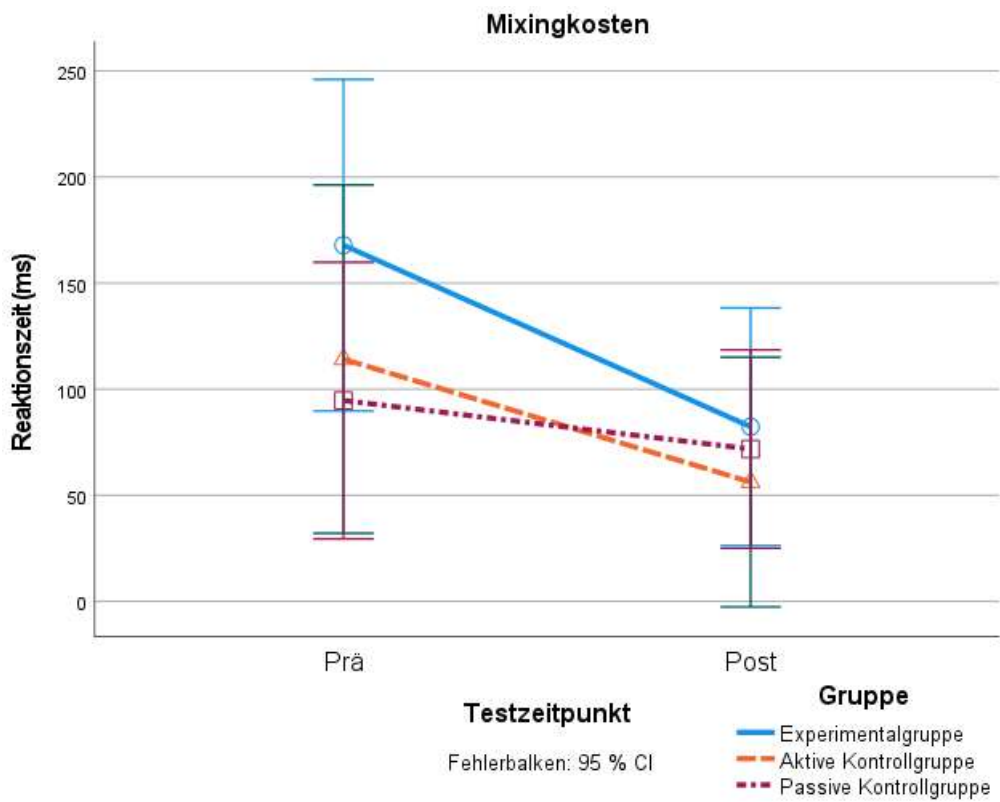
**Tabelle A11.1:** RT und Acc Wechselkosten des Aufgabenwechsel-Transfertests (PK).

<b>Wechselkosten</b>	<b>Passive Kontrollgruppe (N = 46)</b>	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>Reaktionszeit (ms)</b>	86 (146)	51 (102)
<b>Genauigkeit</b>	0.029 (0.06)	0.018 (0.06)

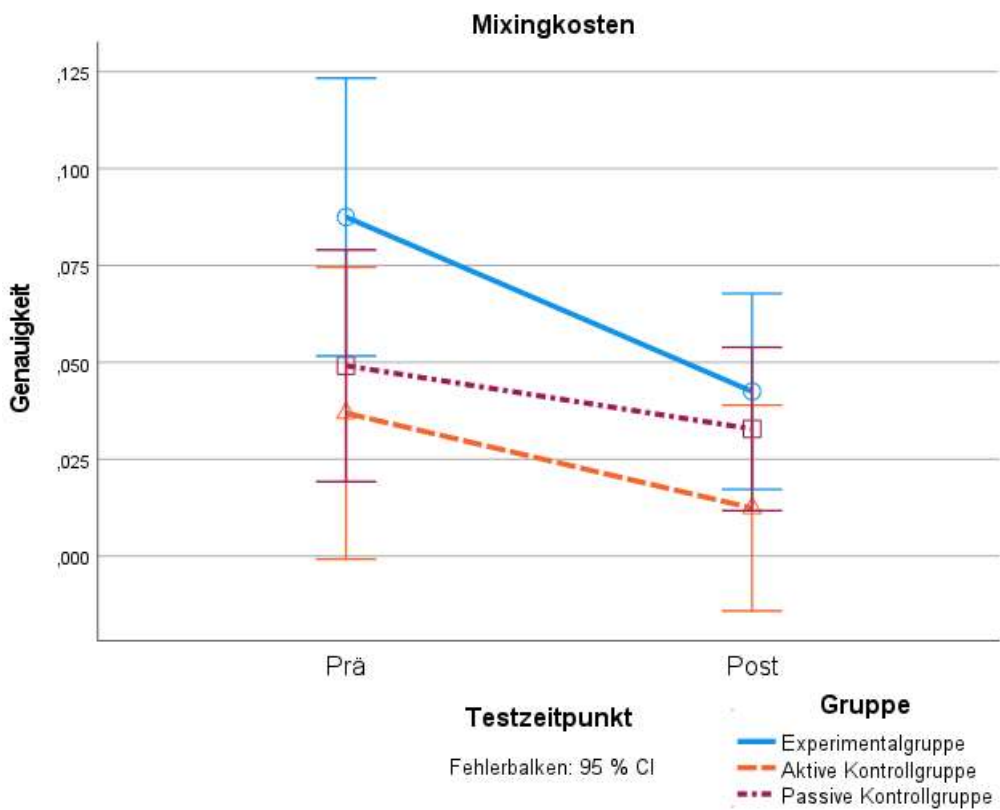
**Tabelle A11.2:** Mixingkosten der passiven Kontrollgruppe. Es werden die MW und SD der Reaktionszeit und der Genauigkeit dargestellt.

<b>Mixingkosten</b>	<b>Passive Kontrollgruppe (N = 46)</b>	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
<b>Reaktionszeit (ms)</b>	94 (200)	72 (165)
<b>Genauigkeit</b>	0.05 (0.10)	0.03 (0.08)

a)



b)



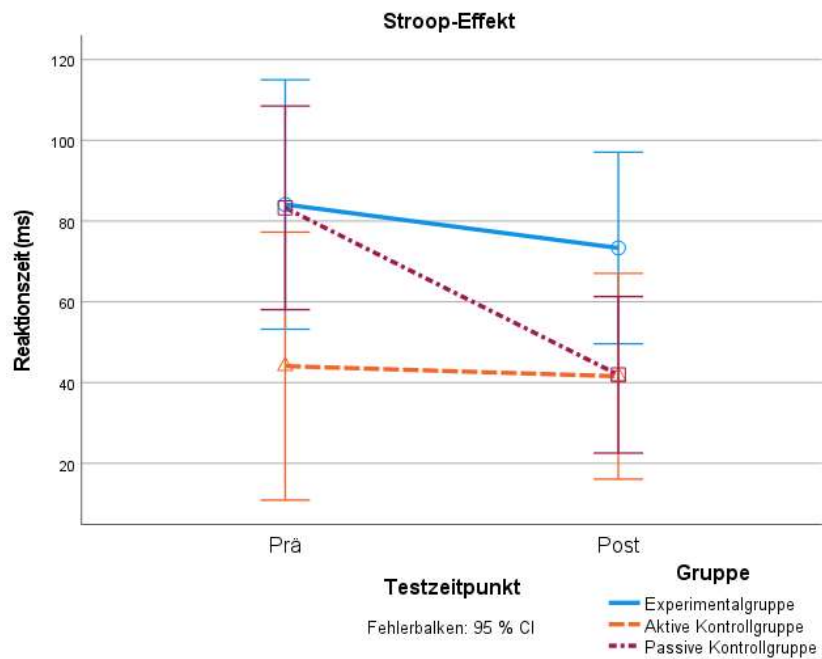
**Abbildung A11.2:** Grafische Darstellung der Mixingkosten bei drei Gruppen. Grafik a) zeigt die Reaktionszeiten und b) die Genauigkeit. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Kofidenzintervall an.

## A12 Analyse des Stroop-Effekts unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe

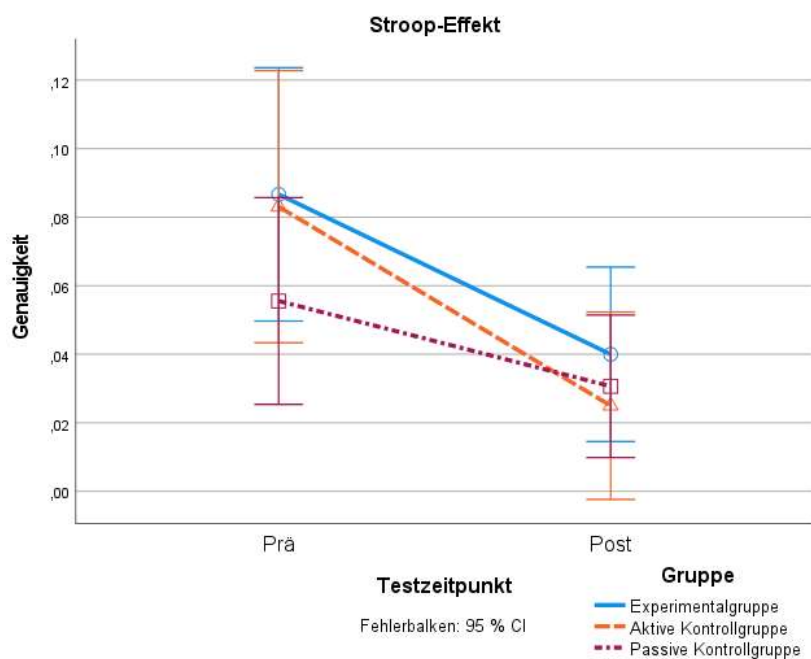
**Tabelle A12.1:** Stroop-Effekt Reaktionszeit und Genauigkeit der passiven Kontrollgruppe. Es werden MW und SD berichtet.

Stroop-Effekt	Passive Kontrollgruppe (N = 45)	
	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
Reaktionszeit (ms)	83 (87)	42 (70)
Genauigkeit	0.06 (0.11)	0.03 (0.06)

a)



b)



**Abbildung A12.1:** Grafische Darstellung des Stroop-Effektes in a) Reaktionszeiten und b) Genauigkeiten bei drei Gruppen. Die Fehlerbalken geben das 95 %-Konfidenzintervall an.

## A13 Analyse der Stroop-Test Übungstrials als Reaktionszeitaufgabe

Tabelle A13.1: Deskriptive Daten aller drei Gruppen in den Stroop-Übungstrials

Reaktionszeit (ms) Übungsblock Stroop-Test					
Experimentalgruppe (N = 29)		Aktive Kontrollgruppe (N = 25)		Passive Kontrollgruppe (N = 42)	
Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))	Prä (MW (SD))	Post (MW (SD))
713 (136)	705 (159)	712 (219)	610 (141)	797 (242)	811 (234)

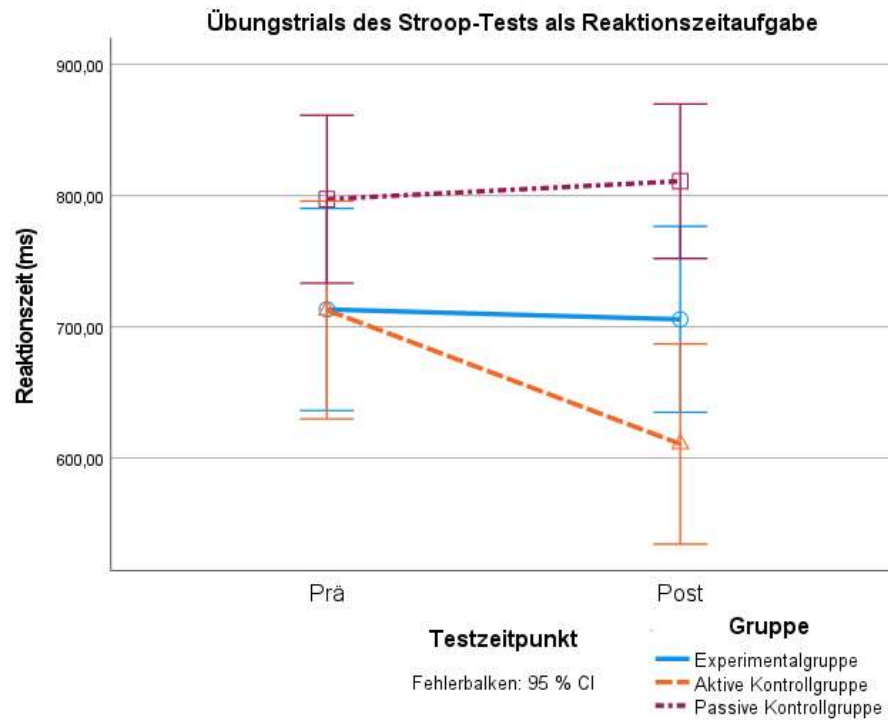


Abbildung A13.1: Interaktion von Testzeitpunkt und Gruppe in den Stroop-Übungstrials (3 Gruppen)

Tabelle A13.2: Analyse der Stroop-Übungstrials. Interaktionen zwischen Gruppe und Testzeitpunkt traten jeweils beim Vergleich mit der aktiven Kontrollgruppe auf.

Effekt	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (%) (B <sub>10</sub> )
<b>Reaktionszeit Übungsblock Stroop-Test (drei Gruppen)</b>						
Testzeitpunkt	1, 93	4.239	0.042	0.044	0.423	2.651
Gruppe	2, 93	5.072	0.008	0.098	6.823	2.401
Testzeitpunkt* Gruppe	2, 93	4.974	0.009	0.097	4.167	
<b>Experimentalgruppe verglichen mit aktiver Kontrollgruppe</b>						
Testzeitpunkt* Gruppe	1, 52	5.246	0.025	0.093	2.344	
<b>Experimentalgruppe verglichen mit passiver Kontrollgruppe</b>						
Testzeitpunkt* Gruppe	1, 69	0.392	0.534	0.006	0.103	
<b>aktive Kontrollgruppe verglichen mit passiver Kontrollgruppe</b>						
Testzeitpunkt* Gruppe	1, 65	8.661	0.005	0.118	7.867	



## A14: ANT: Analyse der Interaktion von Testzeitpunkt, Gruppe, Cue- und Flankertypen (drei Gruppen)

**Tabelle A14.1:** Tabellarische Übersicht von MW und SD der Cue-Flanker-Beziehungen.

Gruppe		MW	SD	N
Prätest zentraler Cue inkongruent	Experimentalgruppe	840	118	31
	Aktive Kontrollgruppe	814	117	28
	Passive Kontrollgruppe	922	240	45
Prätest zentraler Cue kongruent	Experimentalgruppe	705	126	31
	Aktive Kontrollgruppe	739	192	28
	Passive Kontrollgruppe	824	240	45
Prätest zentraler Cue neutral	Experimentalgruppe	744	146	31
	Aktive Kontrollgruppe	737	212	28
	Passive Kontrollgruppe	800	225	45
Prätest Doppelcue inkongruent	Experimentalgruppe	831	135	31
	Aktive Kontrollgruppe	863	168	28
	Passive Kontrollgruppe	878	223	45
Prätest Doppelcue kongruent	Experimentalgruppe	703	121	31
	Aktive Kontrollgruppe	734	166	28
	Passive Kontrollgruppe	787	220	45
Prätest Doppelcue neutral	Experimentalgruppe	699	107	31
	Aktive Kontrollgruppe	741	196	28
	Passive Kontrollgruppe	800	203	45
Prätest kein Cue inkongruent	Experimentalgruppe	845	138	31
	Aktive Kontrollgruppe	868	178	28
	Passive Kontrollgruppe	904	208	45
Prätest kein Cue kongruent	Experimentalgruppe	754	118	31
	Aktive Kontrollgruppe	792	212	28
	Passive Kontrollgruppe	835	228	45
Prätest kein Cue neutral	Experimentalgruppe	748	135	31
	Aktive Kontrollgruppe	736	132	28

	Passive Kontrollgruppe	829	220	45
Prätest räumlicher Cue inkongruent	Experimentalgruppe	675	127	31
	Aktive Kontrollgruppe	667	190	28
	Passive Kontrollgruppe	718	192	45
Prätest räumlicher Cue kongruent	Experimentalgruppe	771	162	31
	Aktive Kontrollgruppe	760	161	28
	Passive Kontrollgruppe	819	216	45
Prätest räumlicher Cue neutral	Experimentalgruppe	654	141	31
	Aktive Kontrollgruppe	690	206	28
	Passive Kontrollgruppe	747	220	45
Posttest zentraler Cue inkongruent	Experimentalgruppe	796	164	31
	Aktive Kontrollgruppe	730	132	28
	Passive Kontrollgruppe	864	218	45
Posttest zentraler Cue kongruent	Experimentalgruppe	675	158	31
	Aktive Kontrollgruppe	606	94	28
	Passive Kontrollgruppe	763	215	45
Posttest zentraler Cue neutral	Experimentalgruppe	697	161	31
	Aktive Kontrollgruppe	615	98	28
	Passive Kontrollgruppe	776	229	45
Posttest Doppelcue inkongruent	Experimentalgruppe	766	158	31
	Aktive Kontrollgruppe	687	100	28
	Passive Kontrollgruppe	851	218	45
Posttest Doppelcue kongruent	Experimentalgruppe	684	153	31
	Aktive Kontrollgruppe	621	98	28
	Passive Kontrollgruppe	773	230	45
Posttest Doppelcue neutral	Experimentalgruppe	680	149	31
	Aktive Kontrollgruppe	633	112	28
	Passive Kontrollgruppe	737	179	45
	Experimentalgruppe	809	148	31

Posttest kein Cue inkongruent	Aktive Kontrollgruppe	739	117	28
	Passive Kontrollgruppe	868	213	45
Posttest kein Cue kongruent	Experimentalgruppe	732	174	31
	Aktive Kontrollgruppe	643	90	28
	Passive Kontrollgruppe	781	209	45
Posttest kein Cue neutral	Experimentalgruppe	726	139	31
	Aktive Kontrollgruppe	633	85	28
	Passive Kontrollgruppe	788	204	45
Posttest räumlicher Cue inkongruent	Experimentalgruppe	604	161	31
	Aktive Kontrollgruppe	540	102	28
	Passive Kontrollgruppe	708	215	45
Posttest räumlicher Cue kongruent	Experimentalgruppe	689	175	31
	Aktive Kontrollgruppe	617	103	28
	Passive Kontrollgruppe	790	242	45
Posttest räumlicher Cue neutral	Experimentalgruppe	614	163	31
	Aktive Kontrollgruppe	565	129	28
	Passive Kontrollgruppe	710	229	45

---

## Analyse des Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleichs

### A15: Training

**Tabelle A15.1** Korrigierte Reaktionszeiten der Wechselkosten im Training. Die Reaktionszeiten wurden um den Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich nach dem IES-Maß korrigiert.

Wechselkosten im Training - IES		
Trainingssitzung	Reaktionszeiten (ms)	
	MW (SD)	
	Experimental- gruppe (N = 24)	Aktive Kon- trollgruppe (N = 21)
1	182 (213)	133 (284)
2	143 (172)	55 (132)
3	105 (142)	42 (56)
4	97 (93)	34 (39)
5	93 (74)	28 (31)
6	81(103)	39 (38)
7	91 (87)	27 (38)
8	90 (98)	27 (29)
9	66 (102)	15 (47)
10	63 (90)	23 (34)
11	36 (91)	19 (58)
12	34 (62)	20 (34)

**Tabelle A15.2:** Analyse der korrigierten Reaktionszeiten der Wechselkosten im Training. Die Reaktionszeiten wurden um den Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich nach dem IES-Maß korrigiert. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen. Es zeigte sich kein Unterschied zur vorherigen Analyse nicht korrigierter Reaktionszeiten.

Wechselkosten – Training (IES korrigierte Reaktionszeit)							
Effekte	Green- house- Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}/B_{inkl}$	Fehler (%) ( $B_{10}$ )
<i>Trainings- sitzung Gruppe</i>	<i>Ja</i>	<b>2.328,</b> <b>100.099</b>	<b>6.882</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.138</b>	<b>2.717·10<sup>8</sup></b>	<b>0.206</b>
	<i>Nein</i>	<b>1, 43</b>	<b>6.713</b>	<b>0.013</b>	<b>0.135</b>	<b>3.410</b>	<b>2.521</b>
Trainings- sitzung* Gruppe	ja	2.328, 100.099	0.603	0.570	0.014	0.029	

## Trialtypen

**Tabelle A15.3** Korrigierte Reaktionszeiten der Trialtypen im Training. Die Reaktionszeiten wurden um den Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich nach dem IES-Maß korrigiert.

		Training – Trialtypen (Wiederholung/Wechsel) – IES- korrigierte Reaktionszeit (ms) MW (SD)											
		1		2		3		4		5		6	
Sitzung	Trial- typen	Wieder- holung	Wechsel gesamt	Wieder- holung	Wechsel gesamt	Wieder- holung	Wechsel gesamt	Wieder- holung	Wechsel gesamt	Wieder- holung	Wechsel gesamt	Wieder- holung	Wechsel gesamt
Sitzung	Experimental- gruppe (N = 24)	957	1139	755	899	717	822	639	737	647	740	625	706
		(399)	(528)	(299)	(404)	(296)	(384)	(248)	(300)	(248)	(285)	(253)	(284)
Sitzung	Aktive Kontroll- gruppe (N = 21)	822	955	757	811	740	782	683	718	632	660	603	642
		(274)	(469)	(277)	(344)	(355)	(371)	(228)	(236)	(159)	(169)	(155)	(153)
		<b>7</b>		<b>8</b>		<b>9</b>		<b>10</b>		<b>11</b>		<b>12</b>	
Sitzung	Trial- typen	Wieder- holung	Wechsel gesamt	Wieder- holung	Wechsel gesamt	Wieder- holung	Wechsel gesamt	Wieder- holung	Wechsel gesamt	Wieder- holung	Wechsel gesamt	Wieder- holung	Wechsel gesamt
Sitzung	Experimental- gruppe (N = 24)	584	675	576	667	738	804	713	776	690	726	674	708
		(193)	(245)	(196)	(269)	(253)	(307)	(226)	(292)	(234)	(216)	(215)	(228)
Sitzung	Aktive Kontroll- gruppe (N = 21)	591	618	572	599	562	577	551	574	557	576	548	567
		(141)	(140)	(121)	(134)	(165)	(165)	(165)	(178)	(165)	(199)	(156)	(147)
			(140)	(127)	(165)	(165)	(165)	(171)	(182)	(182)	(182)	(182)	(182)

**Tabelle A15.4:** Analyse der korrigierten Reaktionszeiten der Wechselkosten im Training. Die Reaktionszeiten wurden um den Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich nach dem IES-Maß korrigiert. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen. Es zeigte sich kein Unterschied zur vorherigen Analyse nicht korrigierter Reaktionszeiten.

<b>Analyse unter Einbezug der Trialtypen – Training (IES – korrigierte Reaktionszeit (ms))</b>							
<b>Effekte</b>	<b>Greenhouse-Geisser Korrektur?</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b><math>B_{10}/B_{inkl}</math></b>	<b>Fehler (%) (<math>B_{10}</math>)</b>
Trainings-sitzung	Ja	2.832, 121.784	17.424	< 0.001	0.288	1.984·10 <sup>53</sup>	0.295
Gruppe	Nein	1, 43	1.885	0.177	0.042	0.618	2.417
Trialtypen	Nein	1, 43	41.643	< 0.001	0.492	82691.713	2.506
Sitzung*Gruppe	ja	2.832, 121.784	2.188	0.097	0.048	2442.958	
Sitzung*Trialtypen	ja	2.328, 100.099	6.882	< 0.001	0.138	0.013	
Gruppe*Trialtypen	Nein	1, 43	6.713	0.013	0.135	3.898	
Sitzung*Gruppe*Trialtypen	Ja	2.328, 100.099	0.609	0.570	0.014	1.343·10 <sup>-4</sup>	

## A16 IES Naher Transfer (Aufgabenwechsel)

### Wechselkosten

**Tabelle A16.1:** Korrigierte Reaktionszeiten der Trialtypen im Aufgabenwechseltransferstest. Die Reaktionszeiten wurden um den Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich nach dem IES-Maß korrigiert.

<i>IES - korrigierte Reaktionszeiten (ms) bei den Trialtypen</i>						
Trialtypen	Experimentalgruppe (N = 32)		Aktive Kontrollgruppe (N = 29)		Passive Kontrollgruppe (N = 46)	
	Prä MW (SD)	Post MW (SD)	Prä MW (SD)	Post MW (SD)	Prä MW (SD)	Post MW (SD)
<i>Wiederholung</i>	1031 (579)	776 (328)	916 (337)	656 (196)	951 (370)	853 (277)
<i>Wechsel</i>	1156 (617)	900 (351)	1053 (398)	694 (189)	1076 (394)	931 (309)

**Tabelle A16.2:** Analyse der korrigierten Reaktionszeiten der Trialtypen im Aufgabenwechseltransferstest unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. Die Reaktionszeiten wurden um den Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich nach dem IES-Maß korrigiert. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für  $H_1$  sprechen. Es zeigte sich kein Unterschied zur vorherigen Analyse nicht korrigierter Reaktionszeiten.

<i>Analyse der Wiederholungs- und Wechseltrials – IES korrigierte Reaktionszeit</i>						
Effekte	df	F	p	$\eta_p^2$	$B_{10}/B_{inkl}$	Fehler ( $B_{10}$ )
<i>Testzeitpunkt</i>	<b>1, 104</b>	<b>58.075</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.358</b>	<b>3.587·10<sup>17</sup></b>	<b>2.833</b>
Gruppe	2, 104	1.561	0.215	0.029	0.415	0.560
<i>Trialtypen</i>	<b>1, 104</b>	<b>56.168</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.351</b>	<b>1070.497</b>	<b>2.813</b>
<i>Testzeitpunkt*Gruppe</i>	<b>2, 104</b>	<b>3.851</b>	<b>0.024</b>	<b>0.069</b>	<b>53.538</b>	
<i>Testzeitpunkt*Trialtypen</i>	<b>1, 104</b>	<b>3.878</b>	<b>0.052</b>	<b>0.036</b>	<b>0.642</b>	
Gruppe*Trialtypen	2, 104	0.533	0.589	0.010	0.136	
Testzeitpunkt*Trialtypen*Gruppe	2, 104	1.106	0.335	0.021	0.030	

### Mixingkosten

**Tabelle A16.3:** Korrigierte Reaktionszeiten der Mixingkosten im Aufgabenwechseltransferstest. Die Reaktionszeiten wurden um den Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich nach dem IES-Maß korrigiert.

<i>IES - korrigierte Reaktionszeiten (ms) bei den Trialtypen</i>						
	Experimentalgruppe (N = 32)		Aktive Kontrollgruppe (N = 29)		Passive Kontrollgruppe (N = 46)	
	Prä MW (SD)	Post MW (SD)	Prä MW (SD)	Post MW (SD)	Prä MW (SD)	Post MW (SD)
<b>Wiederholungstrials</b>	1031 (579)	777 (329)	916 (337)	657 (196)	951 (370)	853 (277)
<b>Wiederholungsblöcke</b>	711 (210)	641 (142)	783 (417)	587 (125)	796 (299)	754 (225)

**Tabelle A16.4:** Analyse der korrigierten Reaktionszeiten der Blocktypen im Aufgabenwechseltransfer-test unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. Die Reaktionszeiten wurden um den Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich nach dem IES-Maß korrigiert. Die Interaktion von Testzeitpunkt, Blocktypen und Gruppe entspricht der Analyse der Mixingkosten. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen. Es zeigte sich kein Unterschied zur vorherigen Analyse nicht korrigierter Reaktionszeiten.

<b>Analyse der Wiederholungstrials und Wiederholungsblöcke – IES korrigierte Reaktionszeit</b>						
Effekte	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>1, 104</b>	<b>41.343</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.284</b>	<b>953328.974</b>	<b>2.486</b>
Gruppe	2, 104	1.548	0.218	0.029	0.291	0.521
<b>Blocktypen</b>	<b>1, 104</b>	<b>33.821</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.245</b>	<b>1.085·10<sup>7</sup></b>	<b>2.473</b>
<b>Testzeitpunkt*Gruppe</b>	<b>2, 104</b>	<b>3.969</b>	<b>0.022</b>	<b>0.071</b>	<b>1.939</b>	
<b>Testzeitpunkt*Blocktypen</b>	<b>1, 104</b>	<b>10.753</b>	<b>0.001</b>	<b>0.094</b>	<b>3.070</b>	
Gruppe*Blocktypen	2, 104	2.051	0.134	0.038	0.713	
Testzeitpunkt*Blocktypen*Gruppe	2, 104	1.792	0.172	0.033	0.345	

## A17 IES – Ferner Transfer (Stroop-Test)

### Stroop-Effekt

**Tabelle A17.1:** Korrigierte Reaktionszeiten der Trialtypen im Stroop-Test. Die Reaktionszeiten wurden um den Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich nach dem IES-Maß korrigiert.

Trialtypen	<b>IES - korrigierte Reaktionszeiten (ms) bei den Trialtypen</b>					
	<i>Experimentalgruppe</i> (N = 30)		<i>Aktive Kontrollgruppe</i> (N = 26)		<i>Passive Kontrollgruppe</i> (N = 45)	
	Prä	Post	Prä	Post	Prä	Post
	MW (SD)	MW (SD)	MW (SD)	MW (SD)	MW (SD)	MW (SD)
<b>Kongruent</b>	779 (200)	714 (194)	824 (333)	686 (201)	1024 (494)	949 (357)
<b>Inkongruent</b>	984 (343)	835 (252)	977 (431)	767 (277)	1249 (693)	1027 (368)

**Tabelle A17.2:** Analyse der korrigierten Reaktionszeiten der Trialtypen im Stroop-Test unter Einbezug der passiven Kontrollgruppe. Die Reaktionszeiten wurden um den Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich nach dem IES-Maß korrigiert. Fettgedruckt sind Ergebnisse, die für H<sub>1</sub> sprechen. Es zeigte sich kein Unterschied zur vorherigen Analyse nicht korrigierter Reaktionszeiten.

<b>Analyse der kongruenten und inkongruenten Trials – IES korrigierte Reaktionszeit</b>						
Effekte	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>10</sub> /B <sub>inkl</sub>	Fehler (B <sub>10</sub> )
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>1, 98</b>	<b>20.893</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.175</b>	<b>687338.493</b>	<b>2.727</b>
<b>Gruppe</b>	<b>2, 98</b>	<b>6.240</b>	<b>0.003</b>	<b>0.113</b>	<b>15.702</b>	<b>2.765</b>
<b>Trialtypen</b>	<b>1, 98</b>	<b>49.244</b>	<b>&lt; 0.001</b>	<b>0.334</b>	<b>1.423·10<sup>6</sup></b>	<b>2.724</b>
Testzeitpunkt*Gruppe	2, 98	0.345	0.709	0.007	0.184	
<b>Testzeitpunkt*Trialtypen</b>	<b>1, 98</b>	<b>9.440</b>	<b>0.003</b>	<b>0.088</b>	<b>4.320</b>	
Gruppe*Trialtypen	2, 98	0.395	0.675	0.008	0.143	
Testzeitpunkt*Trialtypen*Gruppe	2, 98	0.574	0.565	0.012	0.008	



## A18 Anhang Mediansplit

### Ferner Transfer

#### A18.1 Stroop-Test (Mediansplit)

**Tabelle A18.1.1:** Reaktionszeiten der leistungsstarken und leistungsschwachen Gruppen nach Mediansplit im Stroop-Effekt. Angegeben sind MW und SD für jede der sechs Untergruppen im Prä- und Posttest.

<b>Stroop-Effekt (Mediansplit)</b>				
<b>Gruppe</b>	<b>Prä (RT)</b>		<b>Post (Acc)</b>	
	<b>MW (SD)</b>	<b>MW (SD)</b>	<b>MW (SD)</b>	<b>MW (SD)</b>
<b>Experimentalgruppe</b>				
Leistungsstark (N = 16)	71 (59)	83 (73)	0.09 (0.10)	0.04 (0.05)
Leistungsschwach (N = 14)	98 (118)	61 (72)	0.08 (0.09)	0.04 (0.05)
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>				
Leistungsstark (N = 13)	42 (43)	32 (44)	0.07 (0.08)	-0.01 (0.04)
Leistungsschwach (N = 13)	46 (97)	50 (43)	0.09 (0.08)	0.05 (0.12)
<b>Passive Kontrollgruppe</b>				
Leistungsstark (N = 21)	63 (94)	23 (66)	0.05 (0.09)	0.03 (0.06)
Leistungsschwach (N = 23)	97 (85)	53 (68)	0.06 (0.13)	0.03 (0.07)

**Tabelle A18.1.2:** Reaktionszeiten der hoch und gering leistenden Gruppen nach Mediansplit in den Trialtypen des Stroop-Tests. Angegeben sind MW und SD für jede der sechs Untergruppen im Prä- und Posttest.

<b>Trialtypen – Stroop-Test (Mediansplit)</b>								
<b>Gruppe</b>	<b>Prä (RT)</b>		<b>Post (RT)</b>		<b>Prä (Acc)</b>		<b>Post (Acc)</b>	
	<b>MW (SD)</b>		<b>MW (SD)</b>		<b>MW (SD)</b>		<b>MW (SD)</b>	
	<b>Inkon- gruent</b>	<b>Kon- gruent</b>	<b>Inkon- gruent</b>	<b>Kon- gruent</b>	<b>Inkon- gruent</b>	<b>Kon- gruent</b>	<b>Inkon- gruent</b>	<b>Kongru- ent</b>
<b>Experimentalgruppe</b>								
Hohe Leistung (N = 16)	793 (153)	722 (146)	738 (165)	654 (136)	0.85 (0.13)	0.94 (0.06)	0.92 (0.06)	0.96 (0.04)
Geringe Leistung (N = 14)	837 (197)	738 (154)	783 (199)	721 (204)	0.87 (0.11)	0.95 (0.08)	0.92 (0.07)	0.96 (0.03)
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>								
Hohe Leistung (N = 13)	834 (308)	792 (301)	749 (235)	716 (263)	0.85 (0.14)	0.92 (0.10)	0.96 (0.02)	0.96 (0.04)
Geringe Leistung (N = 13)	776 (130)	730 (101)	662 (111)	612 (87)	0.87 (0.07)	0.97 (0.02)	0.91 (0.11)	0.96 (0.02)
<b>Passive Kontrollgruppe</b>								
Hohe Leistung (N = 21)	918 (271)	854 (274)	883 (241)	859 (237)	0.87 (0.12)	0.92 (0.10)	0.90 (0.10)	0.93 (0.10)
Geringe Leistung (N = 23)	963 (268)	866 (263)	901 (224)	848 (207)	0.81 (0.19)	0.87 (0.16)	0.88 (0.10)	0.91 (0.10)

**Tabelle A18.1.3:** Analyse der Trialtypen im Stroop-Test nach Mediansplit. 2\*2\*6 (Testzeitpunkt\*Trialtypen\*Gruppe (alle 6 Untergruppen)) bzw. 2\*2\*2 (Testzeitpunkt\*Trialtypen\*Gruppe (hoch und gering Leistende)) Mixed-Model-ANOVA. Es konnten keine Gruppenunterschiede gezeigt werden.

<b>Analyse der Trialtypen (Stroop-Test Mediansplit) Mixed-Model-ANOVA von Testzeitpunkt*Gruppe</b>					
<b>Effekte</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b>B<sub>inkl</sub></b>
<i>Vergleich der 6 Teilgruppen</i>					
Testzeitpunkt*Gruppe (RT)	5, 94	1.018	0.412	0.051	0.859
Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen (RT)	5, 94	1.125	0.352	0.056	0.003
Testzeitpunkt*Gruppe (Acc)	5, 94	0.804	0.549	0.041	0.069
Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen (Acc)	5, 94	0.406	0.843	0.021	5.653·10 <sup>-4</sup>
<i>Vergleich der Leistungsstarken und -schwachen (über alle Gruppen)</i>					
Testzeitpunkt*Gruppe (RT)	1, 98	0.172	0.679	0.002	0.138
Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen (RT)	1, 98	0.565	0.454	0.006	0.010
Testzeitpunkt*Gruppe (Acc)	1, 98	0.002	0.964	0.000	0.095
Testzeitpunkt*Gruppe*Trialtypen (Acc)	1, 98	0.110	0.741	0.001	0.022

## A18.2 Aufmerksamkeits-Netzwerk-Test

### Netzwerke

**Tabelle A18.2.1:** Reaktionszeiten der leistungsstarken und -schwachen Gruppen nach Mediansplit in den Aufmerksamkeitsnetzwerken des Aufmerksamkeits-Netzwerk-Tests. Angegeben sind MW und SD für jede der sechs Untergruppen im Prä- und Posttest.

<b>Testzeitpunkt</b>	<b>Prä</b>			<b>Post</b>		
	<b>Aktivierung</b>	<b>Orientierung</b>	<b>Exekutive Kontrolle</b>	<b>Aktivierung</b>	<b>Orientierung</b>	<b>Exekutive Kontrolle</b>
<b>Gruppe</b>						
<b>Experimentalgruppe</b>						
<b>Leistungsstark (N=16)</b>	37 (56)	39 (54)	127 (57)	27 (41)	77 (43)	116 (111)
<b>Leistungsschwach (N=16)</b>	52 (54)	72 (65)	121 (59)	41 (35)	107 (32)	89 (55)
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>						
<b>Leistungsstark (N=15)</b>	26 (44)	69 (63)	76 (90)	37 (30)	81 (65)	84 (38)
<b>Leistungsschwach (N=14)</b>	28 (107)	77 (67)	112 (86)	10 (74)	70 (68)	109 (81)
<b>Passive Kontrollgruppe</b>						
<b>Leistungsstark (N=22)</b>	25 (41)	76 (100)	89 (70)	39 (58)	79 (47)	75 (47)
<b>Leistungsschwach (N=22)</b>	50 (89)	112 (96)	82 (113)	20 (51)	71 (104)	89 (78)

**Tabelle A18.2.2:** Analyse der Netzwerkeffekte im ANT nach Mediansplit. 2\*3\*6 (Testzeitpunkt\*Netzwerk\*Gruppe (alle 6 Untergruppen)) bzw. 2\*3\*2 (Testzeitpunkt\*Netzwerke\*Gruppe (hoch und gering Leistende)) Mixed-Model-ANOVA. Es konnten keine Gruppenunterschiede gezeigt werden.

Effekte	Greenhouse-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	Binkl
<b>Analyse Mixed-Model-ANOVA von Testzeitpunkt*Netzwerke*Gruppe</b>						
Testzeitpunkt*Gruppe	Nein	5, 99	0.892	0.489	0.043	4.592·10 <sup>-5</sup>
Testzeitpunkt*Netzwerke*Gruppe	Ja	9.090, 179.983	0.980	0.458	0.047	9.333·10 <sup>-8</sup>
<b>Vergleich Leistungsstarker und Leistungsschwacher (über alle Gruppen)</b>						
Testzeitpunkt*Gruppe	Nein	1, 103	2.961	0.088	0.028	0.020
Testzeitpunkt*Netzwerke*Gruppe	Ja	1.801, 185.48	0.598	0.534	0.006	3.389·10 <sup>-5</sup>

**Tabelle A18.2.3:** Analyse der Cue- und Flankertypen im ANT nach Mediansplit. 2\*4\*3\*6 (Testzeitpunkt\*Cue\*Flanker\*Gruppe (alle 6 Untergruppen)) bzw. 2\*4\*3\*2 (Testzeitpunkt\*Cue\*Flanker\*Gruppe (hoch und gering Leistende)) Mixed-Model-ANOVA. Es konnten keine Gruppenunterschiede gezeigt werden.

<b>Analyse Mixed-Model-ANOVA von Testzeitpunkt*Cuetypen*Flankertypen*Gruppe</b>						
Effekte	Greenhouse-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	Binkl
<b>Vergleich der 6 Teilgruppen</b>						
Testzeitpunkt*Cue-typen*Gruppe	Nein	15, 291	1.110	0.346	0.054	6.974·10 <sup>-11</sup>
Testzeitpunkt*Flankertypen*Gruppe	Nein	10, 194	1.364	0.200	0.066	2.290·10 <sup>-9</sup>
Testzeitpunkt*Cue-typen*Flankertypen*Gruppe	Ja	24.624, 477.698	1.103	0.335	0.054	8.321·10 <sup>-29</sup>
<b>Vergleich Leistungsstarke und Leistungsschwache (über alle Gruppen)</b>						
Testzeitpunkt*Cue-typen*Gruppe	Ja	2.799	0.407	0.735	0.004	5.466·10 <sup>-8</sup>
Testzeitpunkt*Flankertypen*Gruppe	Nein	2, 202	0.525	0.592	0.005	2.198·10 <sup>-6</sup>
Testzeitpunkt*Cue-typen*Flankertypen*Gruppe	Ja	4.935, 498.449	0.387	0.856	0.004	2.138·10 <sup>-21</sup>

**Tabelle A18.2.4:** Reaktionszeiten der leistungsstarken und -schwachen Gruppen nach Mediansplit in den Cue- und Flankertypen des Aufmerksamkeits-Netzwerk-Tests. Angegeben sind MW und SD für jede der sechs Untergruppen im Prä- und Posttest.

Cue- und Flankertypen									
Testzeitpunkt	Prä (MW (SD))				Post (MW (SD))				
Cue- typen	Zentra- ler Cue	Dop- pelcue	Kein Cue	Räumli- cher Cue	Zentra- ler Cue	Dop- pelcue	Kein Cue	Räumli- cher Cue	
Gruppe									
<b>Experimentalgruppe</b>									
<b>Hohe Leistung (N =16)</b>	775 (101)	765 (87)	803 (93)	736 (117)	747 (162)	743 (159)	771 (160)	669 (165)	
<b>Geringe Leistung (N =16)</b>	750 (149)	715 (140)	768 (142)	677 (164)	705 (156)	695 (148)	736 (146)	597 (146)	
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>									
<b>Hohe Leistung (N = 15)</b>	777 (223)	759 (217)	786 (217)	708 (222)	643 (136)	634 (108)	671 (114)	562 (120)	
<b>Geringe Leistung (N =14)</b>	764 (109)	769 (132)	797 (107)	687 (148)	635 (48)	648 (88)	658 (58)	564 (94)	
<b>Passive Kontrollgruppe</b>									
<b>Hohe Leistung (N = 22)</b>	807 (207)	781 (178)	806 (168)	731 (217)	788 (212)	754 (175)	793 (190)	708 (205)	
<b>Geringe Leistung (N =22)</b>	896 (267)	838 (216)	888 (217)	783 (206)	813 (224)	810 (228)	830 (229)	742 (241)	
Flanker- typen	Inkongruent	Kongruent	Neutral				Inkongruent	Kongru- ent	Neutral
Gruppe									
<b>Experimentalgruppe</b>									
<b>Hohe Leistung (N =16)</b>	856 (102)	728 (99)	747 (94)				815 (212)	699 (158)	714 (157)
<b>Geringe Leistung (N =16)</b>	810 (151)	689 (146)	694 (147)				747 (144)	657 (157)	658 (150)
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>									
<b>Hohe Leistung (N = 15)</b>	818 (184)	741 (244)	724 (225)				693 (125)	608 (124)	604 (100)
<b>Geringe Leistung (N =14)</b>	834 (108)	721 (129)	726 (126)				717 (79)	607 (58)	602 (51)
<b>Passive Kontrollgruppe</b>									
<b>Hohe Leistung (N = 22)</b>	844 (197)	754 (204)	760 (194)				821 (202)	746 (204)	738 (185)
<b>Geringe Leistung (N =22)</b>	928 (242)	846 (250)	813 (221)				866 (236)	776 (235)	763 (197)

## A18.3 Change Detection

### A18.3.1 Ohne Filter

**Tabelle A18.3.1.1:** K-Werte der Setgrößen der leistungsstarken und -schwachen Gruppen nach Mediansplit Change Detection – ohne Filter. Angegeben sind MW und SD für jede der sechs Untergruppen im Prä- und Posttest.

<b>Change Detection – Ohne Filter (Mediansplit)</b>								
Testzeitpunkt Setgröße	Prä MW (SD)				Post MW (SD)			
	K-Setgröße 2	K-Setgröße 3	K-Setgröße 4	K-Max	K-Setgröße 2	K-Setgröße 3	K-Setgröße 4	K-Max
Gruppe								
<b>Experimentalgruppe</b>								
<b>Hohe Leistung (N = 15)</b>	1.58 (0.42)	2.20 (0.88)	2.13 (1.11)	2.42 (0.79)	1.85 (0.23)	2.62 (0.62)	2.87 (0.85)	3.12 (0.54)
<b>Geringe Leistung (N = 15)</b>	1.7 (0.38)	2.33 (0.89)	2.30 (0.92)	2.69 (0.72)	1.71 (0.31)	2.40 (0.66)	2.50 (0.87)	2.74 (0.65)
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>								
<b>Hohe Leistung (N = 15)</b>	1.68 (0.31)	2.38 (0.58)	2.63 (0.90)	2.90 (0.60)	1.88 (0.21)	2.40 (0.52)	2.70 (0.70)	2.90 (0.54)
<b>Geringe Leistung (N = 14)</b>	1.61 (0.31)	2.36 (0.50)	2.53 (1.13)	2.86 (0.80)	1.73 (0.27)	2.33 (0.53)	3.03 (0.75)	3.10 (0.67)
<b>Passive Kontrollgruppe</b>								
<b>Hohe Leistung (N = 23)</b>	1.66 (0.48)	2.30 (0.74)	2.45 (1.31)	2.78 (0.95)	1.81 (0.28)	2.55 (0.50)	3.01 (0.85)	3.12 (0.65)
<b>Geringe Leistung (N = 22)</b>	1.69 (0.36)	2.36 (0.50)	2.40 (1.09)	2.74 (0.75)	1.68 (0.48)	2.32 (0.94)	3.05 (0.87)	3.15 (0.76)

**Tabelle A18.3.1.2:** Analyse der K-Werte der Setgrößen im Change Detection – ohne Filter nach Mediansplit. 2\*3\*6 (Testzeitpunkt\*Setgrößen\*Gruppe (alle 6 Untergruppen)) bzw. 2\*2\*2 (Testzeitpunkt\*Setgrößen\*Gruppe (hoch und gering Leistende)) bzw. 2\*2 (Testzeitpunkt\*Gruppe bei AV K-Max) Mixed-Model-ANOVA. Es konnten keine Gruppenunterschiede gezeigt werden.

<b>Analyse Change Detection – Ohne Filter – Mediansplit (Experimental-, aktive- und passive Kontrollgruppe)</b>						
<b>Effekte</b>	<b>Green-house-Geisser Korrektur?</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b>B<sub>inkl</sub></b>
<b>Vergleich der 6 Gruppen</b>						
<b>K-Setgröße</b>						
Testzeitpunkt*Gruppe	Nein	5, 98	1.281	0.278	0.061	0.006
Testzeitpunkt*Setgröße*Gruppe	Ja	7.268, 142.401	0.924	0.493	0.045	6.070·10 <sup>-6</sup>
<b>K-Max</b>						
Testzeitpunkt*Gruppe	Nein	5, 98	1.832	0.114	0.085	0.131
<b>Vergleich von Leistungsstarken und Leistungsschwachen (über alle Gruppen)</b>						
<b>K-Setgröße</b>						
Testzeitpunkt*Gruppe	Nein	1, 102	1.756	0.188	0.017	0.144
Testzeitpunkt*Setgröße*Gruppe	Ja	1.490, 148.904	0.868	0.391	0.008	0.005
<b>K-Max</b>						
Testzeitpunkt*Gruppe	Nein	1, 102	0.628	0.430	0.006	0.193

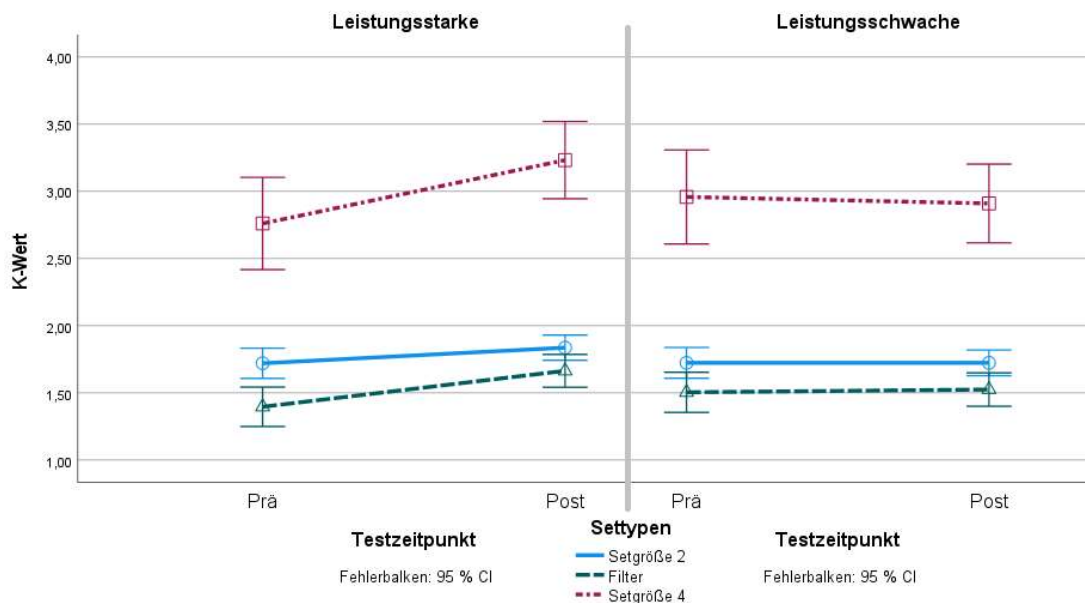
### A18.3.2 Change Detection - Mit Filter

**Tabelle A18.3.2.1:** K-Werte der Settypen der leistungsstarken und -schwachen Gruppen nach Mediansplit Change Detection – mit Filter. Angegeben sind MW und SD für jede der sechs Untergruppen im Prä- und Posttest.

<b>Change Detection – mit Filter (Mediansplit)</b>								
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>Prä (MW (SD))</b>				<b>Post (MW (SD))</b>			
	<b>Settypen</b>	<b>K-Setgröße 2</b>	<b>K-Filter</b>	<b>K-Setgröße 4</b>	<b>US</b>	<b>K-Setgröße 2</b>	<b>K-Filter</b>	<b>K-Setgröße 4</b>
<b>Gruppe</b>								
<b>Experimentalgruppe</b>								
<b>Hohe Leistung (N =15)</b>	1.67 (0.55)	1.38 (0.52)	3.00 (1.51)	0.29 (0.41)	1.78 (0.33)	1.62 (0.37)	3.60 (0.63)	0.17 (0.40)
<b>Geringe Leistung (N =15)</b>	1.67 (0.44)	1.48 (0.48)	3.33 (0.98)	0.19 (0.40)	1.78 (0.21)	1.53 (0.56)	3.27 (0.96)	0.25 (0.46)
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>								
<b>Hohe Leistung (N = 15)</b>	1.78 (0.25)	1.30 (0.62)	3.13 (1.13)	0.48 (0.56)	1.86 (0.26)	1.68 (0.24)	3.60 (0.63)	0.19 (0.29)
<b>Geringe Leistung (N =14)</b>	1.82 (0.35)	1.62 (0.33)	3.50 (0.65)	0.21 (0.17)	1.75 (0.24)	1.55 (0.35)	3.50 (0.52)	0.20 (0.26)
<b>Passive Kontrollgruppe</b>								
<b>Hohe Leistung (N = 23)</b>	1.71 (0.48)	1.47 (0.59)	2.36 (1.38)	0.24 (0.35)	1.85 (0.28)	1.69 (0.32)	2.75 (1.18)	0.16 (0.21)
<b>Geringe Leistung (N =22)</b>	1.70 (0.35)	1.45 (0.61)	2.36 (1.20)	0.25 (0.40)	1.66 (0.55)	1.50 (0.67)	2.29 (1.21)	0.17 (0.29)

**Tabelle A18.3.2.2:** Analyse der K-Werte der Settypen im Change Detection – mit Filter nach Mediansplit. 2\*3\*6 (Testzeitpunkt\*Settypen\*Gruppe (alle 6 Untergruppen)) bzw. 2\*2\*2 (Testzeitpunkt\*Settypen\*Gruppe (hoch und gering Leistende)) bzw. 2\*2 (Testzeitpunkt\*Gruppe bei US) Mixed-Model-ANOVA.

Analyse Change Detection – mit Filter – Mediansplit (Experimental-, aktive- und passive Kontrollgruppe)						
Effekte	Greenhouse-Geisser Korrektur?	df	F	p	$\eta_p^2$	B <sub>inkl</sub>
<b>K-Settypen</b>						
Testzeitpunkt*Gruppe	Nein	5, 98	1.710	0.137	0.081	0.625
Testzeitpunkt*Settypen*Gruppe	Ja	6.103, 119.617	0.702	0.651	0.035	0.004
<b>Unnötiger Speicher</b>						
Testzeitpunkt*Gruppe	Nein	5, 98	1.165	0.332	0.056	0.019
<b>Vergleich von Leistungsstarken und Leistungsschwachen (über alle Gruppen)</b>						
<b>K-Settypen</b>						
<i>Testzeitpunkt*Gruppe</i>	<i>Nein</i>	<i>1, 102</i>	<i>8.509</i>	<i>0.004</i>	<i>0.077</i>	<i>2.628</i>
Testzeitpunkt*Settypen*Gruppe	Ja	1.227, 125.122	2.636	0.100	0.025	0.006
<b>Unnötiger Speicher</b>						
Testzeitpunkt*Gruppe	Nein	1, 102	2.476	0.119	0.024	0.265



**Abbildung A18.3.2.1:** Interaktion von Testzeitpunkt, Settypen und Gruppe im Change Detection mit Filter bei hoch und gering Leistenden.



## A18.4 Paarassoziationslernen

**Tabelle A18.4.1:** Anzahl maximal memorierter Stimuli der leistungsstarken und -schwachen Gruppen nach Mediansplit im Paarassoziationslernen. Angegeben sind MW und SD für jede der sechs Untergruppen im Prä- und Posttest.

<b>Paarassoziationslernen – Maximal memorierte Stimuli (Mediansplit)</b>		
<b>Gruppe</b>	<b>Prä (MW (SD))</b>	<b>Post (MW (SD))</b>
<b>Experimentalgruppe</b>		
<b>Leistungsstark (N = 15)</b>	25.00 (7.18)	28.00 (5.81)
<b>Leistungsschwach (N = 15)</b>	23.93 (7.4)	27.80 (13.41)
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>		
<b>Leistungsstark (N = 15)</b>	31.80 (10.85)	35.73 (9.85)
<b>Leistungsschwach (N = 14)</b>	29.29 (8.6)	33.93 (12.45)
<b>Passive Kontrollgruppe</b>		
<b>Leistungsstark (N = 22)</b>	29 (9.13)	31 (8.97)
<b>Leistungsschwach (N = 22)</b>	30.55 (11.20)	30.59 (8.80)

**Tabelle A18.4.2:** Analyse der Anzahl maximal memorierter Stimuli im Paarassoziationslernen nach Mediansplit. 2\*6 (Testzeitpunkt\*Gruppe (alle 6 Untergruppen)) bzw. 2\*2 (Testzeitpunkt\*Gruppe (hoch und gering Leistende)) Mixed-Model-ANOVA. Es konnten keine Gruppenunterschiede gezeigt werden.

<b>Analyse der maximal memorierten Stimuli (PAL Mediansplit)</b>					
<b>Mixed-Model-ANOVA von Testzeitpunkt*Gruppe</b>					
<b>Effekte</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b>Binkl</b>
<b>Vergleich aller 6 Gruppen</b>					
Testzeitpunkt*Gruppe	5, 97	0.858	0.512	0.042	0.179
<b>Vergleich von hoch und gering Leistenden (über alle Gruppen)</b>					
Testzeitpunkt*Gruppe	1, 101	0.072	0.789	0.001	0.200

## A18.5 Assoziativer Rekognitionstest

**Tabelle A18.5.1:** PR-Maß der leistungsstarken und -schwachen Gruppen nach Mediansplit im assoziativen Rekognitionstest. Angegeben sind MW und SD für jede der sechs Untergruppen im Prä- und Posttest.

<b>Assoziativer Rekognitionstest - PR-Maß (Mediansplit)</b>		
<b>Gruppe</b>	<b>Prä (MW (SD))</b>	<b>Post (MW (SD))</b>
<b>Experimentalgruppe</b>		
<b>Leistungsstark (N = 16)</b>	0.40 (0.27)	0.52 (0.39)
<b>Leistungsschwach (N = 16)</b>	0.30 (0.30)	0.45 (0.39)
<b>Aktive Kontrollgruppe</b>		
<b>Leistungsstark (N = 15)</b>	0.51 (0.33)	0.50 (0.31)
<b>Leistungsschwach (N = 14)</b>	0.48 (0.33)	0.50 (0.27)
<b>Passive Kontrollgruppe</b>		
<b>Leistungsstark (N = 23)</b>	0.55 (0.33)	0.50 (0.32)
<b>Leistungsschwach (N = 23)</b>	0.34 (0.32)	0.47 (0.32)

**Tabelle A18.5.2:** Analyse PR-Maß im assoziativen Rekognitionstest nach Mediansplit. 2\*6 (Testzeitpunkt\*Gruppe (alle 6 Untergruppen)) bzw. 2\*2 (Testzeitpunkt\*Gruppe (hoch und gering Leistende)) Mixed-Model-ANOVA. Es konnten keine Gruppenunterschiede gezeigt werden.

<b>Analyse PR-Maß (ARK Mediansplit)</b>					
<b>Mixed-Model-ANOVA von Testzeitpunkt*Gruppe</b>					
<b>Effekte</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b>B<sub>inkl</sub></b>
<b>Vergleich aller 6 Gruppen</b>					
Testzeitpunkt*Gruppe	1, 101	0.635	0.673	0.030	0.011
<b>Vergleich hoch und gering Leistender (über alle Gruppen)</b>					
Testzeitpunkt*Gruppe	1, 105	0.721	0.398	0.007	0.118