

Muster motorisch-kognitiver Interferenzen über die Lebensspanne bei motorischer und kognitiver Beeinträchtigung

Von der Fakultät für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften der Universität Stuttgart

zur Erlangung der Würde eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von

Thomas Jürgen Klotzbier

aus Arad (Rumänien)

Hauptberichterin:	Prof. Dr. Nadja Schott
Mitberichter/in	Prof. Dr. Claudia Voelcker-Rehage
Tag der mündlichen Prüfung:	24.06.2020

Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft der Universität Stuttgart

2020

„Ich kann nur im Gehen denken; sobald ich stehen bleibe, denke ich nicht mehr, mein Kopf arbeitet nur mit den Füßen gleichzeitig.“

Rousseau, Bekenntnisse (Les Confessions), verfasst 1765–1770, posthum veröffentlicht Genf 1782-1789.
Übersetzt von H. Denhart, Philipp Reclam jun., Leipzig o. J. [um 1895]. Originaltext der Übersetzung.

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei denen bedanken, die mir während der vergangenen Zeit mit Rat und Tat zu Seite standen.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Nadja Schott, die nicht nur das Erstgutachten für diese Arbeit erstellt hat, sondern mich in meinem Promotionsvorhaben von Anfang an hervorragend unterstützt hat. Die sehr ausführlichen Gespräche während der Betreuungszeit, die hilfreichen Anregungen und konstruktiven Diskussionen haben maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Auch möchte ich mich sehr für die inhaltlichen Freiräume bedanken, durch die ich viele lehrreiche Erfahrungen und Einblicke sammeln durfte.

Bei Prof. Dr. Claudia Voelcker-Rehage möchte ich mich herzlich für die Bereitschaft bedanken, die Dissertation als Mitberichterin zu bewerten.

Ebenfalls möchte ich mich bei den Mitarbeitern des Arbeitsbereichs Sportpsychologie und Bewegungswissenschaft des Instituts für Sport- und Bewegungswissenschaft (Universität Stuttgart) für den inhaltlichen Austausch, die kritischen Diskussionen und die fruchtbaren Ratschläge bedanken. Hervorzuheben sind dabei Herr Dr. Benjamin Holfelder und Frau Dr. Heide Korbus, ohne deren Anmerkungen und wegweisenden Empfehlungen, ich mich bei der Bearbeitung ungleich schwerer getan hätte.

Der letzte Dankesgruß gilt meiner geliebten Familie für den moralischen Beistand, die Toleranz und die aufopfernden Stunden. Ich danke meinen Eltern und meiner Schwester für die Unterstützung und den Rückenwind während der Promotionsphase. Für die endlose Geduld bin ich besonders meiner Frau Concettina sowie meiner Tochter Morena zu großem Dank verpflichtet. Ich möchte diese Arbeit meiner Familie widmen und ihr damit für alles danken, was sie in den vergangenen Jahren für mich getan hat. Ohne euch alle hätte ich es nicht geschafft. Danke.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	iii
Abbildungsverzeichnis	xii
Tabellenverzeichnis	xvii
Abkürzungsverzeichnis.....	xx
Zusammenfassung	xxiv
Abstract.....	xxviii
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung	2
1.2 Zielstellung.....	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	7
2 Scaffolding Theory of Maturation, Cognition, Motor Performance, and Motor Skill Acquisition (SMART COMPASS)	9
2.1 Wissenschaftstheoretische Überlegungen zur Anlage-Umwelt Diskussion	10
2.2 Erfahrungen im Lebensverlauf.....	11
2.2.1 Anreicherung neuronaler Ressourcen.....	11
2.2.2 Abbau neuronaler Ressourcen	13
2.3 Embodied Cognition	14
2.3.1 Strukturelle und funktionale Veränderungen des Gehirns.....	15
2.3.2 Entwicklungstrajektorien verschiedener kognitiver Bereiche..	19
2.3.3 Repräsentationen	20
2.3.4 Kontrollprozesse	21
2.4 Motorisches Verhalten	23
2.4.1 Potenzial motorisches Lernens.....	24
2.4.2 Motorische Performanz.....	25
2.4.3 Effizienz motorischen Lernens.....	26
2.4.4 Wechselwirkungen zwischen Motorik und Kognition	27

3 Motorisch-kognitive Interferenzen: Theoretische Erklärungsmodelle, aktueller Forschungsstand	29
3.1 Grundgedanke des Doppelaufgabenparadigmas	29
3.2 Theoretische Ansätze zur Erklärung motorisch-kognitiver Interferenzen.....	30
3.2.1 Theorien begrenzter Ressourcen	33
3.2.2 Domänenübergreifendes Wettbewerbsmodell.....	38
3.2.3 U-förmiges nichtlineares Interaktionsmodell.....	39
3.2.4 Integriertes Modell der Aufgabepriorisierung.....	41
3.2.5 Supra-posturale Aufgaben	45
3.2.6 Erregungsabhängige Aktivierung von Ressourcen.....	46
3.3 Doppelaufgabenperformanz bei Kindern und Jugendlichen.....	49
3.3.1 Typisch entwickelte Kinder	49
3.3.2 Kinder mit umschriebener Entwicklungsstörung motorischer Funktionen	54
3.3.3 Kinder mit Down Syndrom	58
3.4 Doppelaufgabenperformanz bei älteren Erwachsenen	65
3.4.1 Typisch entwickelte ältere Erwachsene	65
3.4.2 Ältere Erwachsene mit Parkinson	72
3.4.3 Ältere Erwachsene mit leichter kognitiver Einschränkung.....	80
3.5 Koexistenz von motorischen und kognitiven Beeinträchtigungen	85
4. Forschungsfragen und -annahmen	88
4.1 Kinder mit umschriebener Entwicklungsstörung motorischer Funktionen.....	88
4.2 Kinder mit Down Syndrom	89
4.3 Ältere Erwachsene mit Parkinson.....	90
4.4 Ältere Erwachsene mit leichter kognitiver Einschränkung.....	91
5 Methoden.....	93
5.1 Methodische Herausforderungen	93

5.1.2	Klassifikation der kognitiven Zusatzaufgabe.....	93
5.1.3	Einfluss von Instruktionen auf die Priorisierungsstrategie	96
5.1.4	Berechnung proportionaler Doppelaufgabenkosten	96
5.1.5	Muster motorisch-kognitiver Interferenzen	98
5.1.6	Wahl der Fortbewegungsaufgabe.....	99
5.1.7	Entwicklung einer mobilen Variante des TMT	101
5.2	Untersuchungsmethoden.....	105
5.2.1	Trail-Walking Test (Schott, 2015)	105
5.2.2	Trail-Making Test (Reitan, 1955)	107
5.3	Untersuchungsdurchführung	108
5.3.1	Dauer der Datenerhebung	109
5.3.2	Probandenakquise	110
5.3.3	Ablauf und Durchführung.....	111
5.4	Systematik der Datenanalyse	112
5.4.1	Berechnung der Stichprobenkennwerte	113
5.4.2	Berechnung der Zeiten im TMT und TWT	114
5.4.3	Berechnung der DAK im TMT und TWT	115
5.4.3.1	Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen.....	117
5.4.4	Statistische Verfahren zur Überprüfung der Hypothesen	117
5.4.4.1	ANOVA mit Messwiederholung.....	117
5.4.4.2	Reliabilität der Messwertreihen des TWT	118
5.4.4.3	Diagnostische Güte des TWT	119
5.4.5	Gepoolte Auswertung der Einzelstudien.....	120
5.4.5.1	Auswertung der Daten der Kontrollgruppen	120
5.4.5.2	Metaanalytische Auswertung der Daten	121
5.4.5.2.1	Bewertung der Heterogenität	121
5.4.5.2.2	Gewichtung der Primärstudien auf Grundlage der Modellannahmen.....	122
5.4.5.2.3	Subgruppenanalyse	123

5.4.5.2.4 Ergebnisdarstellung	124
6 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen bei Kindern und älteren Erwachsenen mit motorischer und kognitiver Einschränkung	125
6.1 Umschriebene Entwicklungsstörung motorischer Funktionen (Developmental Coordination Disorder; DCD)	125
6.1.1 Stichprobe	125
6.1.1.1 Soziodemografische Informationen und körperliche Aktivität	125
6.1.1.2 Movement Assessment Battery for Children-2 (MABC-2)	126
6.1.2 Datenanalyse	128
6.1.3 Ergebnisse	128
6.1.3.1 Stichprobencharakteristik	128
6.1.3.2 Trail-Making Test	130
6.1.3.2.1 Zeiten	130
6.1.3.2.2 DAK	131
6.1.3.3 Trail-Walking Test	132
6.1.3.3.1 Zeiten	133
6.1.3.3.2 DAK	134
6.1.3.3.3 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen..	136
6.1.3.4 Vergleich der DAK bei fein- und grobmotorischer Fertigkeit	137
6.1.4 Diskussion	139
6.1.4.1 Einfluss verschiedener motorischer Aufgaben auf die motorisch-kognitiven Interferenzen	139
6.1.4.2 Einfluss verschiedener kognitiver Aufgaben auf die motorisch-kognitiven Interferenzen	142
6.1.5 Limitationen der Studie	146
6.1.6 Schlussfolgerung und Ausblick	146
6.2 Down Syndrom	148

6.2.1 Stichprobe.....	148
6.2.1.1 Soziodemografische Informationen und körperliche Aktivität	148
6.2.1.2 Peabody Picture Vocabulary Test-4 (PPVT-4)	149
6.2.2 Datenanalyse	150
6.2.3 Ergebnisse	151
6.2.3.1 Stichprobencharakteristik.....	151
6.2.3.2 Trail-Making Test	152
6.2.3.2.1 Zeiten	152
6.2.3.2.2 DAK.....	154
6.2.3.3 Trail-Walking Test	155
6.2.3.3.1 Zeiten	156
6.2.3.3.2 DAK.....	157
6.2.3.3.3 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen..	159
6.2.4 Diskussion.....	161
6.2.4.1 Einfluss verschiedener motorischer Aufgaben auf die motorisch-kognitiven Interferenzen	161
6.2.4.2 Einfluss verschiedener kognitiver Aufgaben auf die motorisch-kognitiven Interferenzen	165
6.2.4.3 Allgemeine Diskussion.....	167
6.2.5 Limitationen der Studie	169
6.2.6 Schlussfolgerung und Ausblick.....	169
6.3 Idiopathisches Parkinson-Syndrom	170
6.3.1 Stichprobe.....	170
6.3.1.1 Soziodemografische Informationen, körperliche Aktivität, sturzassoziierte Selbstwirksamkeit und depressive Stimmungslage	171
6.3.1.2 Unified Parkinson Disease Rating Scale (UPDRS)	173
6.3.2 Datenanalyse.....	175
6.3.3 Ergebnisse	175

6.3.3.1 Stichprobencharakteristik.....	175
6.3.3.2 Trail-Making Test	176
6.3.3.2.1 Zeiten	176
6.3.3.2.2 DAK.....	178
6.3.3.3 Trail-Walking Test	179
6.3.3.3.1 Zeiten	179
6.3.3.3.2 DAK.....	181
6.3.3.3.3 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen..	182
6.3.3.4 ROC Analysen	184
6.3.4 Diskussion.....	186
6.3.4.1 Gruppenunterschiede auf Grundlage der Zeiten im TWT	186
6.3.4.2 Gruppenunterschiede auf Grundlage der Interferenzeffekte im TWT	188
6.3.4.3 Allgemeine Diskussion.....	190
6.3.5 Limitationen der Studie	192
6.3.6 Schlussfolgerung und Ausblick.....	193
6.4 Leichte kognitive Beeinträchtigung (Mild Cognitive Impairment).....	195
6.4.1 Stichprobe.....	195
6.4.1.1 Soziodemografische Informationen, körperliche Aktivität und sturzassoziierte Selbstwirksamkeit ...	195
6.4.1.2 Montreal Cognitive Assessment (MoCA)	196
6.4.2 Datenanalyse.....	197
6.4.3 Ergebnisse	198
6.4.3.1 Stichprobencharakteristik.....	198
6.4.3.2 Trail-Making Test	199
6.4.3.2.1 Zeiten	199
6.4.3.2.2 DAK.....	200
6.4.3.3 Trail-Walking Test	201

6.4.3.3.1 Zeiten	202
6.4.3.3.2 DAK	204
6.4.3.3.3 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen..	206
6.4.3.4 ROC Analysen	208
6.4.4 Diskussion.....	209
6.4.4.1 Gruppenunterschiede auf Grundlage der Zeiten und Fehler im TWT	210
6.4.4.2 Gruppenunterschiede auf Grundlage der Interferenzeffekte im TWT	211
6.4.4.3 Allgemeine Diskussion	213
6.4.5 Limitationen der Studie	216
6.4.6 Schlussfolgerung und Ausblick	217
7 Prospektiv geplante Reanalyse	219
7.1 Gepoolte Auswertung der Kontrollgruppen	219
7.1.1 Ergebnisse der Kontrollgruppen aus den 4 Einzelstudien	219
7.1.1.1 Zeiten im TMT	219
7.1.1.2 Zeiten im TWT	220
7.1.1.3 Motorische DAK im TMT und TWT	221
7.1.1.4 Kognitive DAK im TMT und TWT	222
7.1.1.5 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen im TMT und TWT	223
7.1.2 Diskussion zu den Ergebnissen der Kontrollgruppen	226
7.2 Gepoolte Auswertung der 4 Einzelstudien	227
7.2.1 Metaanalytische Betrachtung für den Vergleich zwischen „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden.	227
7.2.1.1 Vergleich zwischen „beeinträchtigten“ und „gesunden“ Probanden im TMT	228
7.2.1.2 Vergleich zwischen „beeinträchtigten“ und „gesunden“ Probanden im TWT	230

7.2.1.3 Vergleich zwischen motorischen und kognitiven DAK im TMT	232
7.2.1.4 Vergleich zwischen motorischen und kognitiven DAK im TWT.....	233
7.2.2 Diskussion zur metaanalytischen Betrachtung der Ergebnisse	234
8 Allgemeine Diskussion zu den Ergebnissen und Methoden	237
8.1 Methodendiskussionen	237
8.1.1 Diskussion des Untersuchungsdesigns und der Stichproben.....	237
8.1.2 Diskussion zu den Untersuchungsmethoden	239
8.1.2.1 Diskussion zur motorischen Aufgabe.....	239
8.1.2.2 Diskussion zur kognitiven Aufgabe	241
8.1.2.3 Diskussion zu den Gütekriterien des TWT.....	243
8.1.3 Diskussion zu den statistischen Methoden.....	246
8.1.3.1 Diskussion zur Imputation fehlender Werte und Ausreißerwerte	246
8.1.3.2 Diskussion zu den Zeiten als Maß für die Leistung im TWT	247
8.1.3.3 Diskussion zur Berechnung der Doppelaufgabenkosten	248
8.1.3.4 Diskussion der Anwendung der Varianzanalysen mit Messwiederholung.....	249
8.2 Grundlagenorientierte Ergebnisdiskussion	250
8.2.1 Diskussion zum Einfluss verschiedener motorischer Aufgaben.....	250
8.2.2 Diskussion zum Einfluss des Schwierigkeitsgrades der kognitiven Aufgabe	252
8.2.3 Diskussion zum Einfluss verschiedener motorischer Aufgaben aus neurophysiologischer Perspektive.....	253

8.2.3.1 Weitere Erklärungsmodelle neurofunktioneller Funktionsstörungen	256
8.3 Anwendungsorientierte Ergebnisdiskussion	258
8.3.1 Diskussion um den Mehrwert von Doppelaufgaben	258
9 Hinweise und Folgerungen für die Forschung und Praxis.....	261
Literaturverzeichnis	265
Anhang	320
A. Eigenständigkeitserklärung	320
B. Einverständniserklärung	321
C. Informationsblatt.....	322
D. Instruktionstext Trail-Walking Test.....	325
E. Instruktionstext Trail-Making Test	326
F. Ergebnisse der Bedingungen des TMT bei „gesunden“ Probanden.....	327
G. Ergebnisse der Bedingungen des TWT bei „gesunden“ Probanden.....	329
H. Ergebnisse der motorischen DAK in fein- (TMT) und grobmotorischer Fertigkeit (TWT) bei „gesunden“ Probanden.....	331
I. Ergebnisse der motorischen DAK in fein- (TMT) und grobmotorischer Fertigkeit (TWT) bei „gesunden“ Probanden.	334

Abbildungsverzeichnis

1. Flussdiagramm für den Aufbau der Arbeit.....	8
2. Integratives Rahmenmodell (SMART COMPASS) (mod. nach Schott & Klotzbier, 2018, S.120).	10
3. Gehirnentwicklung über die Lebensspanne hinweg; Aufstieg und Abstieg durch ressourcenbereichernde (positive) und ressourcenverknappende (negative) Faktoren (Spitzer, 2012, S.298).	13
4. Entwicklung und erfahrungsabhängige Synapsenbildung des menschlichen Gehirns über die Lebensspanne und differenziert nach einfachen und komplexen kognitiven Funktionen (mod. nach Phillips & Shonkoff, 2000, S.188).	16
5. Theoretisch mögliche Entwicklungstrajektorien der Bewegungsrepräsentationen und exekutiven Kontrollprozesse über die Lebensspanne (mod. nach Craik & Bialystok, 2006, S.133).	19
6. Beispielhafte Einteilung der exekutiven Funktionen (erstellt nach Miyake et al., 2000).	21
7. Zusammenfassung der Querschnittsdaten zur kognitiven Leistungsfähigkeit im Alter (mod. nach Park & Reuter-Lorenz, 2009, S.25).	22
8. Entwicklungstrajektorien der kognitiven und motorischen Leistungsfähigkeit über die Lebensspanne (n=120 Daten, Schott & Klotzbier, 2018, S.112).	25
9. Lernpotenzial und Lerneffizienz in Abhängigkeit des Alters (mod. nach Shonkoff et al., 2016; S.15).	26
10. Grundgedanke des Doppelaufgabenparadigmas zur Untersuchung der Aufmerksamkeitsanforderung der Primäraufgabe (mod. nach Abernethy et al., 2001, S.56).	30
11. Überblick der theoretischen Ansätze zur Erklärung motorisch-kognitiver Interferenzen.....	29
12. a. Kahneman´s Modell der Aufmerksamkeit (mod. nach Kahneman, 1973; S.10). b. Die Grafik verdeutlicht, dass zwei Aufgaben (Aufgabe A und B) simultan durchgeführt werden können, wenn die Aufmerksamkeitsanforderungen die verfügbare Aufmerksamkeitskapazität nicht überschreiten. Die Wellenlinien sollen die Möglichkeit einer flexiblen Zuteilung dieser Kapazität verdeutlichen. (mod. nach Magill, 2011, S.197).	34

13. Würfelmodell multipler Ressourcen nach Wickens (mod. nach Wickens, 1984, S.81). 36
14. Gleichmäßigkeit des Gangbildes unter Doppelaufgabenbedingung und kognitiven Aufgaben mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad bei jungen und älteren Erwachsenen. Dynamische Gleichgewichtsaufgabe: Laufen auf einem Laufband (mod. nach Verrel et al., 2009, S.79). Eine höhere Ausprägung auf der y-Achse steht für ein ungleichmäßiges Gangbild. 40
15. Köperschwerpunktverlagerung in Doppelaufgaben bei jungen und älteren Erwachsenen in Abhängigkeit der kognitiven Schwierigkeitsstufe mit statischer Gleichgewichtsaufgabe. Statische Gleichgewichtsaufgabe: Stehen auf einer Kraftmessplatte (mod. nach Huxhold et al., 2006, S.300). 41
16. Verteilung der Stürze bei Personen mit und ohne "Stop Walking While Talking" Ereignis (mod. nach Lundin-Olsson et al., 1997, S.617). Die Autoren konnten zeigen, dass eine Person, welche stehen bleiben muss um eine Unterhaltung zu führen, mit einer Wahrscheinlichkeit von 83% zukünftig wenigstens einmal stürzen wird. 42
17. Priorisierungsstrategien in Abhängigkeit der Komplexität der Umgebungsbedingungen (mod. nach Yogev-Seligman et al., 2012, S.767). 44
18. Zusammenspiel zwischen der individuellen Gleichgewichtsfähigkeit und der wahrgenommenen Gefahreinschätzung der Situation bzw. Umgebungsbedingung in Hinblick auf den Fokus der Aufmerksamkeit (mod. nach Yogev-Seligman et al., 2012, S.767). 44
19. Schematische Darstellung der umgekehrt U-förmigen Beziehung zwischen dem Aktivationsniveau und der Leistungsfähigkeit. Das optimale Aktivationsniveau ist abhängig vom Schwierigkeitsgrad der Aufgabe. (mod. nach Teigen, 1994, S.534). 47
20. Konzeptioneller Rahmen für den Zusammenhang zwischen motorischen und kognitiven Abnahmen im Alter und bei neurodegenerativen Erkrankungen (mod nach Montero-Odasso et al., 2018, S.2). 86
21. Klassifizierung und grafische Darstellung verschiedener Muster motorisch-kognitiver Interferenzen (mod. nach Plummer & Eskes, 2015, S.4). 98
22. Schematische Darstellung des Aufbaus des TWT. b. Schematisch Darstellung des Laufweges beim TWT (Yamada & Ichihashi, 2010, S.388). 102

23. Beispielhafte Darstellung der Laufwege des TWT (W-TMT N = Lauf TMT-Zahlen; W-TMT A = W-TMT mit Zahlen in aufsteigender Reihenfolge; W-TMT B = W-TMT mit alternierenden Zahlen und Buchstaben in aufsteigender Reihenfolge) (Persad et al., 2008, S.1352).	103
24. Weiterentwicklung eines neuropsychologischen Testverfahren (Trail-Making Test; Reitan, 1955, 1958) in eine mobile Variante (Trail-Walking Test; Schott, 2015).	104
25. Banderole mit Hütchen aus einer weiteren Studie mit dem Trail-Dribbling Test (links) (Klotzbier & Schott, in prep.) und Aufbau des TWT-B aus der Studie von Klotzbier und Schott (2017).	106
26. Laufpläne für die Bedingungen des TWT (a.TWT-M, b.TWT-A und c.TWT-B; Streckenlänge jeweils 41 m; mod. nach Klotzbier & Schott, 2017, S.5).	106
27. Bedingungen im Trail-Making Test (a.TMTMotor; b.TMT-A; c.TMT-B). (mod. nach Reitan, 1955).	108
28. Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (TD & DCD) und Bedingungen des modifizierten TMT (TMT-M, TMT-A & TMT-B) auf Grundlage der Zeiten ($***p < .001$, $**p < .01$, $*p < .05$, $T < .10$).	130
29. Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (TD & DCD) und Bedingungen des TWT (TWT-M, TWT-A & TWT-B) auf Grundlage der Zeiten ($***p < .001$, $**p < .01$, $*p < .05$, $T < .10$).	133
30. Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-A auf Grundlage der Zeiten bei TD Kindern und Kindern mit DCD.	136
31. Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-B auf Grundlage der Zeiten bei TD Kindern und Kindern mit DCD.	137
32. Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (DS, TD-CA & TD-MA) und Bedingungen des modifizierten TMT auf Grundlage der Zeiten ($***p < .001$, $**p < .01$, $*p < .05$, $T < .10$).	153
33. Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (DS, TD-CA & TD-MA) und Bedingungen des TWT (TWT-M, TWT-A & TWT-B) auf Grundlage der Zeiten ($***p < .001$, $**p < .01$, $*p < .05$, $T < .10$).	157
34. Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-A auf Grundlage der Zeiten bei Kindern mit DS, TD-MA und TD-CA Kindern.....	160
35. Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-A auf Grundlage der Zeiten bei Kindern mit DS, TD-MA und TD-CA Kindern.....	160
36. Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (PD-PIGD, PD-TD & Kontrolle) und Bedingungen des TMT auf Grundlage der Zeiten ($***p < .001$, $**p < .01$, $*p < .05$, $T < .10$).	177

37. Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (PD-PIGD, PD-TD & Kontrolle) und Bedingungen des TWT (TWT-M, TWT-A & TWT-B) auf Grundlage der Zeiten ($***p < .001$, $**p < .01$, $*p < .05$). 180
38. Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-A auf Grundlage der Zeiten bei PD-PIGD, PD-TD und der Kontrollgruppe..... 182
39. Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-B auf Grundlage der Zeiten bei PD-PIGD, PD-TD und der Kontrollgruppe..... 183
40. Receiver-Operating-Characteristic-Kurve (ROC-Kurven) zur visuellen Darstellung der Fläche unter der Kurve (engl.: Area Under the Curve; AUC). 185
41. Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI) und Bedingungen des TMT (TMT-M, TMT-A & TMT-B) auf Grundlage der Zeiten ($***p < .001$, $**p < .01$). 200
42. Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI) und Bedingungen des TWT auf Grundlage der Zeiten ($***p < .001$, $**p < .01$, $ns =$ nicht signifikant). 204
43. Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-B auf Grundlage der Zeiten bei jungen Erwachsene, älteren Erwachsenen ohne pMCI und älteren Erwachsenen mit pMCI. 206
44. Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-B auf Grundlage der Zeiten bei jungen Erwachsene, älteren Erwachsenen ohne pMCI und älteren Erwachsenen mit pMCI. 207
45. Muster motorisch-kognitiver Interferenzen der Kontrollgruppen („gesunde“ Probanden) im TMT-A..... 223
46. Muster motorisch-kognitiver Interferenzen der Kontrollgruppen („gesunde“ Probanden) im TMT-B..... 224
47. Muster motorisch-kognitiver Interferenzen der Kontrollgruppen („gesunde“ Probanden) im TWT-A. 225
48. Muster motorisch-kognitiver Interferenzen der Kontrollgruppen („gesunde“ Probanden) im TWT-B. 225
49. Forest-Plot für den Vergleich zwischen "beeinträchtigt" vs. "gesund" in den Zeiten des TMT und den Bedingungen als Subgruppen (Abbildung erstellt mit RefMan 5.3 [Computer programm], Cochrane Collaboration, 2014)..... 228
50. Forest-Plot für den Vergleich zwischen "beeinträchtigt" vs. "gesund" in den Zeiten des TWT und den Bedingungen als Subgruppen (Abbildung

erstellt mit RefMan 5.3 [Computer programm], Cochrane Collaboration, 2014).....	230
51. Forest-Plot für den Vergleich zwischen "motorischen" vs. "kognitiven" DAK bei „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden im TMT (Abbildung erstellt mit RefMan 5.3 [Computer programm], Cochrane Collaboration, 2014).	232
52. Forest-Plot für den Vergleich zwischen "motorischen" vs. "kognitiven" DAK bei „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden im TWT (Abbildung erstellt mit RefMan 5.3 [Computer programm], Cochrane Collaboration, 2014).	234
53. Bearbeitungszeiten der Bedingungen des TMT über die Lebensspanne bei typisch entwickelten Probanden.	328
54. Bearbeitungszeiten der Bedingungen des TWT über die Lebensspanne bei typisch entwickelten Probanden.	330
55. Motorische Doppelaufgabenkosten über die Lebensspanne in den Bedingungen des TMT und TWT bei typisch entwickelten Probanden (Kontrollgruppen).....	333
56. Kognitive Doppelaufgabenkosten über die Lebensspanne in den Bedingungen des TMT und TWT bei typisch entwickelten Probanden (Kontrollgruppen).....	336

Tabellenverzeichnis

1. Überblick der Studienprotokolle zu Doppelaufgabenparadigmen bei typisch entwickelten Kindern und Jugendlichen (mod. nach Schott & Klotzbier, 2018, S.114-115).....	50
2. Überblick der Studienprotokolle zu Doppelaufgabenparadigmen bei Kindern mit DCD.....	56
3. Überblick der Studienprotokolle zu Doppelaufgabenparadigmen bei Jugendlichen und Erwachsenen mit DS.....	61
4. Überblicksbeträge zu Doppelaufgaben bei älteren Personen mit Fokus auf die Sturzvorsage.....	69
5. Überblick der Studienprotokolle zu Doppelaufgabenparadigmen bei PD Patienten in der prodromalen und klinischen Phase der Erkrankung (mod. nach Belghali et al., 2017, S. 316).....	76
6. Überblick der Studienprotokolle zu Doppelaufgabenparadigmen bei MCI Patienten in der prodromalen und klinischen Phase der Erkrankung (mod. nach Belghali et al., 2017, S. 310).....	81
7. Aufgabenklassifizierung der kognitiven Zusatzaufgaben (mod. nach Al-Yahya et al., 2011; siehe auch Bayot et al., 2018).....	95
8. Neun potenzielle Muster motorisch-kognitiver Interferenzen (mod. nach Plummer et al., 2013; vgl. Schott, 2017, S. 35).....	99
9. Extremwerte für die Zeiten im TMT	112
10. Extremwerte für die Zeiten im TWT	113
11. Extremwerte für die Zeiten der motorischen und kognitiven DAK (im TMT und TWT).....	113
12. Interpretation der Effektstärke Cohens d (nach Cohen, 1999).....	113
13. Interpretation der Effektstärke partiellen Eta ² (nach Cohen, 1999).....	114
14. Interpretation der ICC Werte (nach Fleiss, 1999).....	118
15. Interpretation der Fläche unter der ROC-Kurve (nach Swets, 1988). .	120
16. Stichprobencharakteristik der Kinder mit und ohne DCD, einschließlich Mittelwerte (Standardabweichung) und Testwerte der Movement ABC-2 (MABC-2)-Testbatterie für Kinder.....	129
17. Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den feinmotorischen Doppelaufgaben (TMT-A, TMT-B) unterteilt in die Gruppen (TD: typisch entwickelte Kinder; DCD: developmental coordination disorder).	131

18. Ergebnisse der Intra-Klassen-Korrelation (ICC) und der absoluten Inter-Trial-Reliabilität (SEM) für alle drei Bedingungen des TWT. 132
19. Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den grobmotorischen Doppelaufgaben (TWT-A, TWT-B) unterteilt in die Gruppen (TD: typisch entwickelte Kinder; DCD: developmental coordination disorder). 135
20. Stichprobencharakteristik der Kinder mit und ohne DS, einschließlich Mittelwerte (Standardabweichung) und Testwerte des PPVT-4 und der Movement ABC-2 (MABC-2)-Testbatterie für Kinder. 151
21. Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den feinmotorischen Doppelaufgaben (TMT-A, TMT-B) unterteilt in die drei Gruppen (DS: Down Syndrom; TD-CA: typisch entwickelte Kinder mit angepasstem chronologischen Alter; TD-MA: typisch entwickelte Kinder mit angepasstem mentalen Alter). 154
22. Ergebnisse der Intra-Klassen-Korrelation (ICC) und der absoluten Inter-Trial-Reliabilität (SEM) für alle drei Bedingungen des TWT. 156
23. Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den grobmotorischen Einzel- und Doppelaufgaben (TWT-A, TWT-B) unterteilt in die drei Gruppen (DS: Down Syndrom; TD-CA: typisch entwickelte Kinder mit angepasstem chronologischen Alter; TD-MA: typisch entwickelte Kinder mit angepasstem mentalen Alter). 158
24. Items der UPDRS zur Klassifikation der Motorsubtypen Tremor-Dominant (TD; Tremor Dominant) und Posturale Instabilität (PIGD; Postural Instability/Gait Difficulty) bei PD-Patienten. 174
25. Stichprobencharakteristik der PD-Patienten differenziert in die Motorsubtypen PD-TD und PD-PIGD, einschließlich Mittelwerte (Standardabweichung) und Testwerte der UPDRS-III. 176
26. Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den feinmotorischen Doppelaufgaben (TMT-A, TMT-B) unterteilt in die drei Gruppen (PD-PIGD: Parkinson-Postural Instability and Gait Difficulty; PD-TD: Parkinson-Tremor Dominant; Kontrolle: ältere Erwachsene ohne Parkinsondiagnose). 178
27. Ergebnisse der Intra-Klassen-Korrelation (ICC) und der absoluten Inter-Trial-Reliabilität (SEM) und die MDC95 für alle drei Bedingungen des TWT in der Untersuchung mit PD-Patienten. 179
28. Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den grobmotorischen Doppelaufgaben (TWT-A, TWT-B) unterteilt in die drei Gruppen (PD-PIGD: Parkinson-Postural Instability and Gait Difficulty; PD-TD: Parkinson-Tremor Dominant; Kontrolle: ältere Erwachsene ohne P).. 181

29. Statistiken und Schwellenwerte der Receiver-Operating-Characteristic-Kurven für den TWT (Geschwindigkeiten im TWT; motorische und kognitive DAK) zur Differenzierung zwischen PD-PIGD, PD-TD und der Kontrollgruppe.	184
30. Stichprobencharakteristik der jungen Erwachsenen, älteren Erwachsenen ohne pMCI und älteren Erwachsenen mit pMCI, einschließlich Mittelwerte (Standardabweichung) und Testwerte des MoCA.....	198
31. Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den feinmotorischen Doppelaufgaben (TMT-A, TMT-B) unterteilt in die drei Gruppen (junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI).	200
32. Ergebnisse der Intra-Klassen-Korrelation (ICC) und der absoluten Inter-Trail-Reliabilität (SEM) und die MDC95 für alle drei Bedingungen des TWT in der Untersuchung mit pMCI.	202
33. Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den grobmotorischen Doppelaufgaben (TWT-A, TWT-B) unterteilt in die drei Gruppen (junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI).	205
34. Statistiken und Schwellenwerte der Receiver-Operating-Characteristic-Kurven für den TWT (absolute Werte; motorische und kognitive DAK) zur Differenzierung zwischen jungen Erwachsenen, älteren Erwachsenen ohne pMCI und älteren Erwachsenen mit pMCI.	208
35. Instruktionstext für die Bedingungen des TWT differenziert nach Erwachsenen und Kindern.....	325
36. Instruktionstext für die Bedingungen des TMT differenziert nach Erwachsenen und Kindern.....	326
37. Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse für die Bedingungen des TMT bei „gesunden“ Probanden aus den 4 Einzelstudien.	327
38. Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse für die Bedingungen des TWT bei „gesunden“ Probanden aus den 4 Einzelstudien.	329
39. Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse für die motorischen DAK in fein- (TMT) und grobmotorischer Fertigkeit (TWT) bei „gesunden“ Probanden aus den 4 Einzelstudien.	331
40. Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse für die motorischen DAK in fein- (TMT) und grobmotorischer Fertigkeit (TWT) bei „gesunden“ Probanden der 4 Einzelstudien.	334

Abkürzungsverzeichnis

A.....	Forschungsannahme
BC.....	Activities Specific Balance
ACC.....	Anterior Cingulate Cortex
AD.....	Alzheimer's Disease
ADL.....	Activities of Daily Living
ANOVA.....	Analysis of Variance
AP.....	Anterior-Posterior
APOE-4.....	Apolipoprotein E - 4
AUC.....	Area Under the Curve
a-MCI.....	Amnesic Mild Cognitive Impairment
BMI.....	Body-Mass-Index
bspw.	beispielsweise
BTT.....	Block-Tapping-Test
bzw.	beziehungsweise
CBGTC.....	Cortico-Basal Ganglia-Thalamo-Cortical
CE.....	Central Executive
CERAD.....	The Consortium to Establish a Registry for Alzheimer's Disease
CHAMPS.....	Community Healthy Activities Model Program for Seniors
d.h.	das heißt
DAK.....	Doppelaufgabenkosten
DCD.....	Developmental Coordination Disorder
DCD-BP	Developmental Coordination Disorders with Balance Problems
DS.....	Down Syndrom
DT.....	Dual Task
DTE.....	Dual Task Effekt
EB.....	Episodic Buffer

ebd.	ebenda
EEG.....	Elektroenzephalografie
EF.....	Exekutive Funktionen
.	
et al.	et alii (dt.: „unter anderem“)
etc.	et cetera (wörtlich: „und die übrigen [Dinge]“)
F.....	Forschungsfrage
fNIRS.....	Nahinfrarotspektroskopie
FR.....	Functional Reach
GAITRite.....	Ganganalysesystem zur Bestimmung von zeitlichen und räumlichen Gangparametern
GDS.....	Geriatric Depression Scale
German PAQ-50+...	German Physical Activity Questionnaire 50+
GMFM.....	Gross Motor Function Measure
HOA.....	Healthy Older Adults
ICC.....	Intra-Class-Correlation
IMD.....	Internal Modeling Deficit
IQ.....	Intelligenzquotient
iRBD.....	Idiopathic Sleep Behavior Disorder
ISI.....	Inter-Stimulus-Intervall
IV.....	Inverse Varianzmethode
LRRK-2.....	Leucine-Rich Repeat Kinase 2
M.....	Mean
MABC.....	Movement Assessment Battery for Children
MAD.....	Mild Alzheimer's Disease
MCAR.....	Missing Completely at Random
MCI.....	Mild Cognitive Impairment
MCI-PD.....	Mild Cognitive Impairment in Parkinson Disease
MDC.....	Minimal Detectable Change

MDRC.....	Movement Disorder Research and Rehabilitation Center
MDS.....	Movement Disorder Society
MET.....	Metabolic Equivalent of Task
ML.....	Medio-lateral
MoCA.....	Montreal Cognitive Assessment
mod. nach.....	modifiziert nach
MPS.....	Mild Parkinsonian Signs
MRT.....	Magnetresonanztomographie
MS Office.....	Microsoft Office
Na-MCI.....	Non Amnestic Mild Cognitive Impairment
OLS.....	One Leg Standing
PD.....	Parkinson Disease
PIGD.....	Postural Instability and Gait Difficulty
PL.....	Phonological Loop
pMCI.....	Probable Mild Cognitive Impairment
PPVT.....	Peabody Picture Vocabulary Test
Q&A.....	Questions & Answers
REB.....	Research Ethics Board
RefMan.....	Review Manager
REM.....	Rapid Eye Movement
SE.....	Standard Error
SEM.....	Standard Error of the Mean
SIT.....	Sustained Information Transfer
SMART COMPASS.....	Scaffolding Theory of Maturation, Cognition, Motor Performance, and Motor Skill Acquisition
SMS.....	Short Message Service
SOK-Model.....	Model of Selection, Optimization and Compensation
SPSS.....	Statistical Package for the Social Sciences
SROC.....	Receiver-Operating-Characteristic

ST.....	Single Task
STM.....	Short-term Memory
TCPS.....	Tri Council Policy Statement
TD.....	Tremor Dominant; Kontextabhängig auch: Typical Developed
TD-CA.....	Typical Developed - Chronological Age
TD-MA.....	Typical Developed - Mental Age
TMS.....	Total Motor Score
TMT.....	Trail-Making-Test
TTS.....	Total Test Score
TUG.....	Timed „Up and Go“
TWT.....	Trail-Walking-Test
u.a.....	unter anderem
UEMF.....	Umschriebene Entwicklungsstörung motorischer Funktionen
UPDRS.....	Unified Parkinson's Disease Rating Scale
VCI.....	Vascular Cognitive Impairment
vgl.	vergleiche
vs.	Versus (dt.: „Gegen“ oder „im Vergleich zu“)
VSS.....	Visuospatial Sketchpad
VSWM.....	Visual-Spatial Working Memory
WHO.....	World Health Organisation
WMD.....	Weighted Mean Difference
WTMT.....	Walking Trail-Making Test
YA.....	Young Adults
z.B.	zum Beispiel

Zusammenfassung

Hintergrund

Eine Vielzahl an Studien mit dem Doppelaufgabenparadigma konnte zeigen, dass die Fortbewegung eines Menschen insbesondere bei Kindern und älteren Erwachsenen und Personen mit motorischer und kognitiver Einschränkung nicht ausschließlich durch automatisierte Prozesse gekennzeichnet ist. Vielmehr sind für die posturale Kontrolle und Fortbewegung die kognitive Leistungsfähigkeit, Aufmerksamkeitsressourcen sowie die EF einer Person von Bedeutung (Woollacott & Shumway-Cook, 2002). Eine Interpretation der Studienergebnisse ist aufgrund der methodischen Variationsvielfalt, der heterogenen Studienprotokolle und der teilweise inkonsistenten Datenlage wesentlich erschwert. Auch werden nicht in allen Studien Doppelaufgabenkosten berichtet. Da die verschiedenen Komponenten der EF unterschiedliche Entwicklungstrajektorien zeigen (Boelema, Harakeh, Ormel, Hartman, Vollebergh, & van Zandvoort, 2014) hängen die Ergebnisse zudem stark von der Wahl der kognitiven und motorischen Aufgabe ab. Bei einem Großteil der Studien ist die konkurrierende Zweitaufgabe darüber hinaus losgelöst von einer zweckmäßigen Umgebung (ökologisch valides Setting) und lassen einen funktionalen Kontext vermissen. Mit der Begründung, dass erste Befunde vorliegen, die überlappende neuronale Netzwerke für die posturale Kontrolle und visuell-räumliche Aufgaben belegen, kann der Einsatz von visuell anspruchsvollen Aufgaben, die das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis (mentale Tracking-Aufgaben) involvieren, empfohlen werden (Menant et al. 2013). Auch die Reife und der Automatisierungsgrad der motorischen Fortbewegungsaufgabe hängen stark vom Schwierigkeitsgrad der Gehaufgabe ab (Higuchi, 2013). Das Gehen mit Richtungswechsel (TWT; Schott, 2015) scheint diesbezüglich eine ökologisch valide Alternative zum Geradeausgehen zu sein. Aufgaben mit einer spezifischen Zielstellung und der Integration von motorischer und kognitiver Aufgabe, wie der in dieser Arbeit zum Einsatz kommende TWT, scheinen den alltäglichen Anforderungen der Personen zu entsprechen.

Studienziele

Aufgrund der Variationsvielfalt methodischer Vorgehensweisen der publizierten Doppelaufgabenstudien erscheinen 1) zentrale theoretische Vorüberlegungen erforderlich, um die methodische Herangehensweise der Einzelstudien zu motorisch-kognitiven Interferenzen im Rahmen dieser Arbeit zu begründen. Aufbauend auf diesen methodischen Überlegungen wird 2) die Entwicklung einer Methode beschrieben, welche ein standardisiertes neuropsychologisches Verfahren (Trail-Making Test, TMT; Reitan, 1955) in eine mobile Variante umsetzt (Trail-Walking Test, TWT; Schott, 2015). Dieser Verfahren wird eingesetzt, um 2) den hypothetisch angenommenen umgekehrt U-förmigen Verlauf der Leistungsfähigkeit über die Lebensspanne zu überprüfen (Krampe, Schaefer, Lindenberger, & Baltes, 2011) und 3) eine Ressourcenzuteilung sowie Muster motorisch-kognitiver Interferenzen sowohl bei gesunden Kindern und älteren Erwachsenen als auch bei Kindern (DCD, DS) und älteren Erwachsenen (PD, MCI) mit motorischen und/oder kognitiven Einschränkungen abzubilden. Darüber hinaus soll 4) der Trail-Walking Test (TWT) als potenzielles Erkennungsinstrument für leichte kognitive Einschränkung (MCI) und 5) zur Quantifizierung von Gangstörungen bei Parkinson (PD) bewertet werden.

Methode

Die Arbeit beinhaltet 4 Einzelstudien und eine prospektiv geplante Reanalyse. Demensprechend wurden die Einzelstudien einheitlich durchgeführt und ausgewertet. Neben den, in den Einzelstudien zum Einsatz kommenden spezifischen Messinstrumenten (MoCA bei MCI; MABC-2 bei DCD; UPDRS-III bei PD und PPVT-4 bei DS) wurde sowohl der Trail-Making Test (TMT) als feinmotorische als auch der Trail-Walking Test (TWT) als grobmotorische Einzel- und Doppelaufgabe mit verschiedenen Schwierigkeitsstufen (rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) eingesetzt. Insgesamt nahmen 245 Probanden teil (Studie 1: DCD, n = 59; Studie 2: DS, n = 36; Studie 3: PD, n = 65 & Studie 4: MCI, n = 85). Die Ergebnisse im TMT und TWT wurden sowohl auf Grundlage der normierten Zeiten als auch auf Grundlage der proportionalen motorischen und kognitiven DAK ausgewertet. Anhand von Streudia-

grammen wurden die verschiedenen Muster motorisch-kognitiver Interferenzen grafisch gegenübergestellt. Die Ergebnisse der Einzelstudien wurden mit dem Ziel einer quantitativen Zusammenfassung gepoolt und mithilfe von Forest-Plots grafisch dargestellt. Für den Vergleich zwischen „motorischen“ und „kognitiven“ DAK für den TMT bzw. TWT, wurden „gesunde“ und „beeinträchtigte“ Probanden als Subgruppen herangezogen und auf Grundlage der proportionalen DAK im TMT und TWT berechnet. Für den Vergleich zwischen „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden für den TMT bzw. TWT, wurden die verschiedenen Bedingungen (rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) als Subgruppen herangezogen und auf Grundlage der normierten Zeiten berechnet.

Hauptergebnisse

Die Ergebnisse der Einzelstudien weisen im Allgemeinen darauf hin, dass es sich bei fein(TMT)- und grobmotorischen(TWT) Fertigkeiten um nicht automatisierte Fertigkeiten handelt, die durch sekundäre kognitive Aufgabenbedingungen deutlich beeinflusst werden. Basierend auf den Schwierigkeiten bei gesunden Kindern und älteren Erwachsenen in den verschiedenen, entwicklungsabhängigen Domänen der EF, einschließlich Arbeitsgedächtnis, inhibitorischer Kontrolle, Aufmerksamkeit sowie der im Rahmen dieser Arbeit zum Einsatz kommenden Doppelaufgaben (TMT-A & B; TWT-A & B), kann ein hypothetisch angenommener umgekehrt U-förmiger Verlauf der Leistungsfähigkeit über die Lebensspanne bestätigt werden (vgl. Krampe et al., 2011). Personen mit motorischer und kognitiver Einschränkung haben deutlich erhöhte Bearbeitungszeiten in den Doppelaufgaben sowie erhöhte proportionale DAK. Die Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen deuten studienübergreifend (größtenteils) auf wechselseitige Interferenzen mit höheren kognitiven im Vergleich zu motorischen Interferenzen hin. Basierend auf den Ergebnissen und in Bezug auf die Sensitivität und Spezifität des Trail-Walking Tests kann erwartungsgemäß mit der rein motorischen Bedingung (TWT-M) und auf Grundlage der Zeiten eine Differenzierung in die PD-Motorsubtypen vorgenommen werden. Demgegenüber kann der Einsatz des TWT mit erhöhter kognitiver Belastung (TWT-B) als Marker eines prodromalen Stadiums der Demenz empfohlen werden.

Schlussfolgerung

Die vermuteten Unterschiede in den Zeiten und den proportionalen motorischen und kognitiven DAK unter aufmerksamkeitsanfordernden Doppelaufgaben konnten, zwischen Kindern mit und ohne motorische und kognitive Einschränkung sowie zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne motorische und kognitive Einschränkung, weitestgehend bestätigt werden. Der TWT ist eine gut durchführbare, reliable und ökologisch valide Doppelaufgabe. Auf Grundlage der Ergebnisse der Intra-Klassen-Korrelation und der absoluten Inter-Trail-Reliabilität kann der TWT als geeignetes und zuverlässiges Verfahren gesehen werden, um zwischen gestürzten und nichtgestürzten Personen (Schott, 2015), zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI (Studie 4) sowie zwischen PD-Patienten mit posturaler Instabilität (PD-PIGD) und gesunden älteren Erwachsenen (Studie 3) zu unterscheiden. Um noch deutlichere Gruppenunterschiede zu zeigen, sind vermutlich andere Maße (nicht ausschließlich die an der Länge des TWT normierten Zeiten) nötig. Bei der Bewertung der kognitiven Leistung dürfen Fehlermaße nicht unberücksichtigt bleiben und verschiedene Entscheidungsprozesse innerhalb einer kognitiven Aufgabe müssen differenzierter betrachtet werden. Gangparameter und deren Veränderungen könnten eine differenziertere Aussage der motorischen Unterschiede ermöglichen (Maetzler & Hausdorff, 2012; Belghali, Chastan, Cignetti, Davenne, & Decker, 2017) und auch die Prognose der Progression neurodegenerativer Erkrankungen (bspw. MCI oder PD) verbessern. Gangparameter sind mit Mobilitätseinschränkungen, Stürzen sowie gesundheitlichen Folgen assoziiert. Vor diesem Hintergrund ist es naheliegend in zukünftigen Studien und in Abhängigkeit der Fragestellung die motorische Leistung bei Fortbewegungsaufgaben durch geeignete Gangparameter und andere kinematische Gangdaten differenzierter zu bewerten. Schließlich sind Untersuchungen neuronaler Korrelate (EEG, fNIRS) notwendig, um den Zusammenhang zwischen der kognitiven und motorischen Leistungsfähigkeit und die genauen Mechanismen unter Doppelaufgabenbedingung zu untersuchen.

Abstract

Background

Many studies with the dual task paradigm have shown that the locomotion, especially in children and older adults and persons with motor and cognitive impairments, is not exclusively characterized by automated processes. For postural control and locomotion, specially cognitive performance, attention resources, and EF of a person are important (Woollacott & Shumway-Cook, 2002). An interpretation of study results is considerably more difficult due to the methodological variety, the heterogeneous study protocols and the partly inconsistent data. Also, not all studies report dual task costs (DTC). Since the different components of EF show different developmental trajectories (Boelema, Harakeh, Ormel, Hart-man, Vollebergh, & van Zandvoort, 2014), the results strongly depend on the choice of cognitive and motor tasks. Furthermore, in the majority of studies, the secondary cognitive task is detached from a functional environment and context (ecologically valid setting). The use of visually challenging tasks involving visual-spatial working memory (mental tracking tasks) can be recommended on the grounds that initial findings are available that demonstrate overlapping neural networks for postural control and visual-spatial tasks (Menant et al. 2013). Furthermore the maturity and the degree of automation of the locomotion task strongly depend on the degree of difficulty of the walking task (Higuchi, 2013). Walking with Change-of-Direction (TWT; Schott, 2015) seems to be an ecologically valid alternative to walking straight ahead. Tasks with a specific goal and the integration of motor and cognitive tasks, such as the TWT used in this work, seem to correspond to the everyday needs of people.

Objectives

Due to the variety of methodological approaches of the published dual task studies, 1) central theoretical considerations appear necessary, in order to justify the methodological approach of the individual studies within the scope of this thesis. Based on these methodological considerations, 2) the development of a method is described which converts a standardized neuropsychological procedure (Trail-Making Test,

TMT; Reitan, 1955) into a mobile variant (Trail-Walking Test, TWT; Schott, 2015). This method is used to 2) test the hypothetically assumed inverted U-shaped course of performance over the lifespan (Krampe et al., 2011) and 3) to map resource allocation and patterns of motor-cognitive interference in healthy children and older adults, as well as in children (DCD, DS) and older adults (PD, MCI) with motor and/or cognitive impairment. In addition, 4) the Trail-Walking Test (TWT) will be evaluated as a potential detection tool for mild cognitive impairment (MCI) and 5) for the quantification of Parkinson's gait disorders (PD).

Method

The thesis includes 4 individual studies and a prospectively planned reanalysis. Accordingly, the individual studies were uniformly carried out and evaluated consistently. In addition to the specific instruments used in the individual studies (MoCA for MCI; MABC-2 for DCD; UPDRS-III for PD and PPVT-4 for DS), both the Trail-Making-Test (TMT) as a fine motor, and the Trail-Walking-Test (TWT) as a gross motor single and dual task were used with different difficulty levels (motor, numbers, numbers and letters). A total of 245 subjects participated (study 1: DCD, $n = 59$; study 2: DS, $n = 36$; study 3: PD, $n = 65$ & study 4: MCI, $n = 85$). The results in TMT and TWT were evaluated both on the basis of normalized times and on the basis of proportional motor and cognitive dual task DTC. Using scatter diagrams, the various patterns of motor-cognitive interference were graphically compared. The results of the individual studies were pooled with the aim of a quantitative summary and graphically presented using Forest plots. For the comparison between "motor" and "cognitive" DTC for TMT and TWT, "healthy" and "impaired" subjects were used as subgroups and calculated on the basis of the proportional DTC in the TMT and TWT. For the comparison between "healthy" and "impaired" subjects for TMT and TWT, respectively, the different conditions (purely motor, numbers, numbers and letters) were used as subgroups and calculated on the basis of the normalized times.

Key findings

The results of the individual studies generally indicate that fine-(TMT) and gross motor (TWT) skills are non-automated skills that are significantly influenced by secondary cognitive task conditions. Based on the difficulties experienced by healthy children and older adults in the various development-dependent domains of EF, including working memory, inhibitory control, attention and the dual tasks used in this work (TMT-A & B; TWT-A & B), a hypothetically assumed inverted U-shaped course of performance over the lifespan can be confirmed (see Krampe et al., 2011). People with motor and cognitive impairments have significantly increased times in the dual tasks as well as increased proportional DTC. The patterns of motor-cognitive interference across studies (mostly) point to mutual interference with higher cognitive interference compared to motor interference. Based on the results and with regard to the sensitivity and specificity of the Trail-Walking-Test, a differentiation into PD motor subtypes can be made as expected with the pure motor condition (TWT-M) and on the basis of times. In contrast, the use of TWT with increased cognitive load (TWT-B) as a marker of a prodromal stage of dementia can be recommended as expected.

Conclusion

The assumed differences in time and proportional motor and cognitive DTCs among attention demanding dual tasks were largely confirmed between children with and without motor and cognitive impairment and between older adults with and without motor and cognitive impairment. The TWT is a well feasible, reliable and ecologically valid dual task. Based on the results of intra-class correlation and absolute inter-trial reliability, the TWT can be considered a suitable and reliable method to distinguish between fallers and non-fallers (Schott, 2015), between older adults with and without pMCI (study 4), and between PD patients with postural instability (PD-PIGD) and healthy older adults (study 3). In order to show clearer group differences, probably other measures (not exclusively the times normalized to the length of the TWT) are necessary. When assessing cognitive performance, error measures must not be disregarded and different decision-making processes within a cognitive task must be considered in a more differentiated way. Gait parameters and their changes could

allow a more differentiated statement of motor differences (Maetzler & Hausdorff, 2012; Belghali et al., 2017) and also improve the prognosis of the progression of neurodegenerative diseases (e.g. MCI or PD). Gait parameters are associated with mobility impairments, falls and health consequences. Against this background, it is obvious that in future studies and depending on the research question, motor performance during locomotion will be evaluated more differentiated by suitable gait parameters and other kinematic gait data. Finally, investigations of neuronal correlates (EEG, fNIRS) are necessary to investigate the relationship between cognitive and motor performance and the exact mechanisms under dual task conditions.

1 Einleitung

Im alltäglichen Leben gibt es viele Situationen, in denen verschiedene Aufgaben gleichzeitig durchgeführt werden müssen. Die Fähigkeit, verschiedene Aufgaben simultan ausführen zu können hat in den letzten Jahren, durch die zunehmende Nutzung mobiler Telefone und deren Anwendungen entsprechend an Bedeutung gewonnen. Während einem Spaziergang ein Gespräch führen, ist eine beispielhafte Kombination aus sensomotorischer und kognitiver Aufgabe (Lundin-Olsson, Nyberg & Gustafson, 1997). Das Reden (Neider, Gaspar, McCarley, Crowell, Kaczmarek, & Kramer, 2011) oder SMS schreiben (Hyong, 2015) auf einem mobilen Telefon, während man eine Straße überquert oder Auto fährt (Drews, Yazdani, Godfrey, Cooper, & Strayer, 2009; Ierena et al., 2015; Strayer & Drews, 2007; Strayer & Johnston, 2001) sind gerade bei jüngeren Personen Beispiele für typische Alltagssituationen.¹ Im Sport liegt es oft in der Natur der Sache selbst, dass verschiedene konkurrierende Aufgaben simultan durchgeführt werden müssen (Gabbett, Wake, & Abernethy, 2011; Gray, 2004; Leavitt, 1979; Smith & Chamberlin, 1992; Vuillerme & Nougier, 2004).²

Zum Problem werden solche Aufgaben, wenn es durch das simultane Bearbeiten der verschiedenen Aufgaben zu Leistungseinbußen in den einzelnen Aufgaben kommt. Im Straßen- bzw. Personenverkehr ist die Tragweite und Bedeutung solcher Einbußen klar ersichtlich. Im sportspezifischen Kontext ist die Fähigkeit, zwei Aufgaben gleichzeitig zu erledigen, Grundvoraussetzung für das Erreichen eines soliden Leistungsniveaus.

Bei Kindern ist innerhalb der Schule die Art und Weise, wie der Zusammenhang von Lehren und Lernen organisiert wird entscheidend für eine optimale und kindgemäße

¹ Gerade multifunktionale technische Systeme sind oft nicht einfach zu bedienen und nicht nur ältere Menschen haben häufig große Probleme mit der Handhabung neuer Technologien. Das Verständnis der grundlegenden Mechanismen ist Voraussetzung zur Konstruktion benutzerfreundlicher Mensch - Maschinen Interaktionen.

² Anfänger müssen beispielsweise beim Erlernen verschiedener Fertigkeiten viel Aufmerksamkeit zuwenden und sind somit nicht in der Lage gleichzeitig das Spielgeschehen und die Laufwege der eigenen oder der gegnerischen Mitspieler zu beobachten (Boutcher, 2002). Durch Training und viel Übung wird die Fertigkeit jedoch vermehrt automatisiert, was dazu führt, dass „der Kopf frei wird“ für die Bearbeitung einer zweiten Aufgabe (Blischke, 2001; Logan, 1988).

Förderung. Gemeint sind die Methoden des Unterrichtens und die Gestaltung der Lernsituation allgemein. Es geht darum, wie der Unterricht gestaltet werden muss, um Kinder nicht zu überfordern und differenziert auf die Individualität des einzelnen Kindes eingehen zu können. Gerade bei Menschen mit besonderen Unterstützungsbedürfnissen (z.B. bei Kindern mit einer umschriebenen Entwicklungsstörung motorischer Funktionen oder kognitiven Einschränkungen wie Down Syndrom) scheint dieser Aspekt entscheidend. Durch das Wissen der aufgabenspezifischen Interferenzen bei der simultanen Bearbeitung verschiedener Aufgaben können detaillierte und individuell gerichtete Handlungsempfehlungen gegeben werden.

Neben der angesprochenen Gestaltung der Lernsituationen sind insbesondere die Ursachen und Folgen von Stürzen in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus verschiedener Forschungsdisziplinen, Öffentlichkeit und Politik gerückt (Lohmann-Haislah, 2012). Speziell bei älteren Personen, wird das Sturzrisiko durch eine konkurrierende Zweitaufgabe deutlich erhöht (Beurskens & Bock, 2012b). In Hinblick auf den sich seit längeren abzeichnenden demografischen Wandel wird die Brisanz der Sturzthematik zugleich offensichtlich (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2010). Angesichts der Tatsache, dass ein Drittel der Personen über 65 Jahre (Hausdorff, Rios, & Edelberg, 2001) und die Hälfte der über 85 Jahre alten Personen (Inouye, Brown, & Tinetti, 2009) mindestens einmal jährlich stürzen, kann dies als ein allgemeines gesellschaftliches Problem gesehen werden. Unter anderem, da die Kosten zur Behandlung von sturzbedingten Verletzungen enorm auf das Sozial- und Gesundheitswesen einwirken (Heinrich, Rapp, Rissmann, Becker, & König, 2010).

1.1 Problemstellung

Die genannten Beispiele und Problematiken aus den verschiedenen Handlungsfeldern des Gesundheitswesens, der schulischen Ausbildung und des Sports verdeutlichen die enorme gesellschaftliche Relevanz dieser Thematik. Zugleich wird deutlich, dass verschiedene Wissenschaftsdisziplinen sich dem Thema der simultanen Aufgabenbearbeitung aus ihren jeweiligen Blickwinkeln annehmen müssen. Die verschiedenen Disziplinen haben das Thema bisher zu großen Teilen eigenständig und

unabhängig voneinander bearbeitet. Während sich die Kognitive Psychologie hauptsächlich mit strukturellen und funktionellen Einschränkungen und der Anpassungsfähigkeit bei simultaner Aufgabenbearbeitung beschäftigt hat, liegt das Interesse der Bewegungswissenschaft in erster Linie bei Fragestellungen zum motorischen Lernen, des Trainings und der Bewegungsautomatisierung. Diese fundamental unterschiedlichen Blickwinkel beider Forschungsfelder überschneiden sich in den meisten Untersuchungen bislang nur unzureichend, weshalb eine Integration und interdisziplinäre Verbindung notwendig erscheint.

Die Art und Weise wie Menschen verschiedene Aufgaben simultan bearbeiten wird von vielen Faktoren beeinflusst. Um welche grundlegenden Faktoren³ es sich hierbei handelt, wird aus der theoretischen Aufarbeitung des Forschungsstandes der vorliegenden Arbeit ersichtlich und unterstreicht dadurch die Forderung nach interdisziplinärer Zusammenarbeit. Gleichzeitig zeigt die Aufarbeitung zum Stand der Forschung bezüglich der publizierten Doppelaufgabenstudien im Kindes- und Jugendalter sowie im älteren Erwachsenenalter, dass – aufgrund der methodischen Variationsvielfalt, der heterogenen Studienprotokolle und den teilweise inkonsistenten Ergebnissen – eine Interpretation wesentlich erschwert ist. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer, in Abhängigkeit der Fragestellung, methodisch differenzierten Überlegung bei der Konzeption von Studien mit dem Doppelaufgabenparadigma.

1.2 Zielstellung

Zentrale Annahme einer Vielzahl an Studien mit dem Doppelaufgabenparadigma und Untersuchungen zu motorisch-kognitiven Interferenzen ist, dass Aufmerksamkeitsressourcen begrenzt sind (Kahneman, 1973; Wickens, 1991). Wenn diese Ressourcen durch die parallele Bearbeitung zweier Aufgaben geteilt werden müssen, kommt es aufgrund eines Ressourcenwettbewerbs zu Leistungseinbußen im Vergleich zur

³ Training bzw. Übung (Liepelt, Strobach, Frensch, & Schubert, 2011), das Alter (Kray & Lindenberger, 2000; Lawo, Philipp, Schuch, & Koch, 2012; Riby, Perfect, & Stollery, 2004; Baltes & Baltes, 1989), der affektive Gemütszustand (Dreisbach & Goschke, 2004), die Art der Aufgabe (Oberauer & Kliegl, 2006) sowie Gruppenprozesse (Hertel & Scholl, 2006) sind mögliche Einflussfaktoren, um nur einige Faktoren und Untersuchungen zu nennen.

separaten Durchführung der einzelnen Aufgaben (Abenethy, 1988). Leistungseinbußen sollten daher bei Kindern, älteren Personen und vor allem bei Personen mit motorischen und/oder kognitiven Einschränkungen am höchsten ausfallen. Aus diesem Grund wird ein hypothetisch angenommener umgekehrt U-förmiger Verlauf der Leistungsfähigkeit über die Lebensspanne überprüft (Krampe et al., 2011) und eine Ressourcenzuteilung sowie Muster motorisch-kognitiver Interferenzen sowohl bei gesunden Kindern und älteren Erwachsenen als auch bei Kindern und älteren Erwachsenen mit motorischen und/oder kognitiven Einschränkungen abgebildet.

Um die Ergebnisse der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen besser einordnen zu können, wird eingangs ein Modell zu den motorisch-kognitiven Zusammenhängen und deren Entwicklung über die Lebensspanne vorgestellt (Kapitel 2; SMART COMPASS; Schott & Klotzbier, 2018). Aufgrund der Variationsvielfalt methodischer Vorgehensweisen der publizierten Doppelaufgabenstudien sowie der enormen Heterogenität der darin enthaltenen Studienprotokolle erscheinen einige zentrale methodische Vorüberlegungen erforderlich, um die methodischen Herangehensweisen der Untersuchungen zu motorisch-kognitiven Interferenzen theoretisch zu begründen. Zunächst wird ein narrativer Überblick (Kapitel 5.1) entscheidender Faktoren gegeben, welche bei der Konzeption von Doppelaufgabenstudien berücksichtigt werden müssen. Aus dem Grundgedanken des Doppelaufgabenparadigmas (Kapitel 3.1) und den theoretischen Ansätzen zur Erklärung motorisch-kognitiver Interferenzen (Kapitel 3.2) wird die Entwicklung einer Methode beschrieben (Kapitel 5.1.7), welche ein standardisiertes neuropsychologisches Verfahren (Trail-Making-Test, TMT; Reitan, 1955) in eine mobile Variante umsetzt (Trail-Walking-Test, TWT; Schott, 2015) und in verschiedenen Populationen zum Einsatz kommt (Kapitel 5.2.1). In erster Linie soll es darum gehen, die methodischen Schwächen bei der Umsetzung in Studien mit dem Doppelaufgabenparadigma zu umgehen und theoretisch begründbare Stärken, wie die der ökologischen Validität, in das Verfahren zu integrieren.

Mit einer ersten Studie wird die Automatisierungs-Defizit-Hypothese (Fawcett & Nicolson, 1992) mithilfe eines Doppelaufgabenparadigmas bei Kindern mit umschriebener Entwicklungsstörung motorischer Funktionen (UEMF; engl.: developmental

coordination disorder; im weiteren Verlauf mit DCD abgekürzt) geprüft. Es wird gezeigt, wie verschiedene Schwierigkeitsstufen einer kognitiven Aufgabe fein- (TMT; Reitan, 1985; Kapitel 5.2.2) und grobmotorische (TWT; Schott, 2015; Kapitel 5.2.1) Leistungen beeinflussen. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass (1) Individuen mit DCD im Vergleich zu typisch entwickelten Kindern, insbesondere unter komplexeren, aufmerksamkeitsanfordernden motorischen und kognitiven Aufgaben, proportional höhere Leistungseinbußen zeigen. (2) Basierend auf den Schwierigkeiten bei Kindern mit DCD in den verschiedenen Domänen der exekutiven Funktionen (im weiteren Verlauf mit EF abgekürzt), einschließlich Arbeitsgedächtnis, inhibitorischer Kontrolle und der Aufmerksamkeit (Wilson, Ruddock, Smits-Engelsman, Polatajko, & Blank, 2013), wird vermutet, dass Kinder mit DCD im Vergleich zu typisch entwickelten Kindern im TMT-B/TWT-B mit hoher kognitiver Belastung schlechter abschneiden. (3) Auch im TMT-A/TWT-A mit reduzierter kognitiver Belastung wird erwartet, dass Kinder mit DCD schlechter abschneiden, dies allerdings in geringerem Maße. (4) Darüber hinaus wird ein Alterseffekt vermutet und erwartet, dass ältere Kinder aufgrund der Entwicklung der EF geringere Doppelaufgabenkosten (DAK) aufweisen als jüngere Kinder (Krampe et al., 2011).

In einer zweiten Studie werden Auswirkungen sekundärer, kognitiver Aufgaben auf die Ausführung fein- und grobmotorischer Aufgaben bei typisch entwickelten Kindern und Kindern mit Down Syndrom (im weiteren Verlauf mit DS abgekürzt) untersucht. (1) Aufgrund der Einschränkungen (Grieco, Pulsifer, Seligsohn, Skotko, & Schwartz, 2015) bei Kindern mit DS insbesondere bei komplexen, aufmerksamkeitsanfordernden motorischen und kognitiven Aufgaben werden unterschiedliche Muster motorisch-kognitiver Interferenzen bei gleichaltrigen Kindern mit und ohne DS erwartet. (2) Mit Zunahme der Komplexität der kognitiven Zusatzaufgabe wird erwartet, dass dieser Unterschied deutlicher ausfällt. (3) Darüber hinaus wird die Vermutung aufgestellt, dass sich Kinder mit DS und Kindern mit demselben mentalen Alter – der Entwicklungsverzögerungshypothese zufolge (Zigler, 1969) – nicht unterscheiden. Ziel der dritten Studie ist es, die Muster motorisch-kognitiver Interferenzen im TWT bei Personen mit Parkinson Erkrankung (engl.: Parkinson Disease; im weiteren Verlauf mit PD abgekürzt) zu prüfen. (1) Es wird vermutet, dass Individuen mit PD im

Vergleich zu gesunden gleichaltrigen Erwachsenen, insbesondere unter komplexeren, aufmerksamkeitsanfordernden kognitiven Aufgaben, höhere proportionale DAK zeigen. (2) Auch werden höhere proportionale DAK im Motorsubtyp PIGD (Postural Instability and Gait Difficulty) im Vergleich zu TD Phänotyp (Tremor Dominant) und gleichaltrigen gesunden Erwachsenen angenommen. (3) Basierend auf den Schwierigkeiten von PD-Patienten (insbesondere PIGD) bei der Automatisierung von Fortbewegungsaufgaben und Schwierigkeiten in verschiedenen Domänen der EF (kognitive Flexibilität; Belghali et al., 2017) wird erwartet, dass PIGD-Patienten im TWT mit hoher kognitiver Belastung (TWT-B) schlechter abschneiden im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen. Im TWT-A mit reduzierter kognitiver Belastung wird ebenfalls erwartet, dass PIGD-Patienten schlechter abschneiden, dies allerdings in geringerem Maße. Je komplexer die kognitive Aufgabe, desto größer sollten demnach die Gruppenunterschiede ausfallen. (4) Bezüglich der Priorisierungsstrategien wird angenommen, dass PIGD-Patienten, ohne explizite Instruktion zur Priorisierung, eine „Posture Second“-Strategie zeigen und die motorische Aufgabe vernachlässigen (Bloem, Grimbergen, van Dijk, & Munneke, 2006). (5) Außerdem wird geprüft, ob mithilfe des TWT eine Differenzierung in die Motorsubtypen (PIGD vs. TD) und eine Quantifizierung der Gangstörungen möglich ist (Receiver-Operating-Characteristic Analysen; ROC Analysen).

Im Rahmen der vierten Untersuchung wird der Zusammenhang zwischen dem Gehen und der kognitiven Leistung im TWT bei Personen mit leichter kognitiver Einschränkung (engl.: Mild Cognitive Impairment; im weiteren Verlauf mit MCI abgekürzt) geprüft. Hierbei soll der TWT als potenzielles Früherkennungsverfahren für MCI bewertet werden. Es wird erwartet, dass (1) insbesondere bei komplexen, aufmerksamkeitsanfordernden motorischen und kognitiven Aufgaben, Personen mit MCI im Vergleich zu jüngeren Erwachsenen und einer altersgleichen Kontrollgruppe ohne MCI höhere proportionale DAK zeigen. Basierend auf den Defiziten älterer Personen mit MCI in den verschiedenen kognitiven Bereichen, einschließlich Arbeitsgedächtnis, inhibitorischer Kontrolle, kognitiver Flexibilität und Aufmerksamkeit, wird angenommen, dass (2) ältere Personen mit MCI im TWT-A (geringe kognitive Belastung) und TWT-B (hohe kognitive Belastung) schlechter abschneiden. (3) Speziell im

TWT-B wird erwartet, dass aufgrund des erhöhten Schwierigkeitsgrades der kognitiven Zusatzaufgabe größere Interferenzen entstehen.

Die Ergebnisse der vier Einzelstudien werden in Kapitel 7 miteinander verglichen. Hierfür wurden die Daten gepoolt und gemeinsam ausgewertet. Die Zusammenfassung der Einzelstudien und eine gemeinsame Auswertung waren bereits bei der Planung der Arbeit vorgesehen. Dementsprechend wurden die Einzelstudien einheitlich durchgeführt (Kapitel 5.2) und ausgewertet (Kapitel 5.4). Es wird erwartet, dass (1) die „gesunden“ Probanden aus den Einzelstudien (Kontrollgruppen) einen umgekehrt U-förmigen Verlauf über die Lebensspanne in den Leistungen im TMT und TWT zeigen und, dass (2) insbesondere bei komplexen, aufmerksamkeitsanfordernden motorischen und kognitiven Aufgaben, die jüngsten Kinder im Vergleich zu allen anderen Kontrollgruppen schlechter abschneiden (geringere Bearbeitungszeiten im TMT und TWT) sowie (3) höhere proportionale motorische und kognitive DAK zeigen. Es wird vermutet, dass (4) junge Erwachsene die schnellsten Bearbeitungszeiten und (5) die geringsten motorischen und kognitiven DAK aufweisen.

Bei einem Vergleich zwischen „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden wird erwartet, dass (6) „gesunde“ Probanden sowohl im TMT, als auch im TWT besser abschneiden und (7) aufgabenübergreifend geringere motorische und kognitiven DAK haben. (8) Mit Zunahme der kognitiven Aufmerksamkeitsanforderungen (Bedingungen: rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) wird der Unterschied zwischen „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden größer.

1.3 Aufbau der Arbeit

In Abbildung 1 wird die Struktur der Arbeit veranschaulicht. Der Schwerpunkt der Darstellung bezieht sich auf den Grundgedanken des Doppelaufgabenparadigmas (3.1) und der Herleitung der im Rahmen dieser Arbeit zum Einsatz kommenden methodischen Vorgehensweise. Auf Grundlage der spezifischen Erklärungsansätze der verschiedenen Muster motorisch-kognitiver Interferenzen (3.2) und dem aktuellen Forschungsstand (3.3 & 3.4) werden methodische Herausforderungen beschrieben (5.1). Im Anschluss wird eine Methode vorgeschlagen (5.2.1), die im weiteren Verlauf

in den 4 Einzelstudien (Kapitel 6) zum Einsatz kommt. In Kapitel 7 erfolgt die prospektiv geplante Reanalyse der gepoolten Daten. In Kapitel 8 erfolgt die Methoden (8.1)- und Ergebnisdiskussion (8.2 & 8.3). Aus den Diskussionen resultieren die Hinweise und Folgerungen für die Forschung und Praxis (Kapitel 9). Den Abschluss bildet das Kapitel 11 mit einer Zusammenfassung und Ausblick.

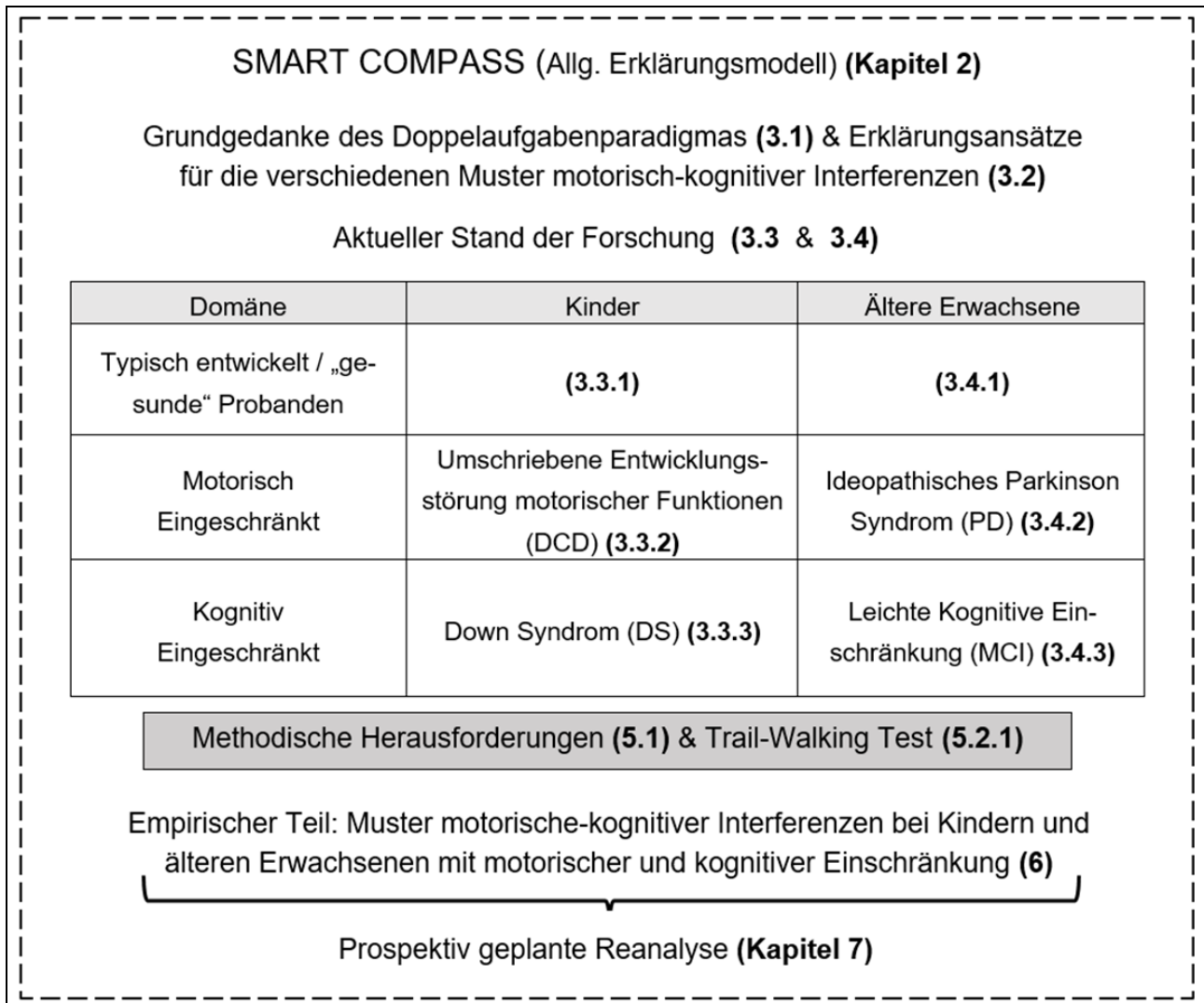


Abb. 1: Flussdiagramm für den Aufbau der Arbeit.

2 Scaffolding Theory of Maturation, Cognition, Motor Performance, and Motor Skill Acquisition (SMART COMPASS)

Auf der Suche nach einer allgemeinen Erklärung von motorisch-kognitiven Zusammenhängen und deren Entwicklung über die Lebensspanne, soll ein integratives Rahmenmodell vorgestellt werden, welches die Interaktion zwischen der Kognition, der motorischen Leistung und den unterschiedlichen Einflüssen im Lebensverlauf darstellt: Scaffolding Theory of Maturation, Cognition, Motor Performance, and Motor Skill Acquisition (SMART COMPASS; Schott & Klotzbier, 2018; siehe Abbildung 2). Dieser konzeptionelle Rahmen erlaubt eine Bewertung und Vorhersage der menschlichen Leistung vom Kindesalter bis in das hohe Erwachsenenalter. Die Komponenten und die Merkmale des vorgeschlagenen Modells stammen aus drei verschiedenen Forschungsrichtungen. Es kombiniert die „Scaffolding Theory of Aging“ (Reuter-Lorenz & Park, 2014) mit dem integrativen Rahmenmodell zur Entwicklung der Kognition, des motorischen Lernens und der motorischen Fertigkeiten im frühen und späten Erwachsenenalter nach Ren, Wu, Chan und Yan (2013). Die „Scaffolding Theory of Aging“ untersucht, wie verschiedene strukturelle Veränderungen des Gehirns mit den kognitiven Funktionen zusammenhängen und wie diese durch Lebensstilfaktoren beeinflusst werden. Das Rahmenmodell nach Ren et al. (2013) postuliert, dass signifikante Veränderungen der motorischen Leistung und des Lernens durch kognitive Funktionen erklärt werden können. Darüber hinaus ist das vorgeschlagene Rahmenkonzept durch ein drittes Forschungsprogramm, der „Embodied Cognition“ (dt.: „leiblich verankerte Kognition“ oder „verkörperlichtes Denken“), beeinflusst. Eine grundlegende Forderung der Embodimentperspektive ist es, die kognitiven Variablen ausdrücklich mit Bezug auf den Körper zu sehen und zu untersuchen (für einen detaillierten Überblick siehe Wilson, 2002; Foglia & Wilson, 2013). Geist, Körper und Umwelt werden als Teile eines dynamischen Systems verstanden, in dem kognitive Prozesse als komplexe Interaktionen zwischen diesen Komponenten ablaufen. Das heißt auch, dass Erklärungsmodelle, die sich zu sehr auf die Abstraktheit des Denkens (Computermetapher) oder dessen neuronalen Grundlagen (Neurowissenschaft) konzentrieren, zu kurz greifen (Clark, 1998).

Im Verlauf der Darstellung dieses integrativen Rahmenmodells (SMART COMPASS) werden die evidenzbasierten Untersuchungen dargestellt, welche als Ausgangspunkt zur Konzipierung betrachtet werden können.

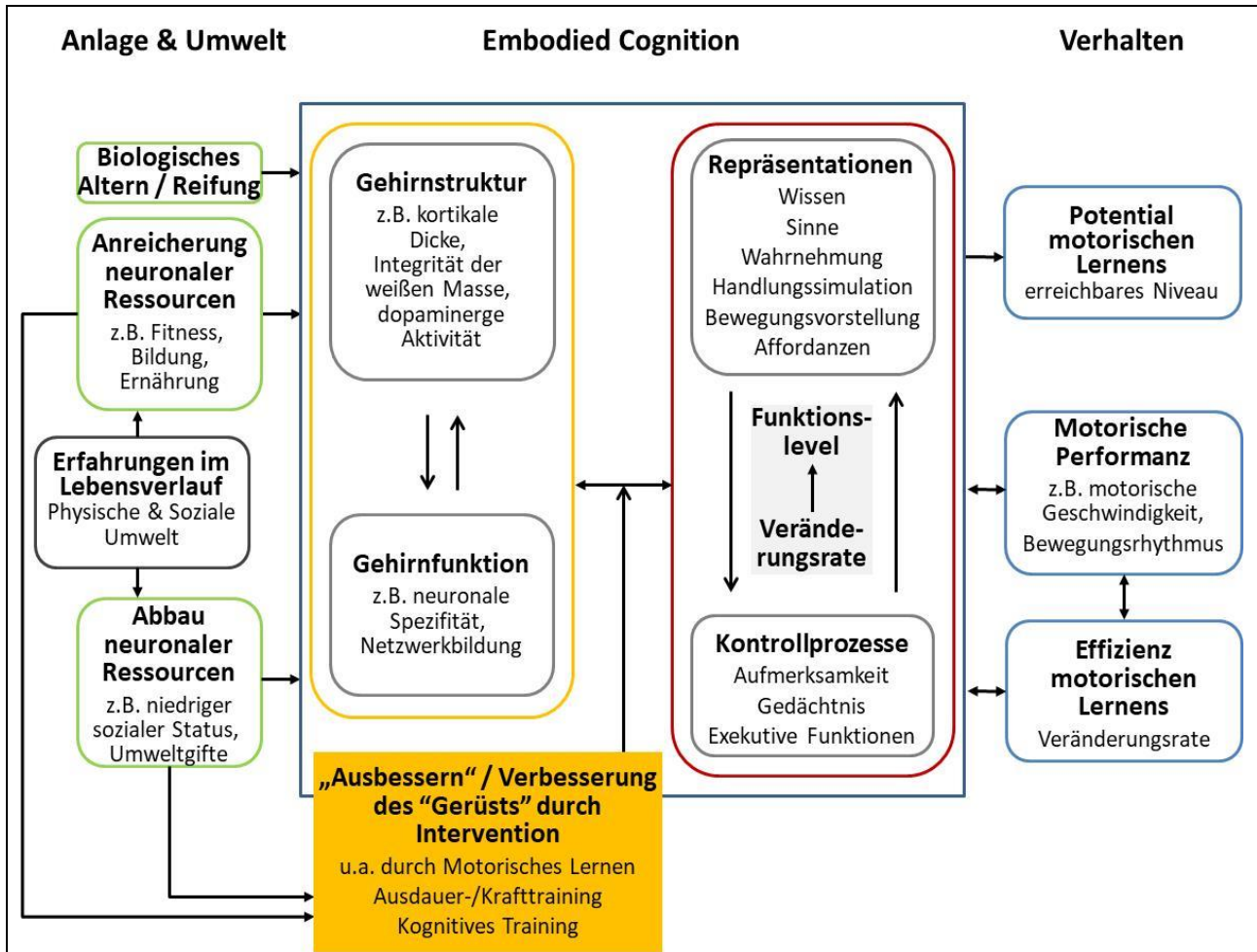


Abb. 2: Integratives Rahmenmodell (SMART COMPASS) (mod. nach Schott & Klotzbier, 2018, S.120).

2.1 Wissenschaftstheoretische Überlegungen zur Anlage-Umwelt Diskussion

Die Diskussion zu den möglichen Einflusskräften auf das Verhalten des Menschen schwankt zwischen verschiedenen wissenschaftlichen Ansätzen, welche entweder die Rolle der genetischen Prädispositionen hervorheben oder das Verhalten wesentlich durch die Umwelt geprägt sehen. Losgelöst von diesem Spannungsfeld zwischen beiden wissenschaftstheoretischen Extrempositionen wird in diesem Modell eine Integration von genetisch vermittelten und evolutionär selektierten Anlagen einerseits

und Erziehungserfahrungen (soziale und kulturelle Gegebenheiten) andererseits angenommen. Dies erlaubt eine integrative Herangehensweise bei der Erklärung des menschlichen Verhaltens über die gesamte Lebensspanne (Lange & Schwarz, 2015).

Das Modell deutet bezüglich der Umweltfaktoren darauf hin, dass in Abhängigkeit der gemachten Erfahrungen, diese im Verlauf des Lebens zu einer Anreicherung neuronaler Ressourcen oder zu einem Abbau neuronaler Ressourcen führen können.

2.2 Erfahrungen im Lebensverlauf

2.2.1 Anreicherung neuronaler Ressourcen

Die Anreicherung neuronaler Ressourcen beinhaltet Einflüsse, welche die Gehirnstruktur und -funktion fördern bzw. verbessern. Das Gehirn von Kindern und Jugendlichen ist relativ plastisch, weshalb Lernerfahrungen während dieser Jahre eine entscheidende Rolle einnehmen (Fox, Levitt, & Nelson, 2010). Wenn Kinder und Jugendliche einer Lernumgebung mit reichem Reizangebot und freien Handlungsspielräumen ausgesetzt sind, kann die kognitive Entwicklung optimal stimuliert werden (vgl. Ayres, 2013 bezüglich der Bedeutung der Integration der Sinne für die Entwicklung des Kindes):

„An early, growth-promoting environment with adequate nutrients, free of toxins, and filled with social interactions with an attentive caregiver, prepares the architecture of the developing brain to function optimally in a healthy environment [...]” (Shonkoff, 2007, S.1)

Diese Umwelteinflüsse dienen dazu, den Prozess der neuralen Entwicklung zu steuern und das Gehirn auf die Außenwelt abzustimmen. Die außergewöhnlich starke Wirkung dieser Erfahrungen auf die Entwicklung und Integrität des Gehirns (Dawson, Ashman, & Carver, 2000) machen diese frühen Lebensjahre zu einer sensiblen Phase, in der Kinder sehr empfänglich sind für neue Informationen und in der besonders schnell und effektiv gelernt werden kann (Fox et al., 2010).

Obwohl die Kapazität sich an verändernde Umweltbedingungen anzupassen mit zunehmendem Alter abnimmt, bleibt die Neoplastizität über die gesamte Lebensspanne erhalten (Greenwood, 2007; Kempermann, 2008; Kramer, Bherer, Colcombe, Dong, & Greenough, 2004). Eine Vielzahl an Studien deutet darauf hin, dass auch im mittleren und späten Erwachsenenalter die Beschäftigung mit intellektuellen und sozialen Aktivitäten einen positiven Einfluss auf die kognitive Entwicklung und deren Leistungsfähigkeit hat (Wilson et al., 2002a, 2002b; Landau et al., 2012). Ein hohes Ausbildungsniveau kann die kognitiven Funktionen protektiv beeinflussen und dadurch deren altersbedingter Abbau hinauszögern. Hochgebildete Personen scheinen im Vergleich zu weniger gebildeten Personen erst in höheren Lebensaltern mit Demenz (Verghese & Kollegen, 2003; Amieva et al., 2014; Bennett et al., 2003; Christensen, Batterham, Mackinnon, Anstey, Wen, & Sachdev, 2009; Karlamangla, Miller-Martinez, Aneshensel, Seeman, Wight, & Chodosh, 2009; Yaffe et al., 2009) oder Morbus Alzheimer (Amieva, Stoykova, Matharan, Helmer, Antonucci, & Dartigues, 2010; Hall, Lipton, Sliwinski, Katz, Derby, & Verghese, 2009; Plassman, Williams, Burke, Holsinger, & Benjamin, 2010; Reed et al., 2011; Singh-Manoux, Richards, & Marmot, 2003; Stern, 2009; Wilson, Boyle, Yu, Barnes, Schneider, & Bennett, 2013) diagnostiziert zu werden.⁴ Ein hohes Fitnesslevel („Cardiovascular Fitness Hypothesis“; Head et al., 2012; Colcombe et al., 2003; Colcombe & Kramer, 2003; Colcombe, Kramer, McAuley, Erickson, & Scalf, 2004; Erickson et al. 2010, Erickson, Gildengers, & Butters, 2013), eine ausgewogene Ernährung (Prado & Dewey, 2014), Zweisprachigkeit (Bialystok, Craik, & Freedman, 2007; Bialystok, Craik, & Luk, 2012; Gold, Kim, Johnson, Kryscio, & Smith, 2013; Schweizer, Ware, Fischer, Craik, & Bialystok, 2012) oder Mehrsprachigkeit (Alladi et al., 2013) wurden ebenfalls als positive Einflussfaktoren für einen verzögerten kognitiven Altersabbau identifiziert.

⁴ Das Konzept der kognitiven Reserve (Stern, 2002) beschreibt die Resistenz der kognitiven Leistungsfähigkeit gegenüber funktionellen und strukturellen Schädigungen des Gehirns. So werden trotz pathologischer Hirnentwicklungen, insbesondere bei Personen mit hohem Bildungsstatus noch gute kognitive Leistungen erbracht (hohe Reserve) (siehe auch Bennett et al., 2003).

2.2.2 Abbau neuronaler Ressourcen

Analog zu den hier dargestellten Zunahmen von Ressourcen, wird ein Abbau neuronaler Ressourcen durch Faktoren repräsentiert, welche das Gehirn sowohl in struktureller Hinsicht als auch auf funktioneller Ebene negativ beeinflussen.

„[...] an adverse early environment, one that is inadequately supplied with nutrients, contains toxins, or is deprived of appropriate sensory, social, or emotional stimulation, results in faulty brain circuitry.“ (Shonkoff, 2007, S.1)

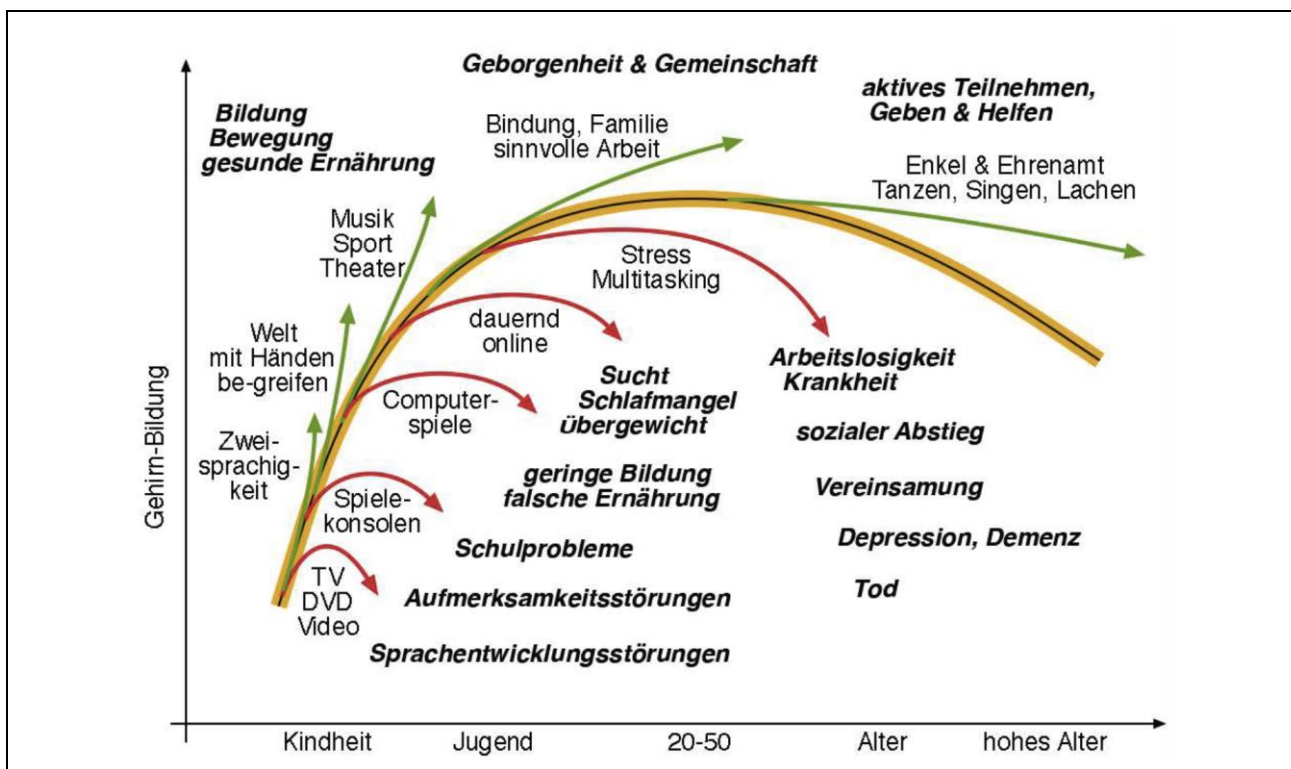


Abb. 3: Gehirnentwicklung über die Lebensspanne hinweg; Aufstieg und Abstieg (gelb) durch ressourcenreichernde (positive, grün) und ressourcenverknappende (negative, rot) Faktoren (Spitzer, 2012, S.298).

In frühen Entwicklungsphasen spielen diverse prä-, peri- und postnatale Faktoren eine entscheidende Rolle. Faktoren wie das Rauchen und der Konsum von Alkohol der Mutter während der Schwangerschaft (pränatal), das Geburtsgewicht, Stress und Komplikationen während der Geburt (neonatal) oder die Exposition mit Umweltgiften nach der Geburt (postnatal) (siehe hierzu Christensen, Schieve, Devine, & Drews-Botsch, 2014) beeinflussen die motorische als auch die kognitive Entwicklung negativ. Das Erleben häuslicher Gewalt, körperliche, sexuelle und emotionale Misshand-

lungen haben einen starken negativen Einfluss und wirken diesbezüglich als „Ressourcenverknappung“ (Teicher & Samson, 2016).

Studien im Erwachsenenalter zeigen, dass Rauchen, Übergewicht oder Diabetes exogen begründete, vaskuläre Risikofaktoren darstellen und schädlich auf die Struktur und Funktion des Gehirns wirken. Dies wird evident durch zunehmende Hinweise auf eine Schädigungen der Hirnarterien, Gehirnatrophien und die damit einhergehenden kognitiven Dysfunktionen bei betroffenen Individuen (Bender & Raz, 2012; DeBette et al., 2011; de Frias, Schaie, & Willis, 2014). Chronischer Stress im Alltags- bzw. Berufsleben⁵ (McEwen, 2007) sowie starke Depressionen (Tsai, 2003) können ebenfalls zum Abbau neuronaler Ressourcen führen.

Insgesamt gibt es eine Vielzahl weiterer Umweltfaktoren, welche unterschiedlich stark auf den Gesundheitszustand des Gehirns und dessen Funktionen wirken (siehe Abbildung 3). Einige Faktoren⁶ sind endogen und durch unsere Gene vordeterminiert, während andere wie Bewegung, Ernährung, intellektuelles Engagement und den erwähnten Faktoren in unterschiedlichem Ausmaß, unter der Kontrolle des Individuums sind und im Verlauf des Lebens beeinflusst werden können (Reuter-Lorenz & Park, 2014).

2.3 Embodied Cognition

Das SMART COMPASS-Modell verdeutlicht die Auswirkungen auf den Funktionalitätsgrad der kognitiven Funktionen als eine prognostizierbare Konsequenz der erwähnten Prädiktorvariablen.⁷ Die Erklärungskraft wird dadurch erhöht, dass die Veränderungsraten der kognitiven Funktionen im Lebensverlauf berücksichtigt und in das Modell aufgenommen werden. Die Veränderungsrate liefert ein Maß für die Steilheit der Ab- bzw. Zunahmen der kognitiven Funktionen über die Zeit. Dabei werden

⁵ Häufige Arbeitsunterbrechungen und Multitasking sind mögliche Wirkfaktoren auf Leistungsminderungen und das Erleben von Stress (Baethge & Rigotti, 2010; Zimmer, 2016).

⁶ Ein endogener Faktor mit besonders starken Verknappungseffekten ist das APOE – 4 Gen. Dieser Genotyp ist, neben Ablagerungen der Biomarker Beta – Amyloid und Tau (Rodrigue, Kennedy, & Park, 2009; Rodrigue et al., 2012; Mielke et al., 2014) der wichtigste genetische Risikofaktor für die Alzheimererkrankung (Liu, Kanekiyo, Xu, & Bu, 2013).

⁷ Gemeint sind die strukturellen und funktionellen Veränderungen über den gesamten Lebensverlauf sowie der durch den Lebensstil hervorgerufene „Gerüstbau“ neuronaler Schaltkreise.

die kognitiven Funktionen nicht, wie bei der Darstellung von Reuter-Lorenz und Park (2014), als ein undifferenziertes globales Konstrukt behandelt. Vielmehr wird nach den kognitiven Fähigkeiten differenziert, die essentiell sind und für Veränderungen in der motorischen Leistungsfähigkeit und den motorischen Lernprozessen verantwortlich gemacht werden (siehe Ren et al., 2013). Ein Blick auf die Veränderungsrate ist auch deshalb von großer Bedeutung, da die meisten Studien zur Entwicklung der kognitiven Funktionen im Lebensverlauf querschnittlich angelegt sind. Da diese querschnittlich angelegten Studien als Grundlage für die Schlussfolgerungen der Entwicklungsverläufe dienen, scheint es wichtig anzumerken, dass verschiedene Faktoren die Interpretation der Ergebnisse korrumpieren können.

„[...] factors such as the selection of time points, trajectory of developmental process, and test-retest reliability of methods employed affect the extent to which cross-sectional findings accurately represent longitudinal processes.“

Es werden im Folgenden die strukturellen und funktionellen Veränderungen des Gehirns im Kindes- und im höheren Erwachsenenalter überblicksartig beschrieben (Kapitel 2.3.1). Im Anschluss werden die Entwicklungstrajektorien der neuronalen Repräsentationen (auch interne Modelle bzw. Schemata genannt; Kapitel 2.3.3) und der exekutiven Kontrollprozesse (auch EF genannt; Kapitel 2.3.4) dargestellt.

2.3.1 Strukturelle und funktionale Veränderungen des Gehirns

Das SMART COMPASS-Modell geht von zwei Bahnen aus, die die Anreicherung oder den Abbau von neuronaler Ressourcen sowie die Struktur und die Funktion des Gehirns und damit die kognitive Leistungsfähigkeit beeinflussen. Sowohl eine Anreicherung als auch der Abbau können auf direktem und indirektem Weg Einfluss nehmen.

Auf einem direkten Weg ereignen sich in früher Kindheit die folgenreichsten Veränderungen. Verschiedene Gehirnregionen entwickeln sich im Verlauf unterschiedlich (Gogtay et al., 2004). Areale, welche einfache Informationen verarbeiten, entwickeln sich früher als solche, die komplexe Informationen verarbeiten (Burkhalter, Bernardo, & Charles, 1993). Zum Zeitpunkt der Geburt sind die primären sensorischen und

motorischen Areale soweit gereift, dass erste Erfahrungen (Sehen, Hören, Tasten und Ausführung von Bewegungen) gemacht werden können. Demgegenüber ist der Höhepunkt der synaptischen Überproduktion im Bereich des präfrontalen Kortex, der mit EF assoziiert ist, erst mit circa einem Jahr zu beobachten (siehe Abbildung 4).

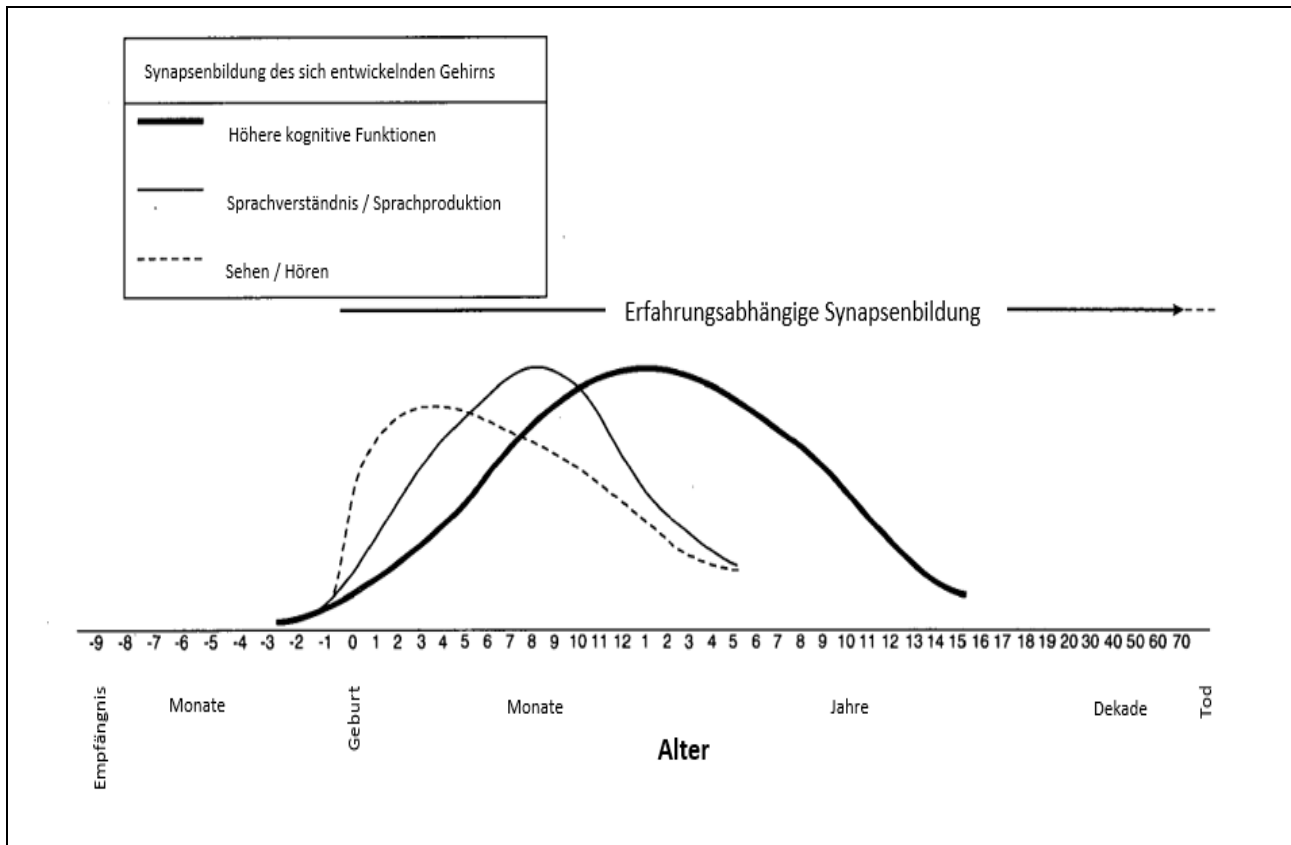


Abb. 4: Entwicklung und erfahrungsabhängige Synapsenbildung des menschlichen Gehirns über die Lebensspanne und differenziert nach einfachen und komplexen kognitiven Funktionen (mod. nach Phillips & Shonkoff, 2000, S.188).

Dieser initiale „Wildwuchs“ an Synapsen (Huttenlocher & Dabholkar, 1997) in den ersten Lebensjahren muss zunächst gestutzt („Pruning“)⁸ werden (Katz & Shatz, 1996). Jene Synapsen und Netzwerke, welche häufig genutzt werden, bleiben erhalten und werden darüber hinaus verstärkt, während andere, die ungenutzt bleiben, verschwinden („use it or loose it“-Prinzip) (Blakemore & Choudhury, 2006; Giedd et al., 1999). Diese Ordnung von Nervenverbindungen erfolgt, bevor sich die neuronalen

⁸ Mit „Pruning“ wird eine besondere Form der Synapseneliminierung verstanden, die zu einer Art Feinabstimmung der synaptischen Verbindungen führt. Bei dieser werden synaptische Verbindungen, die nicht funktional und demnach redundant sind, abgebaut (Chechik, Gal, Meilijson, & Isaac, 1999; Ruppín & Eytan, 1998).

Verbindungen stabilisieren und macht das Gehirn in diesen frühen Lebensjahren zu einem hoch plastischen Gebilde mit enormem Lernpotenzial und hoher Lerneffizienz (Knudsen, 2004). Gleichzeitig macht dies deutlich, dass in Abhängigkeit des Alters der Kinder verschiedene Erfahrungen unterschiedlich bedeutend sind (Black & Greenough, 1986).

“[...] this means that early experience has a unique advantage in shaping the architecture of developing brain circuits before they are fully mature and stabilized.“ (Shonkoff, 2007, S.13)

Dieser Vorgang der Netzwerkbildung (Verdrahtung kortikaler Areale) führt zu einer erhöhten Spezialisierung des Gehirns, welche eine effizientere Arbeitsweise erlaubt. Gleichzeitig ist das Gehirn durch eine erhöhte Spezialisierung aber weniger in der Lage sich zu reorganisieren und sich neuen Situationen oder unbekanntem Herausforderungen anzupassen (Keuroghlian & Knudsen, 2007; Cai, Chan, Yan, & Peng, 2014).

Im höheren Erwachsenenalter wird auf struktureller Ebene eine altersbedingte kortikale Volumenabnahme, eine Ausdünnung der Großhirnrinde, eine verminderte Integrität der weißen Substanz sowie weitere neurobiologische Veränderungen wie eine Abnahme von dopaminergen Rezeptoren oder die Abnahme synaptischer Verbindungen beobachtet (Davatzikos & Resnick, 2002; Head et al., 2004; Moseley, 2002; Raz et al., 2005; Resnick, Pham, Kraut, Zonderman, & Davatzikos, 2003; Salat et al., 2004; Sullivan & Pfefferbaum, 2006; Wen & Sachdev, 2004). Auf funktioneller Ebene nehmen die interneuronale Vernetzung (Sala-Llonch, Bartrés-Faz, & Junqué, 2015), die Hemisphärenasymmetrie („Hemispheric Asymmetry Reduction in Old Adults“; HAROLD-Modell; Cabeza, 2002), die effiziente Interaktion zwischen den Neuronen sowie deren Spezifität (Park, Polk, Park, Minear, Savage, & Smith, 2004) ab. Darüber hinaus ist eine Dysregulation des Ruhezustandes des Gehirns („Default Activity“; Persson, Lustig, Nelson, & Reuter-Lorenz, 2007) beobachtbar. Besonders anfällig für den Abbau von Ressourcen scheinen frontale Bereiche des Gehirns, wie der präfrontale Kortex, zu sein (Good, Johnsrude, Ashburner, Henson, Friston, & Frackowiak, 2001; Head et al., 2004, Salat et al., 2005).

Gleichzeitig beinhaltet das SMART COMPASS-Modell einen zweiten, indirekten Weg, welcher die schädlichen Auswirkungen eines Abbaus von neuronalen Ressourcen dämpfen (Kompensation) und die positiven Effekte einer Anreicherung von Ressourcen verstärken oder unterstützen kann. Um diese Form der Unterstützung bzw. Dämpfung zu beschreiben, bedienen sich Park und Reuter-Lorenz (2009; 2014) der Metapher eines „Baugerüsts“ (Scaffolding). Darunter ist ein Auf- und Ausbau von komplementären und alternativen neuronalen Verbindungen zu verstehen, welcher einen normaler Prozess darstellt und sowohl im Kindesalter als auch im höheren Erwachsenenalter wirkt. Es handelt sich um zusätzliche synaptische Verbindungen (stille Verbindungen; Spitzer, 2002), welche auch dann bestehen bleiben, wenn sie nicht mehr verwendet werden und funktionell auch nicht mehr aktiv sind. Bei altersbedingten, degenerativen Abbauprozessen im höheren Erwachsenenalter können, in früher Kindheit (oder im Lebensverlauf) geknüpft, stille Verbindungen reaktiviert werden und dadurch altersbedingte Verluste kompensieren.

Das SMART COMPASS-Modell deutet diesbezüglich darauf hin, dass dieser Prozess („Gerüstbau“; Scaffolding) aktiviert und angeregt werden kann durch beispielsweise das Lernen neuer motorischer Fertigkeiten, durch körperliche Aktivität und Ausdauertraining sowie durch verschiedene kognitive Trainingsinterventionen. Reuter Lorenz und Park (2010) schreiben hierzu:

„[...] ,compensatory scaffolding is affected by experiences, so that new learning, enhanced cardiovascular health, sustained engagement in a mentally challenging activity, and cognitive training might all operate to enhance the brain’s ability to build effective new scaffolding [...].“ (S.410)

Die mit diesen Interventionen verbundenen und herausfordernden Stimulationen führen zu funktionellen Reorganisations- und Erneuerungsprozessen. Diese Prozesse verfestigen die bereits existierenden neuronalen Verbindungen, bauen neue Verbindungen aus, und nicht mehr genutzte, suboptimal arbeitende oder defekte Verbindungen entsprechend ab bzw. auf. Dies geschieht immer mit dem Ziel die kognitiven Funktionen, im Sinne der Homöostase, aufrechtzuerhalten. Dabei scheint insbesondere der präfrontale Kortex ein bevorzugter Bereich für den Aufbau dieses Gerüsts (Scaffolding) zu sein (Reuter-Lorenz & Park, 2014).

2.3.2 Entwicklungstrajektorien verschiedener kognitiver Bereiche

Nach aktuellem Forschungsstand besteht Einigkeit darüber, dass einige kognitive Bereiche anfälliger für einen altersbedingten Abbau sind als andere. Craik und Bialystok (2006) nutzen in diesem Zusammenhang die Begriffe kristalline und fluide Intelligenz. Fluide Intelligenz oder fluides Denken ist die Fähigkeit, logisch zu denken, Probleme zu lösen und charakterisiert dementsprechend exekutive Kontrollprozesse (Cattell, 1963). Kristalline Intelligenz beinhaltet Fähigkeiten, die von Wissen und Erfahrung abhängen, wie Vokabelwissen, prozedurales und deklaratives Wissen oder andere Repräsentationen. Beide Intelligenzformen folgen unterschiedlichen Entwicklungstrajektorien über die Lebensspanne (Horn & Cattell, 1967; Jones & Conrad, 1933).

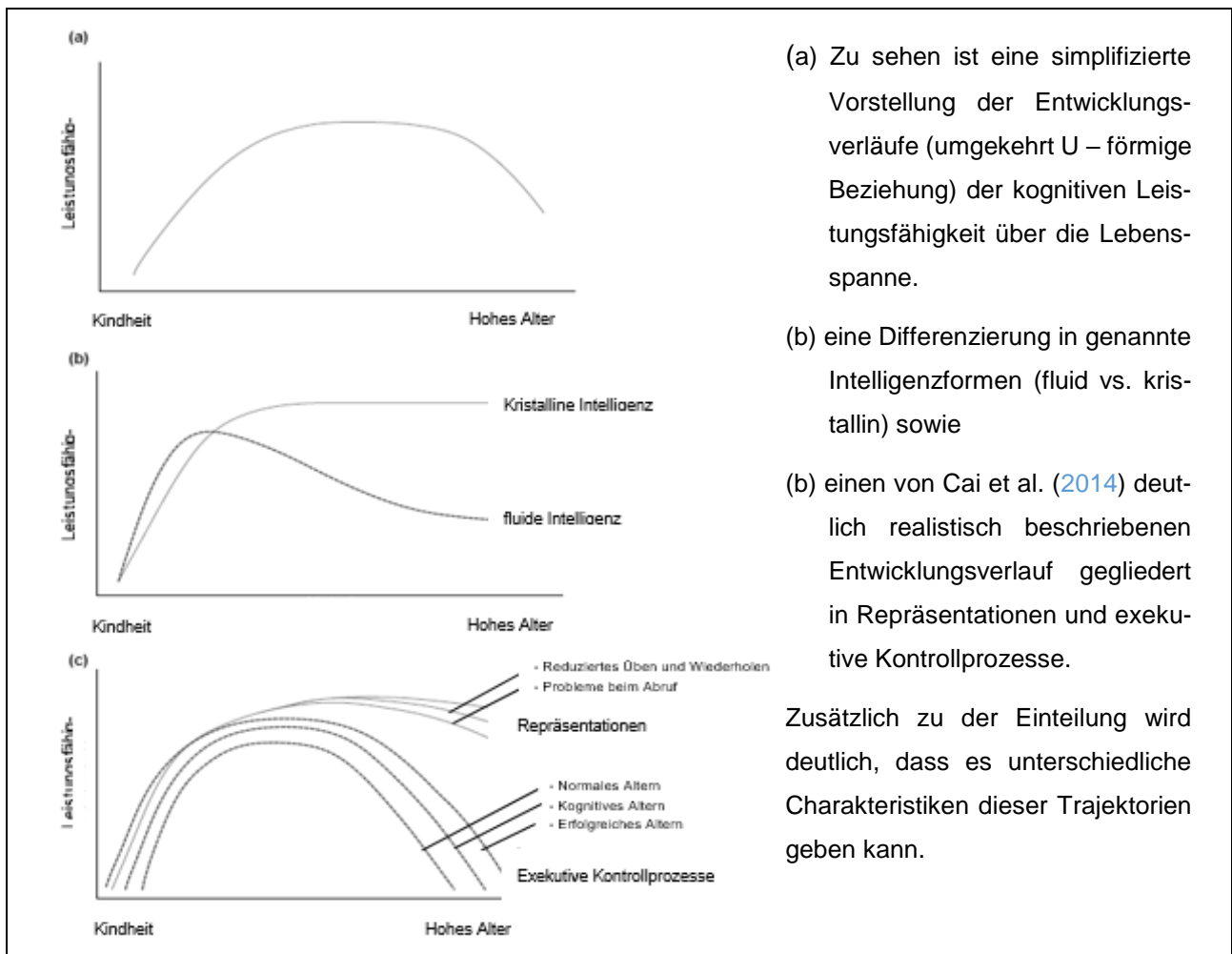


Abb. 5: Theoretisch mögliche Entwicklungstrajektorien der Bewegungsrepräsentationen und exekutiven Kontrollprozesse über die Lebensspanne (mod. nach Craik & Bialystok, 2006, S.133).

In Abbildung 5 wird ein theoretisches Modell der Entwicklungsverläufe der genannten kognitiven Komponenten dargestellt. Man erkennt einen Anstieg der Leistungsfähigkeit der exekutiven Kontrollprozesse von der Kindheit bis zum jungen Erwachsenenalter gefolgt von einem mehr oder weniger starken Absinken der Leistungsfähigkeit im hohen Erwachsenenalter. Bezüglich der Repräsentationen wird deutlich, dass diese über die Lebenspanne weitestgehend stabil bleiben. Hier kann ein deutlicher Anstieg in der Kindheit beobachtet werden, der sich im Verlauf des Erwachsenenalters stetig, jedoch langsamer, vergrößert und im hohen Erwachsenenalter weitestgehend erhalten bleibt. Allerdings ist der Erhalt in erster Linie abhängig von der Häufigkeit deren Nutzung sowie deren kontinuierlicher Pflege (durch Übung und Wiederholung). Auch ist denkbar, dass Repräsentationen erhalten bleiben, diese aber aufgrund der reduzierten Kontrollprozesse nicht abrufbar sind. “[...] representations depend on access to adequate levels of control [...]” (Craik & Bialystok, 2006, S.134). Dies verdeutlicht, wie die beiden scheinbar getrennten Entitäten (EF und Repräsentationen) eng miteinander verknüpft sind und extensiv miteinander interagieren, zum einen für den Aufbau neuer neuronaler Repräsentationen zum anderen für deren Abruf.

2.3.3 Repräsentationen

Repräsentationen entwickeln sich im Verlauf des Lebens schrittweise zu immer komplexeren und präziseren Wissensstrukturen. Hierbei handelt es sich um Gedächtnisinhalte wie Faktenwissen (deklarativ), Handlungen und Fertigkeiten wie das Binden der Schuhe (prozedural), regelhafte Zusammenhänge in der Welt sowie Werte, welche unser Zusammenleben leiten bzw. regeln (einschließlich unseres Kommunikationssystems) (semantisch) und auf neuronaler Ebene repräsentiert werden. Ungeachtet der verschiedenen Arten (deklarativ, prozedural oder semantisch) und Komponenten dieser Repräsentationen (kinästhetisch-taktil, dynamisch-zeitlich oder bildlich-räumlich) folgt die Mehrheit dabei einem einheitlichen Entwicklungstrend. Dieser Trend ist gekennzeichnet durch eine schnelle Verbesserung in der frühen Kindheit,

durch eine langsame Entwicklung im frühen Erwachsenenalter und durch einen weitgehend stabilen, jedoch leicht abnehmenden Verlauf im hohen Erwachsenenalter (Hedden & Gabrieli, 2004).

2.3.4 Kontrollprozesse

Das Konstrukt der EF hat in den letzten drei Jahrzehnten eine enorme Aufmerksamkeit erlangt. Trotz oder vielleicht gerade aufgrund der vielen Veröffentlichungen gibt es bezüglich der EF keine generell akzeptierte Definition (Wasserman & Wasserman, 2013). Häufig erfolgt eine Dreiteilung der EF in kognitive Flexibilität, Inhibitionsfähigkeit und Arbeitsgedächtnis (z.B. Hofmann, Schmeichel, & Baddeley, 2012; Huizinga, Dolan, & van der Molen, 2006; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter, & Wager, 2000; Xu, Han, Sabbagh, Wang, Ren, & Li, 2013)

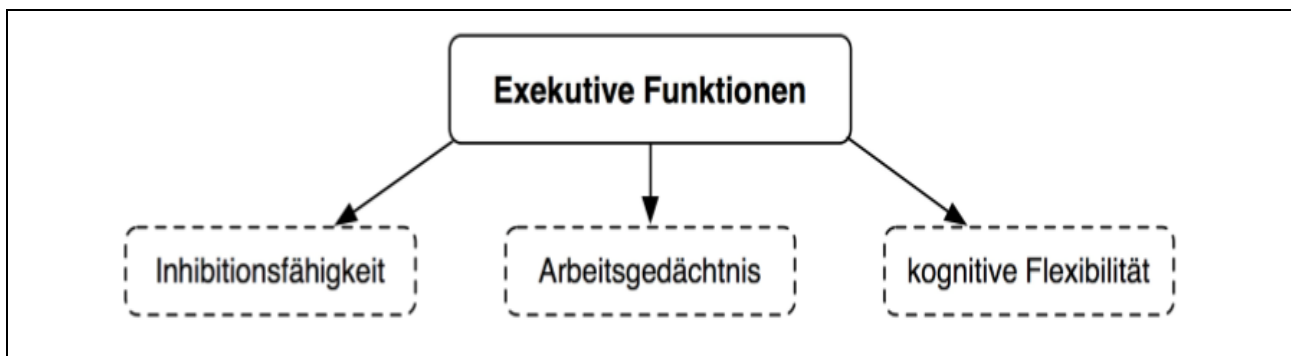


Abb. 6: Beispielhafte Einteilung der exekutiven Funktionen (erstellt nach Miyake et al., 2000).

Bei genauerer Betrachtung der drei genannten Subkomponenten der EF (siehe Abbildung 6) können Boelema et al. (2014) sowie Shanmugan und Satterthwaite (2016) aufgrund der altersbedingten Reifungsprozesse im Kindes und Jugendalter, verschiedene Entwicklungstrajektorien der kognitiven Kontrollprozesse ausmachen. Die Inhibitionsfähigkeit und die kognitive Flexibilität entwickeln sich bereits im frühen Kindesalter. Clark und Kollegen (2013) können zeigen dass diese Prozesse sich am schnellsten zwischen dem 3. bis 4. Lebensjahr entwickeln, wobei sich die kognitive Flexibilität langsamer und bis ins Jugendalter weiterentwickelt. Das Arbeitsgedächtnis und die kognitive Flexibilität sind in erster Linie durch große Veränderungsraten in der Übergangsphase zwischen dem Kindesalter und dem Jugendalter gekenn-

zeichnet (Anderson, 2002; Jenkins, Myerson, Hale, & Fry, 1999). Das Arbeitsgedächtnis ist demnach eine kognitive Domäne, welche sich bis in das Jugendalter und frühe Erwachsenenalter hinein stetig weiterentwickelt (Gur et al., 2012; Best & Miller, 2010).

Im höheren Erwachsenenalter sind fast alle Maße der EF durch Abnahmen charakterisiert oder deuten auf eine Reduzierung der Effizienz verschiedener Aspekte der Informationsverarbeitung. Insbesondere die Verarbeitungsgeschwindigkeit, die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, die Inhibitionsfähigkeit sowie das Langzeitgedächtnis sind durch solche Abnahmen (Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 2000; Jenkins et al., 1999; siehe auch Glisky, 2007 für Veränderungen der kognitiven Funktionen beim Altern) gekennzeichnet.

Auch die Inhibitionsfähigkeit und die kognitive Flexibilität verschlechtern sich mit dem höheren Lebensalter (siehe Abbildung 7).

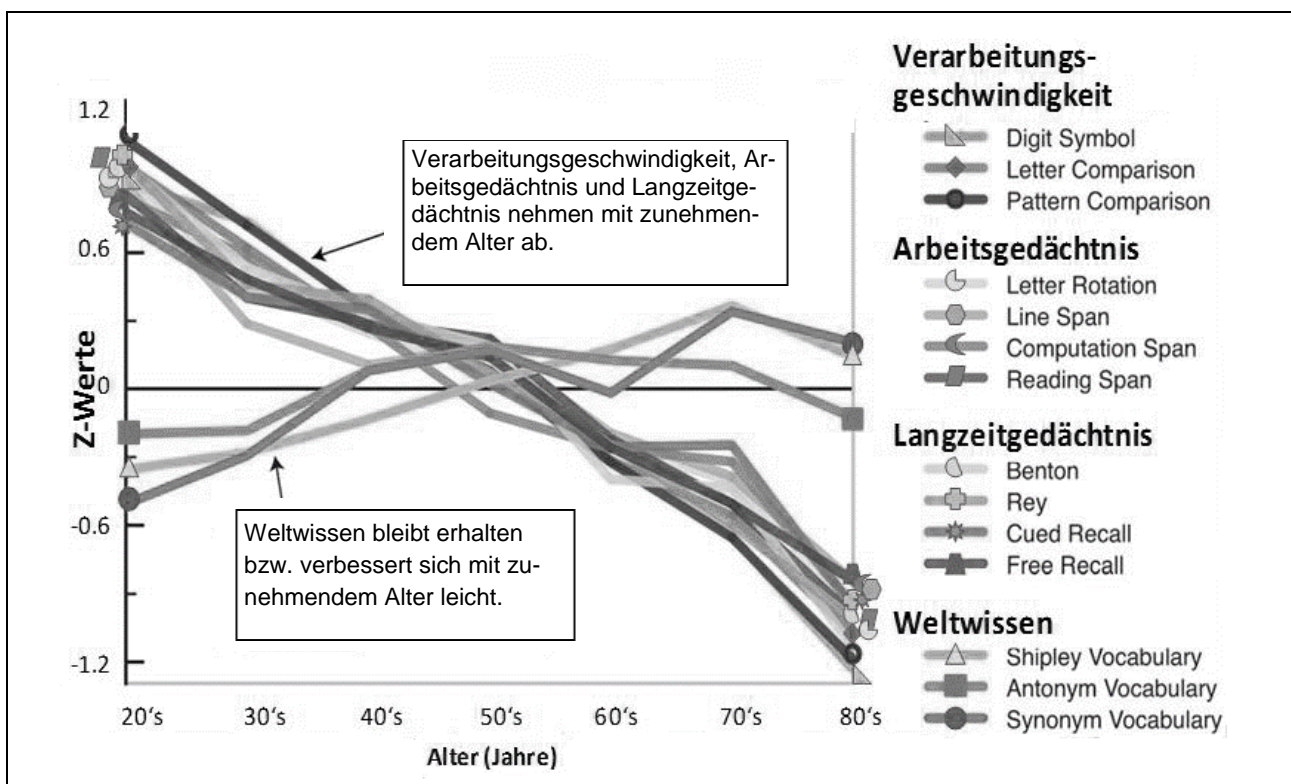


Abb. 7: Zusammenfassung der Querschnittsdaten zur kognitiven Leistungsfähigkeit im Alter (mod. nach Park & Reuter-Lorenz, 2009, S.25).

Studien von Mathis, Schunck, Erb, Namer und Luthringer (2009) sowie Christ, White, Mandernach und Keys (2001) konnten zeigen, dass die altersbedingte Beeinträchtigung der inhibitorischen Kontrolle bereits im Alter von 50 Jahren auftreten kann. Die Fähigkeit der flexiblen Zuteilung von Aufmerksamkeitsressourcen (kognitive Flexibilität) erfordert ein Wechsel zwischen den Zielen der verschiedenen, parallel durchzuführenden Aufgaben. Personen im höheren Erwachsenenalter benötigen länger um flexibel zwischen zwei verschiedenen Aufgaben zu wechseln (Cepeda, Kramer, & Gonzalez de Sather, 2001). Doppelaufgaben scheinen ein adäquates Paradigma, um die kognitive Flexibilität als Komponente der EF zu untersuchen.

Es erscheint wichtig festzuhalten, dass in den meisten Studien zu den EF unterschiedliche Aufgaben herangezogen werden, um diese zu operationalisieren. Dies macht eine Generalisierbarkeit der verschiedenen Studienergebnisse schwierig. Obwohl die meisten der genannten Studien im Kindes- und Jugendalter einen mehr oder weniger linearen Entwicklungsverlauf der EF zeigen, gibt es eine große interindividuelle Variabilität bezüglich der Veränderungsraten. Die Ergebnisse der Studien zu den Entwicklungsverläufen der EF sind sehr inkonsistent (Shanmugan & Satterthwaite, 2016). Aber auch im hohen Erwachsenenalter sind, bezüglich der Entwicklungsverläufe der EF, hohe interindividuelle Variabilität und fast immer Entwicklungssprünge sowie Plateaus zu beobachten (Boyle, Wilson, Yu, Barr, Honer, Schneider, & Bennett, 2013; Dixon & Frias, 2009).

2.4 Motorisches Verhalten

Reifungsprozesse und biologische Altersprozesse führen – der bisherigen Beschreibung des Modells zufolge – zu neuronalen Veränderungen, welche schließlich die kognitiven Fähigkeiten beeinflussen. Repräsentationen bleiben über die Lebensspanne weitestgehend erhalten, während die angesprochenen EF im hohen Erwachsenenalter beeinträchtigt werden.

Das SMART COMPASS-Modell verdeutlicht die Wechselbeziehungen zwischen der kognitiven Leistungsfähigkeit auf der einen Seite und des motorischen Lernpotenzials, der motorischen Leistungsfähigkeit sowie der motorischen Lerneffizienz auf der

anderen Seite. Nach Ren et al. (2013) und auf Grundlage des in ihrer Arbeit dargestellten Überblicks der behavioralen und neuronalen Charakteristiken des kognitiven Alterns sowie dem Verhältnis zum motorischen Altern, scheinen in erster Linie die erwähnten Wissensstrukturen (Repräsentationen) und Kontrollprozesse (EF) einen entscheidenden Einfluss für diese Wechselbeziehung zu haben.

2.4.1 Potenzial motorisches Lernens

Die entwicklungsneurobiologische Grundlage einer erhöhten Anpassungsfähigkeit des Gehirns in jungen Jahren (Neoplastizität) wurde bereits angesprochen (Kapitel 2.3.1). Somit scheint das Kindes- und Jugendalter eine sensible Phase der Entwicklung mit enormem Lernpotenzial zu sein (Fox et al., 2010). Mit dem Begriff der „kritischen Phasen“ werden Zeitabschnitte bezeichnet, in denen bestimmte Erfahrungen gemacht werden müssen, damit spezifische Fertigkeiten oder Fähigkeiten erworben werden. Neurowissenschaftler haben bereits kritische Perioden für das Sehen (Katz & Shatz, 1996), das Hören (Keuroghlian & Knudsen, 2007), die Sprache (Newport, Bavelier, & Neville, 2001) und verschiedene Formen der sozialen Interaktion identifiziert. Kommt es in dieser Phase nicht zu den notwendigen Erfahrungen werden diese Fertigkeiten und Fähigkeiten zeitlebens nicht mehr gelernt.⁹ Ob es diese kritischen Phasen auch für motorische Fertigkeiten und Fähigkeiten gibt, kann nicht mit Gewissheit bestätigt werden. Es gibt nur wenige experimentelle Studien, die den Einfluss eines frühen motorischen Trainings auf die Leistung im Erwachsenenalter prüfen (Schott, 2000; Shonkoff, Cameron, Duncan, Fox, Greenough, & Gunnar, 2004). Die Ergebnisse von Roeber, Gunnar und Pollak (2014) zeigen diesbezüglich, dass eine motorische Deprivation während einer vermeintlichen kritischen Phase zu langanhaltenden motorischen Beeinträchtigungen führen kann. Somit lässt sich zumindest postulieren, dass es auch für den motorischen Bereich kritische und sensitive Phasen zu geben scheint.

⁹ Vor dem 8. Lebensjahr gibt es eine kritische Phase für die Entwicklung des absoluten Gehörs (Deutsch, Henthorn, Marvin, & Xu, 2006). Eine funktionelle Sehstörung (Suppressions- und Deprivationsamblyopie) in der frühen Kindheit führt zur Unterentwicklung eines Auges, die lebenslang bestehen bleibt (Efllein, 2006).

In zahlreichen Studien konnte nachgewiesen werden, dass ältere Erwachsene durchaus in der Lage sind neue Fertigkeiten zu erwerben oder bereits erlernte Fertigkeiten umzulernen (Spirduso, Francis, & MacRae, 1995; Murrell, 1970; Salthouse, 1984; Voelcker-Rehage, 2008). Für den Bereich des motorischen Lernens konnten Voelcker-Rehage und Willimczik (2006) beobachten, dass es in der Lernleistung bei einer Jonglieraufgabe keine Unterschiede zwischen Kindern und älteren Erwachsenen gibt. Das Potenzial motorischen Lernens bleibt im höheren Lebensalter demnach weitestgehend erhalten.

2.4.2 Motorische Performanz

Es scheint, als zeigen die Entwicklungstrajektorien der kognitiven und der motorischen Leistung vergleichbare Muster und Charakteristiken (siehe Abbildung 8; Schott & Klotzbier, 2018) (siehe auch Yan 2000; Yan, Abernethy, Li, & Xiaojian, 2000; Yan, Thomas, Stelmach, & Thomas, 2010).

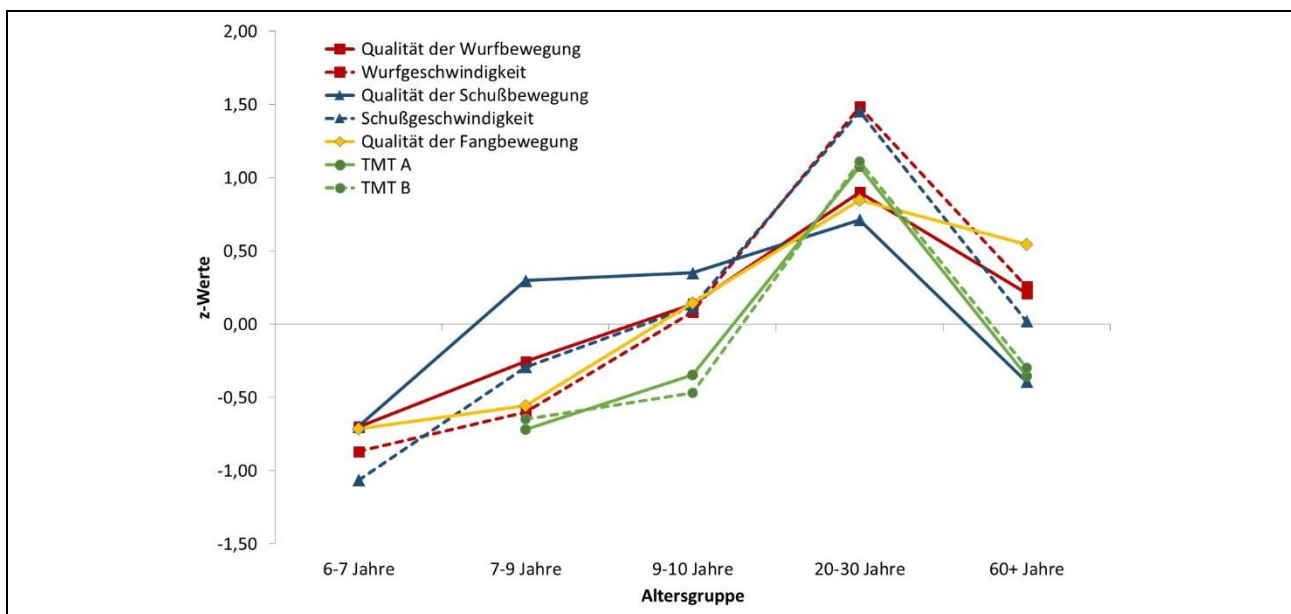


Abb. 8: Entwicklungstrajektorien der kognitiven und motorischen Leistungsfähigkeit über die Lebensspanne (Schott & Klotzbier, 2018, S.112).

Schott und Klotzbier (2018) beobachten eine Steigerung der motorischen Leistungsfähigkeit (Schießen und Werfen als fundamentalmotorische Fertigkeiten) vom Kindes- (6-10 Jahre) bis ins Erwachsenenalter (20-30 Jahre), gefolgt von einer Abnahme der Leistungsfähigkeit im höheren Lebensalter (60+ Jahre). Dieses Ergebnis

spiegelt sich bei der Bewertung der kognitiven Leistungsfähigkeit (operationalisiert durch den TMT) ebenso wieder. Auch Roebers und Kollegen (2014) berichten von signifikanten Zusammenhängen zwischen feinmotorischen Fertigkeiten, der nicht-verbalen Intelligenz und den EF.

Dieser Zusammenhang scheint bei Kindern und älteren Erwachsenen mit motorischen und/oder kognitiven Störungen (z.B. bei DCD, DS, MCI oder PD) im Vergleich zu typisch entwickelten Personen noch stärker zu sein (siehe hierzu Schott & Holfelder, 2015; Schott, El-Rajab, & Klotzbier, 2016). Allerdings sind die kausalen Zusammenhänge zwischen diesen Variablen noch unzureichend genau untersucht.

2.4.3 Effizienz motorischen Lernens

Die Implikation eines über die Lebensspanne anpassungsfähigen Gehirns macht deutlich, dass auch motorische Fertigkeiten mit zunehmendem Alter gelernt werden können. Dieser Erwerb motorischer Fertigkeiten vollzieht sich allerdings mit einer deutlich langsameren Geschwindigkeit und ist mit einem enormen Aufwand verbunden (Shonkoff, Levitt, Fox, Bunge, Cameron, & Duncan, 2016) (siehe Abbildung 9).

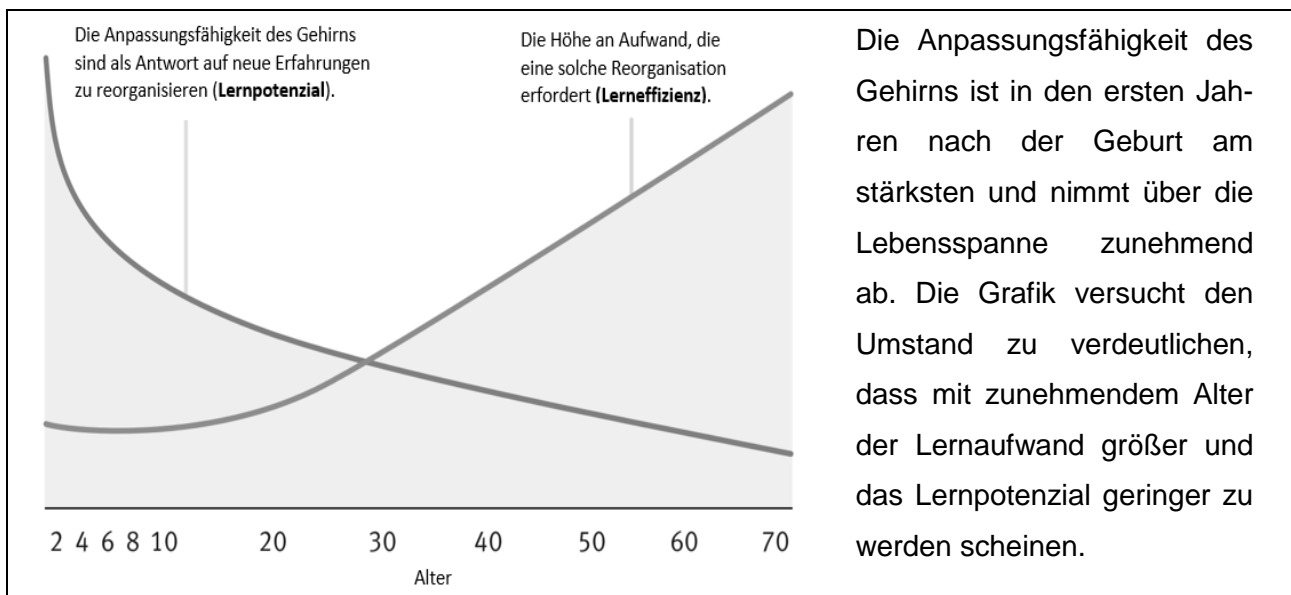


Abb. 9: Lernpotenzial und Lerneffizienz in Abhängigkeit des Alters (mod. nach Shonkoff et al., 2016, S.15).

Es wird insgesamt mehr Übungszeit benötigt bis die ersten Verbesserungen sichtbar werden. Beispielsweise konnten Judge, King, Whipple, Clive, und Wolfson (1995) zeigen, dass ältere Personen ihre Gleichgewichtsfähigkeit verbessern können. Diese

Verbesserungen werden allerdings nur bei einem erhöhten Übungsumfang sichtbar. Ähnliche Verbesserungen berichtet auch Woollacott (1993).

2.4.4 Wechselwirkungen zwischen Motorik und Kognition

Die Bewegungsrepräsentationen und das motorische Lernpotenzial bleiben über die gesamte Lebensspanne weitestgehend stabil, wohingegen die erwähnten Kontrollprozesse analog zu der motorischen Lerneffizienz sowie der Leistungsfähigkeit weitestgehend abnehmen. Übereinstimmend mit der Argumentation von Ren et al. (2009; S. 2) wird auch hier davon ausgegangen, dass die Formation von Bewegungsrepräsentationen anfänglich eine Beteiligung des präfrontalen Kortex erfordert bevor die Informationen in das motorische Gedächtnis (primär-motorischer Kortex) wechseln. Da der präfrontale Kortex mit Arbeitsgedächtnisleistungen in Zusammenhang gebracht wird und jede Einspeicherungsleistung (Formation von neuronalen Repräsentationen) auch eine Anforderung an das Arbeitsgedächtnis stellt, ist eine Beteiligung des präfrontalen Kortex nicht weiter verwunderlich. Gerade das Arbeitsgedächtnis verändert, elaboriert und ordnet Informationen so, dass diese Inhalte im Langzeitgedächtnis abgespeichert werden können (Bor, Cumming, Scott, & Owen, 2004). Da nun der präfrontale Kortex und damit das Arbeitsgedächtnis bzw. die EF im hohen Erwachsenenalter durch einen Abbau von neuronalen Ressourcen charakterisiert sind (Good et al., 2001; Head et al., 2004, Salat et al., 2005), ist hypothetisch auch die Effizienz reduziert mit welcher die Repräsentationen gebildet werden können. Im Kindes- und Jugendalter ist demnach aufgrund des sich noch entwickelnden Arbeitsgedächtnisses ebenfalls eine reduzierte Effizienz zu erwarten.¹⁰ Gleiches gilt für Personen mit Beeinträchtigungen des präfrontalen Kortex. Der Abruf dieser Repräsentationen erfordert eine Beteiligung des Frontalhirns, weshalb sich zusätzlich die motorische Leistungsfähigkeit verschlechtert. Demgegenüber ist zu erwarten,

¹⁰ Allerdings müssen diesbezüglich die sensiblen Phasen berücksichtigt werden, in denen Kinder sehr empfänglich sind für den Erwerb bestimmter Fähigkeiten und Fertigkeiten. In diesen Phasen ist eine enorme Lerneffizienz zu erwarten. Allerdings gibt es keinen evidenzbasierten Nachweis dieser Phasen für den motorischen Bereich.

dass – da das motorische Gedächtnis weitestgehend erhalten bleibt – Repräsentationen gebildet werden können und das Lernpotenzial bestehen bleibt.

Die Entwicklungstrajektorien der motorischen und kognitiven Leistungsfähigkeit sowie der Zusammenhang zwischen diesen Aspekten über die Lebensspanne ist eine sich entwickelnde Thematik in der Motorikforschung. Es wird auch zukünftig viel Forschungsarbeit bedürfen, bis man motorische Verhaltensänderungen den jeweiligen strukturellen und physiologisch-funktionellen Veränderungen sowie den kognitiven Veränderungen im Gehirn exakt zuordnen können. Zur Erläuterung der zugrundeliegenden Mechanismen dieses Zusammenhangs haben Schott und Klotzbier (2018) ein Rahmenmodell vorgestellt, aus welchem überprüfbare Hypothesen abgeleitet werden können und dadurch ermöglicht, das SMART COMPASS-Modell zu evaluieren. Versuchsanordnungen mit Doppelaufgaben bieten eine ausgezeichnete Gelegenheit diese Zusammenhänge des Verhaltens zu studieren. Auch wird sich zeigen, ob das SMART COMPASS-Modell Wahrscheinlichkeitsaussagen zukünftiger Entwicklungserfolge bei Kindern, Jugendlichen und älteren Erwachsenen erlaubt. Das Thema dieser Arbeit fokussiert diesbezüglich auf den Zusammenhang zwischen EF und der motorischen Leistungsfähigkeit.

3 Motorisch-kognitive Interferenzen: Theoretische Modelle, Forschungsstand

3.1 Grundgedanke des Doppelaufgabenparadigmas

Bei Untersuchungsanordnungen dieser Art, werden den Versuchsteilnehmern gleichzeitig zwei verschiedene Aufgaben zur Bearbeitung gegeben. Ziel ist es, Leistungseinbußen (Doppelaufgabenkosten; im weiteren Verlauf mit DAK abgekürzt), als Beleg für die Kapazitätsbeschränkung des Informationsverarbeitungssystems, zu erforschen (Koch, 2008). Dies zeigt sich zumeist im Rückgang der Verarbeitungsgeschwindigkeit oder in einem Anstieg der Handlungsfehler. Der Begriff der DAK impliziert, dass es unter Doppelaufgabenbedingung zu einer beeinträchtigenden Wechselwirkung in der Bearbeitung der einzelnen Aufgaben kommt. Doppelaufgaben führen allerdings nicht immer und in allen Situationen (siehe Kapitel 3.2) zu Leistungseinbußen im Vergleich zur Einzelaufgabe, weshalb allgemeiner von „Doppelaufgabeneffekten“ (engl.: Dual Task Effect, DTE) oder „Interferenzen“ gesprochen wird.

Im Doppelaufgabenparadigma ist die Aufgabe, nach deren Aufmerksamkeitsanforderung gefragt wird, die Primäraufgabe. Die Sekundäraufgabe liefert demgegenüber ein Leistungsmaß, aus der die Anforderung der Primäraufgabe abgeleitet werden kann. Demnach ist die Leistung in der Sekundäraufgabe eine direkte Spiegelung der residualen (restlichen) Verarbeitungskapazität nach Bearbeitung der Primäraufgabe (siehe Abbildung 10). Ogden und Kollegen (1979) sprechen bei solch einem Vorgehen auch vom Sekundäraufgabenparadigma. Die Begriffe Doppelaufgaben- und Sekundäraufgabenparadigma werden in der Literatur häufig synonym verwendet.

Eine schlechte Leistung in der Sekundäraufgabe würde demnach darauf hindeuten, dass die Primäraufgabe große Anforderungen an die limitierten Aufmerksamkeitsressourcen stellt. Eine unveränderte Leistung der Sekundäraufgabe im Vergleich zur isolierten Durchführung deutet demnach auf eine Primäraufgabe hin, welche kaum Aufmerksamkeitsressourcen benötigt und somit automatisiert abläuft (Abernethy et al., 2001). Dieses komplementäre Prinzip (Norman & Bobrow, 1975) besagt also,

dass durch die Zuteilung der individuellen Ressourcen zu einer Aufgabe die Verfügbarkeit für eine zweite Aufgabe reduziert und dadurch die Leistungen beeinflusst werden. Diese Beziehung zwischen Ressourcenzuteilung und Leistung ist jedoch keine lineare. Es gibt bekanntermaßen neben den individuellen Ressourcen eine Vielzahl weiterer Faktoren, welche die Leistung in der Sekundäraufgabe beeinflussen. Diese sollen im Rahmen dieser Arbeit verdeutlicht werden.

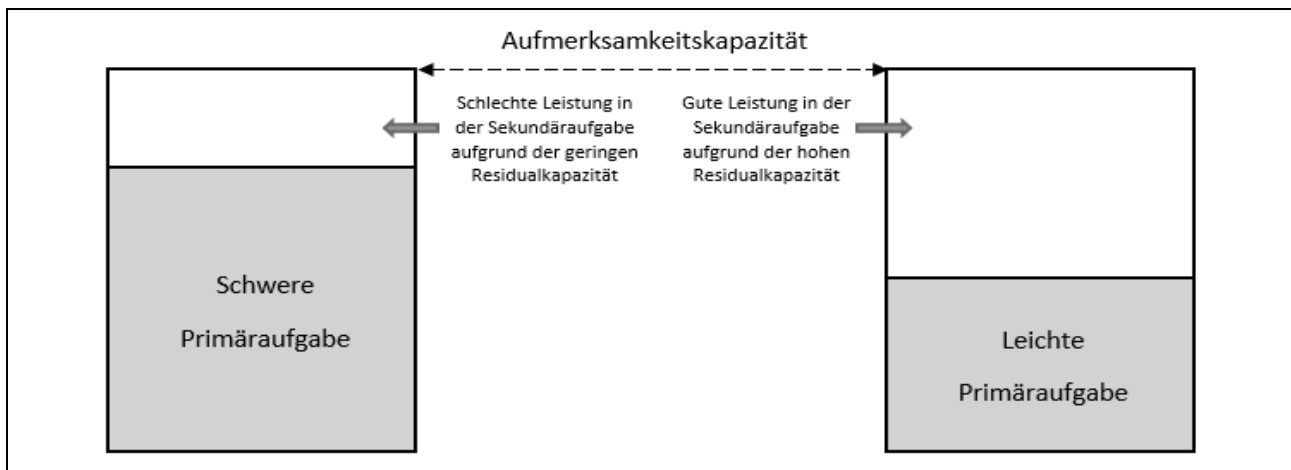


Abb. 10: Grundgedanke des Doppelaufgabenparadigmas zur Untersuchung der Aufmerksamkeitsanforderung der Primäraufgabe (mod. nach Abernethy et al., 2001, S.56).

3.2 Theoretische Ansätze zur Erklärung motorisch-kognitiver Interferenzen

In der Vergangenheit wurden diverse Modellvorstellungen, Konzepte und Theorien bezüglich der Informationsverarbeitung entwickelt, um DAK zu erklären.

Es gibt jedoch keinen Konsens darüber, welche Theorie die Auswirkungen von Doppelaufgaben am besten beschreibt (u.a. Plummer et al., 2013). Die am weitesten verbreiteten Theorien werden in Abbildung 11 zusammengefasst (vgl. Bayot et al., 2018 und Wollesen, 2018, S.23). Laut Wollesen (2018) adressieren die verschiedenen Erklärungsmodelle unterschiedliche Abschnitte bei der Bewältigung von Doppelaufgaben. Analog zu Wollesen (2018) verdeutlicht die hier dargestellte Strukturierung der Erklärungsansätze die Abhängigkeit von den limitierten Aufmerksamkeitsressourcen einer Person (Informationsverarbeitung) auf der ersten Ebene und den Sti-

mulus-Response Bedingungen der parallel zu bearbeitenden Aufgaben (Aufgabenspezif/Aufgabenbedingung) auf der zweiten Ebene. Die Modellvorstellungen auf der dritten Ebene fokussieren eher auf die Aufgabenbewältigung unter Doppelaufgabenbedingung. So kann es, in Abhängigkeit der individuell zur Verfügung stehenden Aufmerksamkeitsressourcen, der Aufgabenschwierigkeit/-komplexität (Aufgabenspezif) und der individuellen Bearbeitungsstrategien, zu unterschiedlichen Mustern der motorisch-kognitiven Interferenzen kommen. Entsprechend können Störungen bzw. Probleme bei der Bearbeitung von Doppelaufgaben auf drei verschiedenen Ebenen der kognitiv-motorischen Prozesse erfolgen: der Informationsaufnahme und -verarbeitung, der Aufgabenspezif und der individuellen Bearbeitungsstrategien (Wollesen, 2018).

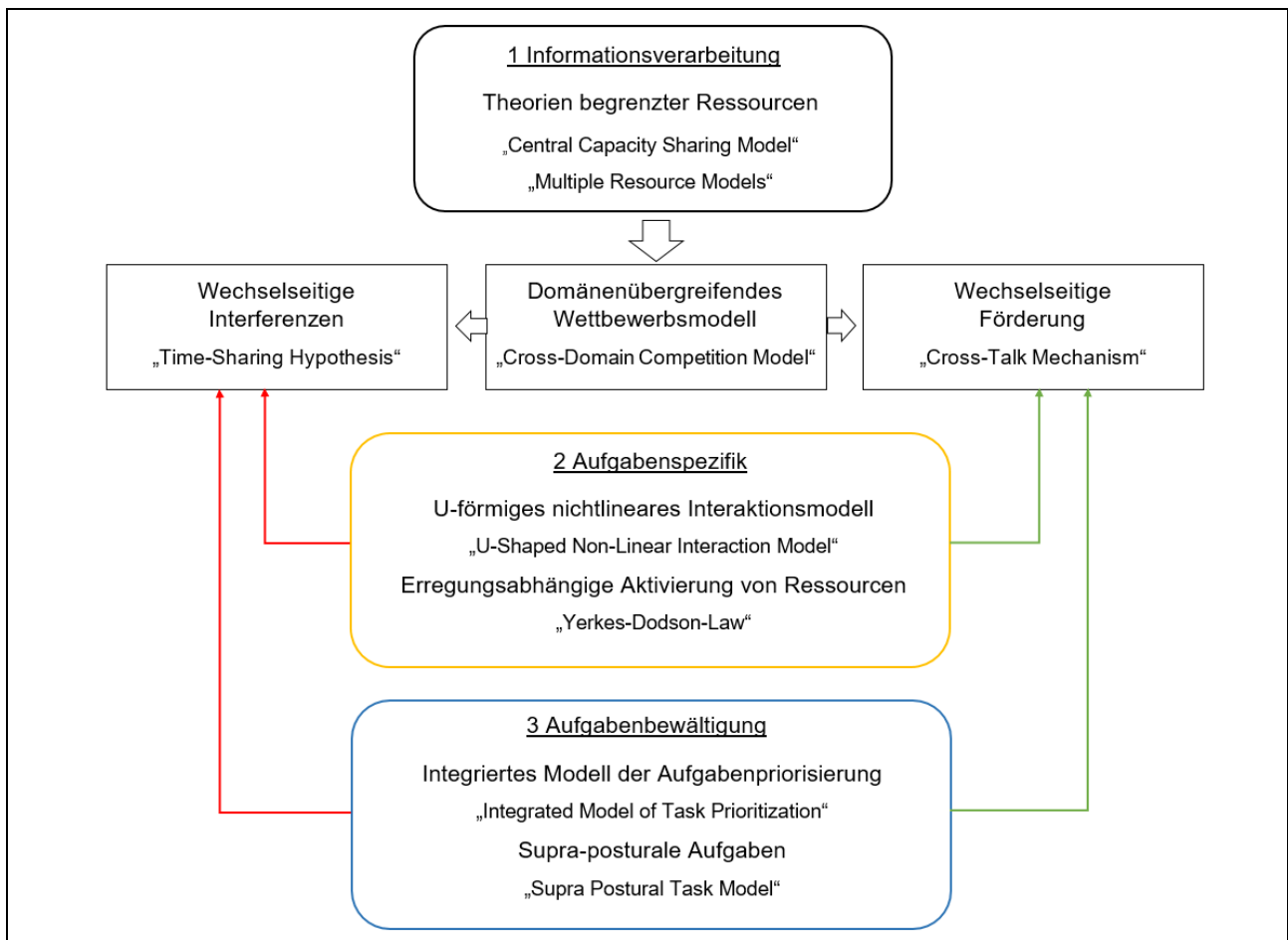


Abb. 11: Überblick der theoretischen Ansätze zur Erklärung motorisch-kognitiver Interferenzen

Auffallend ist, dass die kognitive Psychologie sich bei Fragen zur Informationsverarbeitung stets technischen Metaphern bedient. Deren heuristischer Nutzen besteht

darin, die angenommenen, funktionellen Eigenschaften der menschlichen Informationsverarbeitung zu veranschaulichen. In den 50er Jahren war es das Modell der Nachrichtenübermittlung innerhalb eines mit begrenzter Kapazität ausgestatteten Informationskanals („Ein-Kanal“ Theorie), wie es bspw. ein Telefonnetz darstellt. Diese Metapher inspirierte z.B. Broadbent's Modell der Aufmerksamkeit (Broadbent, 1958). Einige Jahre später hatte man die Vorstellung, dass die limitierte Informationsverarbeitung aufgrund der begrenzten Aufmerksamkeitsressourcen analog zu einem Computerspeicher gesehen werden kann (Navon, 1984). In jüngerer Zeit taucht eine neue, der Natur entlehnte Metapher in der theoretischen Diskussion auf. Es handelt sich um die Metapher neuronaler Netze, an welcher sich die konnektionistischen Ansätze orientieren (Allport, 1989; Neumann, 1992).

Ein Teil der Erklärungsansätze stammen aus frühen Forschungsarbeiten zur visuellen und auditiven Aufmerksamkeit, welche die Auffassung vertreten, dass es serielle Flaschenhälse im Informationsverarbeitungssystem geben muss. Damit sind jene Abschnitte gemeint, an denen es nicht mehr möglich ist, Informationen parallel zu verarbeiten. Bereits in den fünfziger Jahren untersuchte Welford (1952) die Reaktionszeiten auf zwei hintereinander gegebene visuelle Stimuli. Die Versuchspersonen reagierten schneller, wenn das Inter-Stimulus-Intervall (ISI) größer wurde. Diese Untersuchung deutete darauf hin, dass die Verarbeitung des zweiten Reizes erst beginnen konnte, wenn der erste Stimulus den Engpass der Aufmerksamkeit (Flaschenhals) verlassen hatte und die Reaktion auf den ersten Stimuli ausgeführt wurde. Welford (1952) sah dies als Beleg für eine „Ein-Kanal“ Theorie. Eines der ersten Modelle dieser Art, das „Filtermodell der Aufmerksamkeit“, wurde von dem britischen Psychologen Donald Broadbent (1958) beschrieben. Er verstand das Informationsverarbeitungssystem als eine limitierte Kapazität welche einen Filter benötigt, der die enorme Menge an eingehenden Informationen vorab untersucht und selektiert. Die Filtertheorie von Broadbent ist somit eine „Theorie der frühen Auswahl“, welche besagt, dass Informationen bereits vor einer semantischen Analyse auf Grundlage ihrer physikalischen Eigenschaften (z.B. Stimmlage oder Tonhöhe) und somit bereits vor ihrer Wahrnehmung aus dem Informationsprozess entfernt werden. Die verschiedenen Theorien und Modelle, welche diesem Grundgedanken folgen, unterscheiden sich in

erster Linie im Hinblick auf den Zeitpunkt des Auftretens dieser Flaschenhalse. Die zahlreichen Versuche, die seriellen Flaschenhalse bei der menschlichen Informationsverarbeitung zuverlässig zu lokalisieren, erwiesen sich allerdings als wenig erfolgreich. Vielmehr scheint es in Abhängigkeit der Aufgabenkombination und Bearbeitungsstrategien mehrere Flaschenhalse zu geben (Barber, 1989).

Als Antwort auf die inkonsistente Datenlage und der begrenzten Zuverlässigkeit der bestehenden Theorien zur Erklärung von DAK wurde das Problem von einigen Wissenschaftlern neu formuliert. Sie verstanden die Aufmerksamkeit nicht als eine Art Filter, sondern vielmehr als begrenzte mentale Kapazität, welche den entsprechenden Aufgaben zugeteilt werden kann. Moray (1967) vergleicht die Informationsverarbeitung mit der Rechenkapazität eines Computerprozessors, der mehrere Operationen parallel durchzuführen vermag und dessen Kapazität ebenfalls begrenzt ist. Verschiedene Aufgaben können demnach so lange parallel ausgeführt werden, solange die zur Verfügung stehende Kapazität nicht überschritten wird. Wenn nun aber durch eine simultane Ausführung zweier Aufgaben die verfügbare Kapazität nicht ausreicht, kommt es zu Interferenzen in den jeweiligen Aufgaben. Keine Interferenzen würden demnach auftreten, wenn bei der Kombination zweier Aufgaben deren Anforderungen zusammengenommen nicht die Grenze der Verarbeitungskapazität übersteigen (Navon & Gopher, 1979). Wissenschaftler, die an einer solchen Sichtweise festhalten unterscheiden sich, analog der Diskussion zur Lokalisierung der seriellen Flaschenhalse, in der Annahme, wo genau diese begrenzte Kapazität existiert.

3.2.1 Theorien begrenzter Ressourcen

Eine der ersten Theorien dieser Art wurde von dem israelisch-US-amerikanischen Psychologen Daniel Kahnemann (1973) beschrieben. Nach Kahnemann besteht ein zentraler Ressourcenspeicher, um welchen die auszuführenden Aktivitäten und Aufgaben konkurrieren. Er versteht diesen Speicher als eine undifferenzierte und anpassungsfähige Kapazität, welche je nach Anforderung den konkurrierenden Aufgaben flexibel zugeteilt werden kann. Diese flexible Zuteilung („Verteilungsinstanz“) lie-

fert eine begründete Erklärung, warum es bei verschiedenen Aufgabenkombinationen verschiedene Flaschenhälse zu geben scheint. Nach seinem Modell (siehe Abbildung 12) variiert die verfügbare Kapazität mit dem Grad der aktuellen physiologischen Aktivierung („Erregungsniveau“) und in Abhängigkeit des selbst eingeschätzten Schwierigkeitsgrades der Aufgabe („Beurteilung der Kapazitätsanforderungen der Situation“). Ist das Erregungsniveau zu hoch oder zu niedrig, sind auch die zur Verfügung stehenden Aufmerksamkeitskapazitäten und die damit verbundene Leistungsfähigkeit entsprechend hoch oder niedrig.

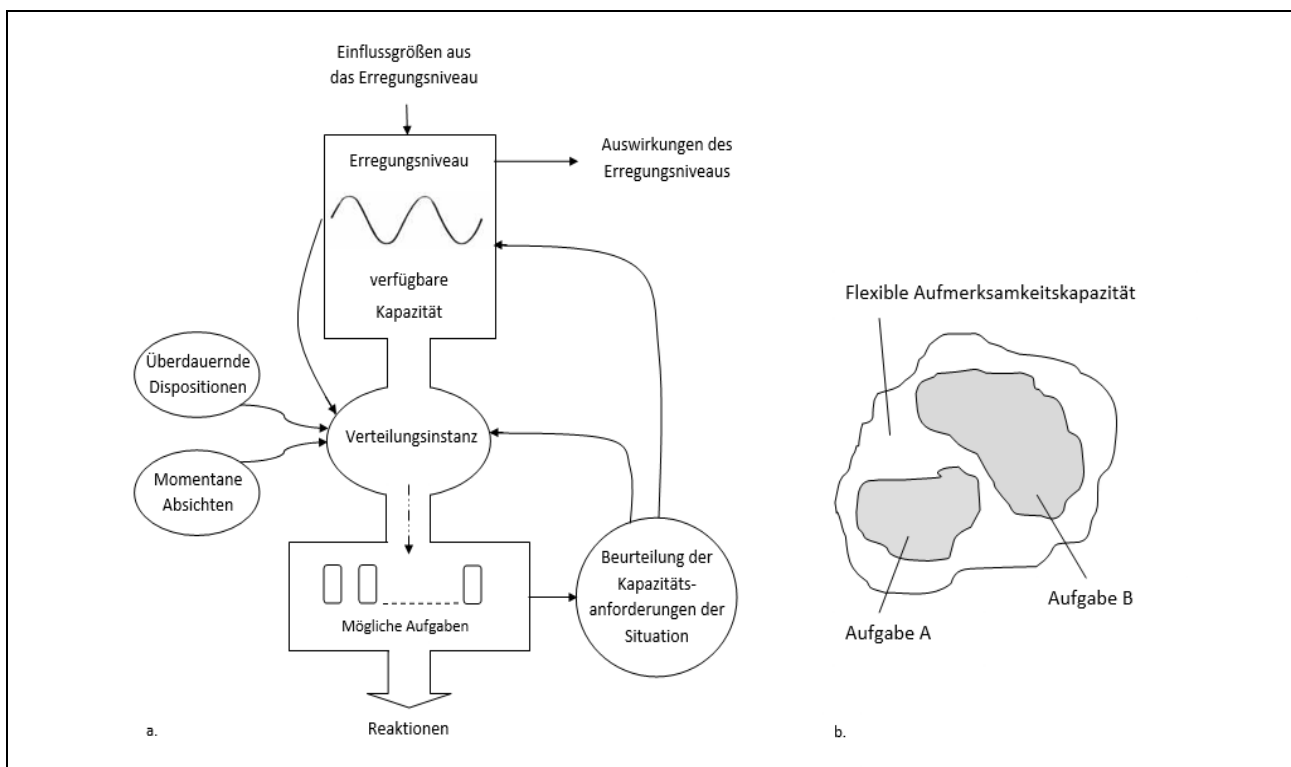


Abb. 12: a. Kahneman's Modell der Aufmerksamkeit (mod. nach Kahneman, 1973, S.10). b. Die Grafik verdeutlicht, dass zwei Aufgaben (Aufgabe A und B) simultan durchgeführt werden können, wenn die Aufmerksamkeitsanforderungen die verfügbare Aufmerksamkeitskapazität nicht überschreiten. Die Wellenlinien sollen die Möglichkeit einer flexiblen Zuteilung dieser Kapazität verdeutlichen. (mod. nach Magill, 2011, S.197).

Diese Zuteilung der Kapazität wird erstens von biologisch oder durch Lernerfahrung bedingten Dispositionen („Überdauernde Dispositionen“), zweitens von den aktuellen Absichten („Momentane Absichten“) und drittens von den jeweiligen Aufgabenanforderungen („Beurteilung der Kapazitätsanforderungen der Situation“) an die Person gesteuert. Eine parallele Informationsverarbeitung ist nach diesem Modell prinzipiell möglich und steht somit im Widerspruch zur „Ein-Kanal“ Theorie. Ressourcen sind

unspezifisch und werden flexibel nach bestimmten Kriterien zugeteilt. Interferenzen sind in erster Linie von den Aufgabenanforderungen und deren Schwierigkeitsgrad abhängig (unspezifische Interferenz).

Zahlreiche empirische Untersuchungen (Treisman & Davies, 1973; Neumann, 1987; Manzey, 1988; Segal & Fusella, 1970) konnten jedoch zeigen, dass DAK nicht nur von der Schwierigkeit der Aufgabe, sondern auch von der Struktur der Aufgabe abzuhängen scheinen (spezifische Interferenz). So konnte Manzey (1988) beispielsweise durch eine Kombination der Sternberg-Aufgabe¹¹ (Sternberg, 1966) und einer Kopfrechenaufgabe weitaus größere Interferenzen nachweisen als durch eine Kombination der Sternberg-Aufgabe mit einer motorischen Kippschalteraufgabe. Auch Navon und Gopher (1980) begreifen die Aufmerksamkeit als eine Reihe unabhängig voneinander organisierter Verarbeitungsressourcen mit jeweils spezifischen Kapazitäten. Ihre und die Theorien multipler Ressourcen von Allport (1980) und Wickens (1980) zählen zu den verbreitetsten dieser Art. Ein entscheidender Nachteil des Modells von Allport, als auch das von Navon und Gopher besteht jedoch darin, dass die Anzahl und Art der verschiedenen Verarbeitungsressourcen unspezifiziert bleiben (Schweizer, 2006). Weiterhin erlaubt dieser Ansatz keine klaren Vorhersagen, entzieht sich somit einer Falsifikation (Lund, 2001). Das von Wickens (1980) postulierte Modell multipler Ressourcen (siehe Abbildung 13) schlägt dagegen drei kategoriale, jeweils dichotome Verarbeitungsdimensionen vor: die Verarbeitungsstufe (Enkodieren; zentrale Verarbeitung; Antwort), die Wahrnehmungsmodalität (Input: auditiv vs. visuell; Output: manuell vs. vokal) und die Verarbeitungsweise (Kodierung: räumlich vs. verbal).

Die Struktur der Aufgabe wird als Kombination dieser Verarbeitungsdimensionen verstanden, für welche jeweils eine spezifische Ressource zur Verfügung steht. Grundgedanke ist, dass zwei in ihrer Struktur gleichartige Aufgaben schwieriger parallel auszuführen sind als solche, die sich in verschiedenen Dimensionen unterscheiden.

¹¹ Nach dem amerikanischen Psychologen Paul Sternberg (1966) benanntes Paradigma bzw. methodisches Vorgehen der experimentellen Gedächtnispsychologie zur Untersuchung des Kurzzeitgedächtnisses: Ein Proband wird aufgefordert, einige Items (z.B. Ziffern) im Gedächtnis zu behalten. Im Anschluss wird gefragt, ob sich eine bestimmte Ziffer unter den zu merkenden Items befand.

Falls beispielsweise für eine Aufgabenkombination einmal manuell und einmal vokal reagiert werden muss (Freisprecheinrichtung im Auto), sollte eine Person nur wenige Schwierigkeiten haben beide simultan durzuführen.¹² Im Gegenzug sollten Personen Schwierigkeiten haben zwei manuelle Reaktionen (während dem Autofahren ein Handy bedienen) gleichzeitig zu bearbeiten. Im ersten Fall werden für die Reaktionen keine gemeinsamen Ressourcen genutzt. Im zweiten Fall werden für zwei manuelle Reaktionen gemeinsame Ressourcen beansprucht.

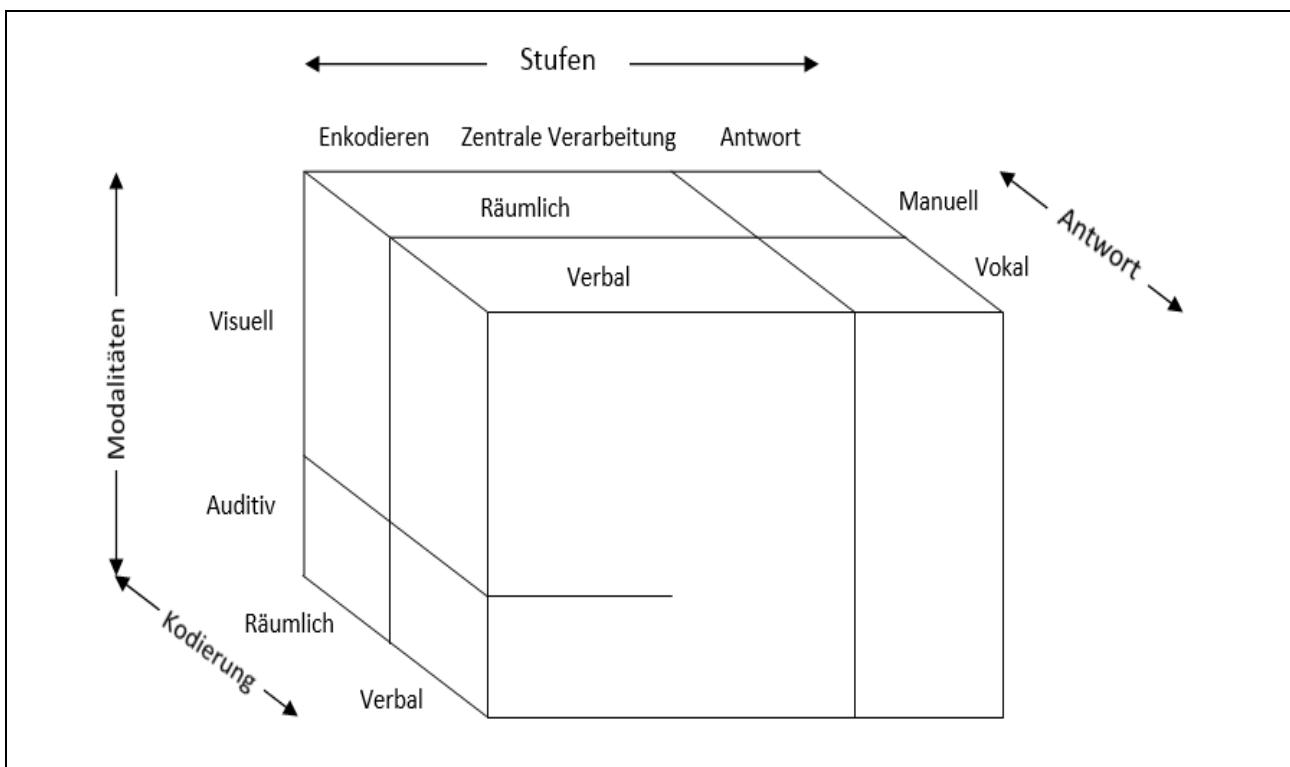


Abb. 13: Würfelmodell multipler Ressourcen nach Wickens (mod. nach Wickens, 1984, S.81).

Eine solche Einteilung von Ressourcen hat den Vorteil, dass die Beanspruchung dieser Ressourcen leicht zu erkennen ist, führt aber zu der fälschlichen Annahme, dass dabei alle Arten von Ressourcen abgebildet sind. Andere Arten sind jedoch denkbar. Bei den Modalitäten fehlen beispielsweise taktile Wahrnehmungen, deren Einsatz vielfältig möglich ist. Auch eine emotionale Komponente, welche in Kahnemann's

¹² Strayer und Drews (2007b) gehen der Frage nach, ob die Interferenzen der manuellen Manipulation des Handys (z.B. Wählen, Halten des Telefons) oder den kognitiven Anforderungen des Gesprächs selbst zugeschrieben werden kann.

Modell durch die physiologische Aktivierung abgebildet ist, wurde im Würfelmodell nicht berücksichtigt.¹³

Das Modell von Wickens kann als Erweiterung zu Kahnemann's Aufmerksamkeits-theorie gesehen werden und liefert eine Entscheidungshilfe zur Auswahl der verschiedenen parallel zu verarbeitenden Aufgaben. Gleichzeitig ist die Existenz einer übergeordneten unspezifischen Ressource, welche für allgemeine koordinierende Funktionen beansprucht wird, implizit auch in jedem Modell multipler Ressourcen vorhanden (Manzey, 1988). Jedoch gelang der Versuch die vielfältigen Forschungsergebnisse mit diversen Modellvarianten (Wickens, 1976; Wickens, 1980, 1984; Wickens & Liu, 1988) zu erklären, nur unzureichend. Zudem kann nicht erklärt werden, wieso es zu DAK kommt, wenn scheinbar keine strukturellen Überlappungen der Aufgaben vorliegen (Barber, 1989). Es ist sehr unwahrscheinlich und wenig plausibel, dass sich die gleichzeitige Beanspruchung verschiedener Modalitäten überhaupt nicht auf die Leistung auswirken soll (Neumann, 1996). Einige empirische Befunde, die zeigen können, dass Interferenzeffekte gerade mit zunehmender Aufgabenähnlichkeit schwächer werden, sind nicht ohne weiteres mit dieser theoretischen Vorstellung erklärbar (Duncan, 1979; Klapp, 1979). Wenngleich dieser theoretische Ansatz hilfreich sein kann zu bestimmen, wann Aufmerksamkeitsanforderungen kontextspezifisch zu klein oder zu groß sind, kann für Aufgabenkombinationen eine Vielzahl an Ressourcenkombinationen postuliert werden und ist laut Navon (1984) der Grund dafür, weshalb sich die Theorie nach Wickens (1984) kaum empirisch widerlegen lässt. Außerdem verliert das Modell in dem Maße, in dem immer spezifischere Ressourcen postuliert werden müssen an Ökonomie und Erkenntnisgewinn (Hirst & Kalmar, 1987).

Die Probleme und Grenzen der Ressourcentheorien führten zu einer theoretischen Neuorientierung (Manzey, 1993). Allport (1989) und Neumann (1992) betonen die zentrale Rolle der Aufmerksamkeit für die Vermittlung zielgerichteter Handlungen („Selection for Action“). Demzufolge dient die Aufmerksamkeit im Wesentlichen der

¹³ Stark emotional aufgeladene Informationen (beispielsweise ein sehr wichtiger geschäftlicher Anruf) können die Aufmerksamkeit stark vereinnahmen (vgl. Öhman, Flykt, & Esteves, 2001; Schupp, Stockburger, Codispoti, Junghöfer, Weike, & Hamm, 2007; bei emotionsbeladenen visuellen Reizen).

Handlungssteuerung. Diese handlungsvermittelnde Funktion besteht in erster Linie darin, das Verarbeitungssystem, von der Wahrnehmung bis zur motorischen Antwort, so einzustellen, dass die gegebenen Handlungsziele möglichst effizient und koordiniert erreicht werden können (Krummenacher & Müller, 2017). Interferenzen entstehen nach diesen Modellvorstellungen dadurch, dass die beteiligten Informationsverarbeitungsprozesse unkoordiniert ablaufen, sich gegenseitig hemmen und nicht voneinander isoliert werden können. D.h. auch, dass die Aufgaben nicht gekoppelt und in einen übergeordneten Handlungsplan integriert werden können (Manzey, 1993). Diese unzureichende Trennung zwischen den Informationskanälen führt zu „Crosstalk“-Mechanismen und Problemen bei der Organisation und Koordination multipler Handlungen.

3.2.2 Domänenübergreifendes Wettbewerbsmodell

Das Domänenübergreifende Wettbewerbsmodell oder „Cross-Domain Competition Model“ (Lacour, Bernard-Demanze, & Dumitrescu, 2008) geht ebenfalls von limitierten Aufmerksamkeitsressourcen aus. Das Modell versucht darüber hinaus, die Ergebnisse zu erklären, wonach zwei in ihrer Struktur scheinbar unähnliche bzw. ungleiche Aufgaben miteinander interferieren. Es wird postuliert, dass die motorische Kontrolle und verschiedene kognitiven Aufgaben (in erster Linie EF) miteinander um Aufmerksamkeitsressourcen konkurrieren. Exekutive Kontrollprozesse sowie die Integration sensorischer Informationen stellen demnach für die Fortbewegung und Gleichgewichtskontrolle wichtige Faktoren dar (Bonnet & Baudry, 2016; Lacour et al., 2008; Wollesen, Voelcker-Rehage, Regenbrecht, & Mattes, 2016). In Abhängigkeit der Art und des Schwierigkeitsgrades der Aufgaben, können die Interferenzen unterschiedlich groß ausfallen (Dault, Frank, & Allard, 2001a; Dault, Geurts, Mulder, & Duysens, 2001b; Vuillerme & Vincent, 2006).

Entsprechend sind unter Doppelaufgaben nicht immer reduzierte Leistungen zu beobachten (Yardley, Gardener, Bronstein, Davies, Buckwell, & Luxon, 2001; Shumway-Cook, Woollacott, Kerns, & Baldwin, 1997; Andersson, Hagman, Talianzadeh, Svedberg, & Larsen, 1998; Andersson, Yardley, & Luxon, 1998). So sieht man unter

Doppelaufgabenbedingung vor allem bei einfachen kognitiven Reaktionszeitaufgaben verbesserte Leistungen in der motorischen Kontrolle (Vuillerme, Nougier, & Teasdale, 2000; Riley, Baker, & Schmit, 2003). Auf Grundlage vergleichbarer Untersuchungsergebnisse (Prado, Stoffregen, & Duarte, 2007; Swan, Otani, Loubert, Sheffer, & Dunbar, 2004) wurde das „U-Shaped Non-Linear Interaction Model“ vorgeschlagen (Lacour et al., 2008; Vuillerme, Nougier, & Teasdale, 2000).

“Taken together, these data point to serious limitations of this [...] model, in that it fails to account for all the data recorded in dual-tasking.” (Lacour et al., 2008, S. 413)

Laut Lacour et al. kann das domänenübergreifende, ressourcenorientierte Wettbewerbsmodell die heterogenen Befunde nicht ausreichend differenziert erklären (2008).

3.2.3 U-förmiges nichtlineares Interaktionsmodell

Der Grundgedanke des U-förmigen nichtlinearen Interaktionsmodells (engl.: „U-Shaped Non-Linear Interaction Model“) ist, dass der Aufmerksamkeitsfokus von der motorischen Aufgabe in Richtung der kognitiven Zusatzaufgabe weggelenkt wird und die motorische Aufgabe (z.B. Gleichgewichtsaufgabe) dadurch automatisiert abläuft (McNevin & Wulf, 2002; Riley, Baker, & Schmit, 2003; Wulf, Mercer, McNevin, & Guadagnoli, 2004). Umgekehrt führt eine explizite Fokussierung auf das Gleichgewicht zu einer erhöhten Schwankungsvariabilität (Vuillerme & Nafati, 2007). Diese Beobachtungen machten Huxhold, Schmiedek und Lindenberger (2008) bei statischen Gleichgewichtsaufgaben und analog dazu (Verrel, Lövdén, Schellenbach, Schaefer, & Lindenberger, 2009) bei dynamischen Gleichgewichtsaufgaben (siehe Abbildung 14 & 15). Beide Autorengruppen verglichen junge und ältere Erwachsene in Doppelaufgaben mit verschiedener kognitiver Aufgabenschwierigkeit. Bei jungen Erwachsenen wird die motorische Leistung mit zusätzlicher kognitiver Aufgabe besser. Bei genauerer Betrachtung der Abbildungen 14 und 15 zeigt sich, dass eine einfache kognitive Aufgabe zu einer Verbesserung der motorischen Aufgabe führt. Durch das Weglenken der Aufmerksamkeit in Richtung kognitiver Aufgabe wird die motorische Aufgabe automatisiert durchgeführt.

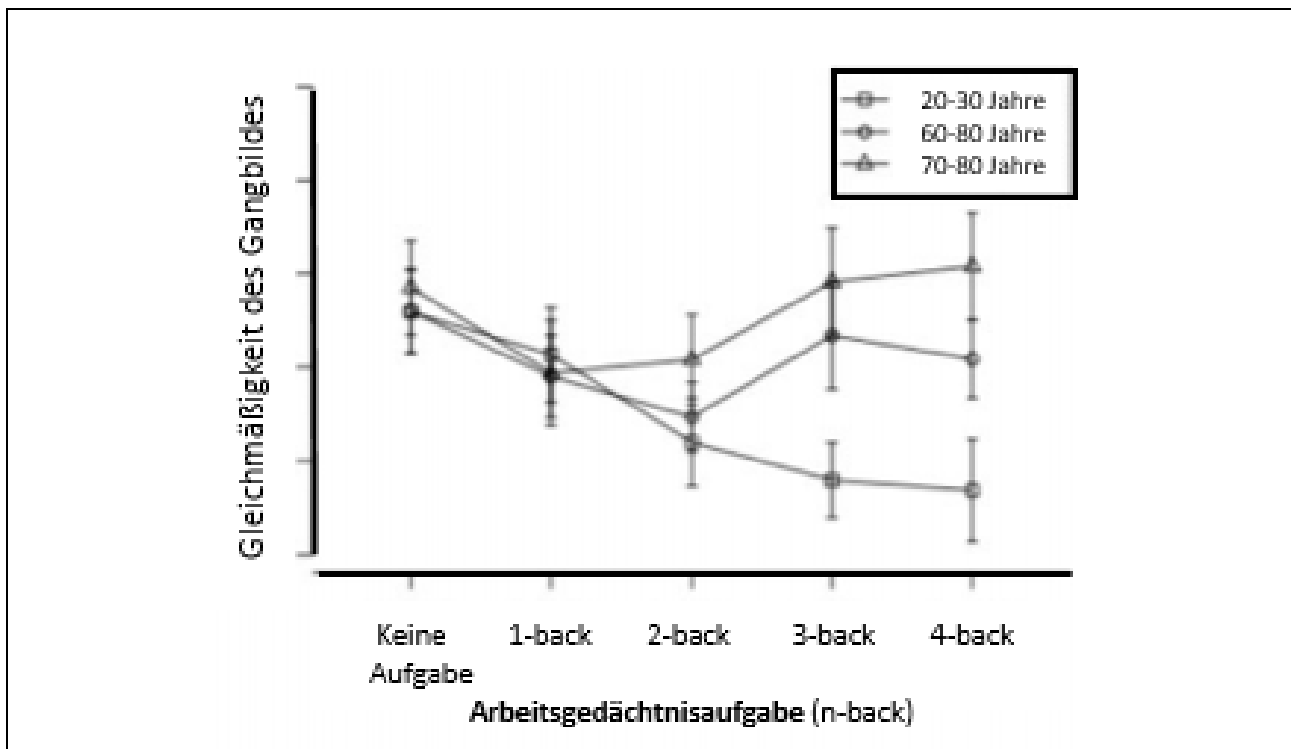


Abb. 14: Gleichmäßigkeit des Gangbildes unter Doppelaufgabenbedingung und kognitiven Aufgaben mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad bei jungen und älteren Erwachsenen. Dynamische Gleichgewichtsaufgabe: Laufen auf einem Laufband (mod. nach Verrel et al., 2009, S.79). Eine höhere Ausprägung auf der y-Achse steht für ein ungleichmäßiges Gangbild.

Der „Constrained Action“-Hypothese (Wulf, McNevin, & Shea, 2001) zufolge führt die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf eine hoch automatisierte Bewegung (interner Fokus) zu Interferenzen und Leistungseinschränkungen in der selbigen. Demgegenüber führt ein externer Aufmerksamkeitsfokus in Richtung kognitiver Aufgabe zu einem selbstorganisierten und automatisierten Bewegungsablauf und verbesserter Leistungsfähigkeit.

Bei steigender kognitiver Beanspruchung überlagert der negative Effekt des Wettbewerbs um begrenzte Aufmerksamkeitsressourcen den begünstigenden Effekt eines externen Aufmerksamkeitsfokus. Eine Abnahme der Leistung kann als Resultat beobachtet werden. Somit können in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Aufmerksamkeitsressourcen, verschiedene in ihrem Schwierigkeitsgrad differierende Aufgaben zu entgegengesetzten Effekten führen. Ein Vergleich zwischen verschiedenen Altersgruppen zeigt einen abnehmenden positiven Effekt einer kognitiven Zusatzaufgabe bei älteren Personen (Huxhold et al., 2008; Verrel et al., 2009).

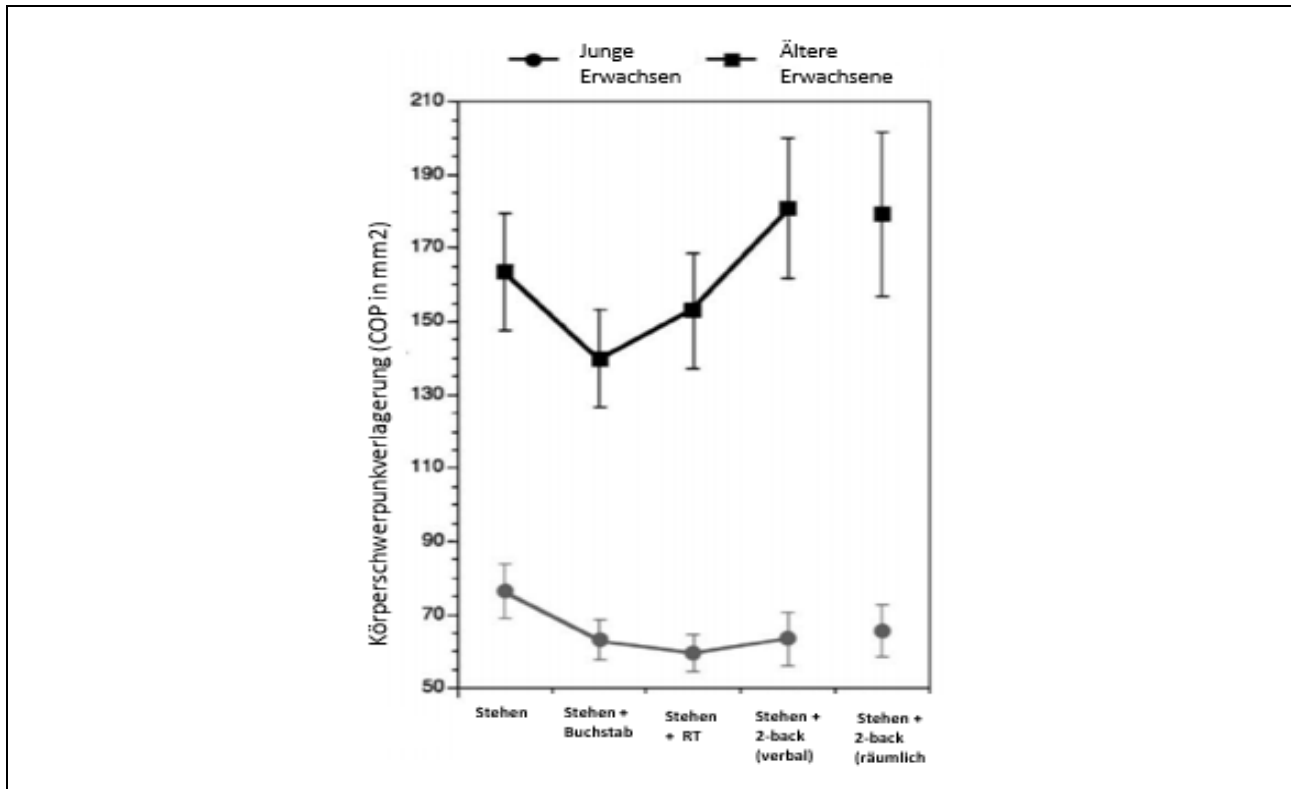


Abb. 15: Körperschwerpunktverlagerung in Doppelaufgaben bei jungen und älteren Erwachsenen in Abhängigkeit der kognitiven Schwierigkeitsstufe mit statischer Gleichgewichtsaufgabe. Statische Gleichgewichtsaufgabe: Stehen auf einer Kraftmessplatte (mod. nach Huxhold et al., 2006, S.300).

Mit anderen Worten kann bei älteren Erwachsenen eine U-förmige Beziehung zwischen der motorischen Leistung und der Schwierigkeitsstufe der sekundären kognitiven Zweitaufgabe beobachtet werden.

3.2.4 Integriertes Modell der Aufgabenpriorisierung

Ein weiteres Modell ist das „Integrated Model of Task Prioritization“ oder „Task Prioritization Model“ (Yogev-Seligmann, Hausdorff, & Giladi, 2012). Das Modell versucht zu erklären, warum es unterschiedliche Strategien gibt Doppelaufgaben zu bearbeiten und wieso die Priorisierung der Aufmerksamkeitsressourcen unterschiedlich ausfallen kann.

Das SOK-Modell (engl.: Model of Selection, Optimization and Compensation; SOC) nach Baltes und Baltes (1990) geht von einer lebensspannentheoretischen Annahme aus, nach welcher jede Phase der Entwicklung sowohl durch Ressourcen-Gewinne (z.B. kognitive Ressourcen) als auch durch Ressourcen-Verluste charakterisiert ist. Das Verhältnis von Gewinnen und Verlusten verändert sich jedoch dergestalt, dass

in jüngeren Entwicklungsphasen Gewinne vorherrschen und im hohen Alter die Verluste (z.B. gesundheitliche Probleme, kognitive Verluste) überwiegen. Zentrale Annahme ist, dass durch erfolgreiche Koordination von drei Anpassungsprozessen, ein relativ stabiles Funktionsniveau aufrecht erhalten bleiben kann. Dabei sind die Selektion, Optimierung und Kompensation zentrale Prozesse für diese Entwicklungsregulation. Die positive Gestaltung der sich verändernden Ressourcenlagen und der Umgang mit Verlusten stehen hierbei im Mittelpunkt. Einer der wichtigsten Prozesse und einer der die Ressourcenzuteilung und die Priorisierung versucht zu erklären ist der Prozess der Selektion. Eine verlustbasierte Selektion bezieht sich auf die Umstrukturierung von Zielen, wenn diese aufgrund von Verlusten oder Einschränkungen nicht aufrechterhalten werden können. Hierzu zählen das Setzen neuer Prioritäten, die Konzentration auf zentrale Ziele und die Anpassung von Zielen an neue Gegebenheiten (Möglichkeit, Ressourcenverluste zu bewältigen).

Das „Stop Walking While Talking“-Phänomen (Lundin-Olsen et al., 1997; siehe auch Verghese et al., 2007) ist ein Beispiel für eine Priorisierung der motorischen Aufgabe. Lundin-Olsson und Kollegen (1997) machten in ihrer täglichen klinischen Arbeit die

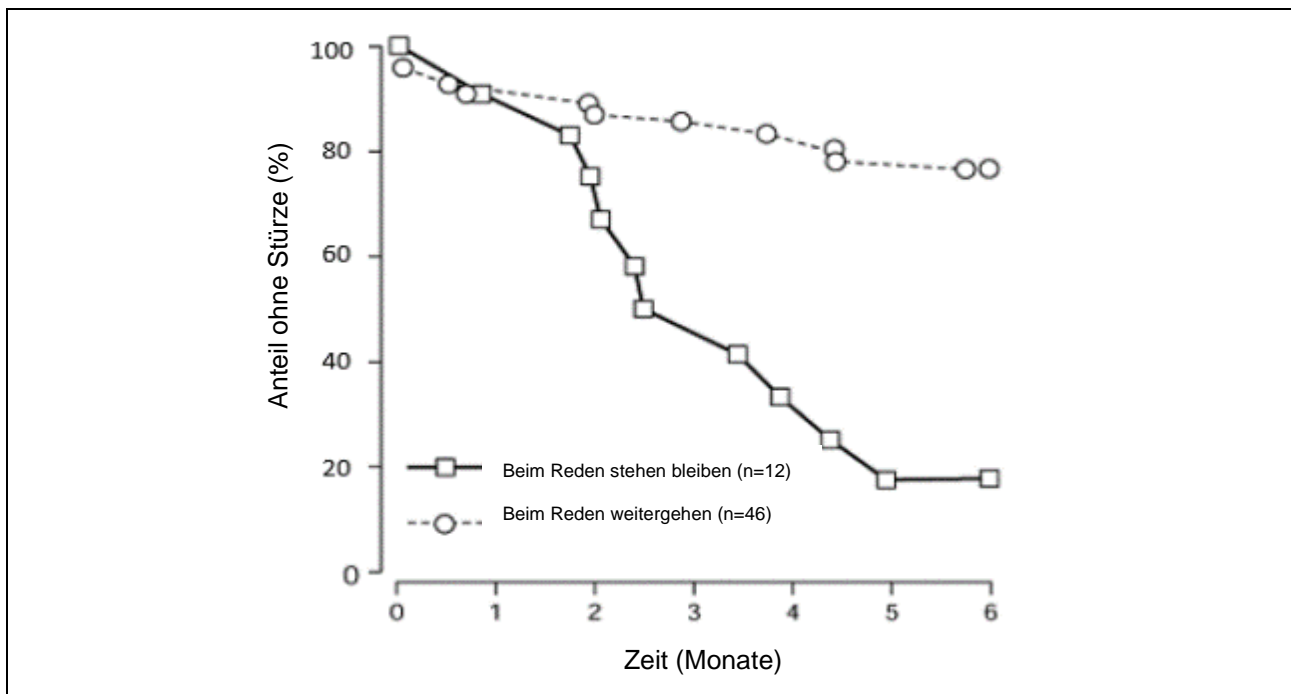


Abb. 16: Verteilung der Stürze bei Personen mit und ohne "Stop Walking While Talking" Ereignis (mod. nach Lundin-Olsson et al., 1997, S.617). Die Autoren konnten zeigen, dass eine Person, welche stehen bleiben muss um eine Unterhaltung zu führen, mit einer Wahrscheinlichkeit von 83% zukünftig wenigstens einmal stürzen wird.

Beobachtung, dass viele, vor allem gebrechliche ältere Personen stehen blieben oder gar stürzten, wenn sie während dem Gehen vom Therapeuten angesprochen wurden. In ihrer wegweisenden „Stop Walking While Talking“-Studie konnten die Autoren zeigen, dass die Probleme während dem Gehen ein Gespräch zu führen, als Marker für zukünftige Stürze bei älteren Pflegeheimbewohnern identifiziert werden kann (siehe Abbildung 16).

Insgesamt scheint es, dass ältere vor allem gebrechliche, ältere Personen (wenn die Aufmerksamkeit geteilt werden muss) die kognitiven Aufgaben vernachlässigen und sich auf die motorischen Aufgaben (insbesondere bei Gleichgewichtsaufgaben) konzentrieren. Hierbei spricht man auch von einer „Posture First“-Strategie (siehe Shumway-Cook, Baldwin, Polissar, & Gruber, 1997; bei älteren Personen und Andersson, Hagman, Talianzadeh, Svedberg, & Larsen, 2003; bei Personen mit Gleichgewichtsstörungen). Daneben gibt es eine „Posture Second“-Strategie, bei der die motorische Aufgabe vernachlässigt wird (siehe Bloem et al., 2006 sowie Huang, Chen, Hwang & Wu, 2018; bei Personen mit PD). Ziel ist es, die Domäne zu wählen, die wichtiger bzw. ökologisch relevanter erscheint. Yogev-Seligman und Kollegen (2012) haben sich die wichtigsten Studien zum Thema Aufgabenpriorisierung bei Doppelaufgaben mit Gleichgewichtsaufgaben angesehen und die zentralen Annahmen zusammengefasst. Die Autoren sprechen von zwei grundlegenden Annahmen: Die Gleichgewichtsreserve (engl.: Postural Reserve; die Fähigkeit eine Gleichgewichtsaufgabe auszuführen) und die Gefahreinschätzung (engl.: Hazard Estimation; die Fähigkeit, mögliche Gefahren der Umwelt sowie individuelle Einschränkungen zu erkennen). Das Zusammenspiel zwischen diesen beiden Anforderungen (Gleichgewichtsreserve und Gefahreinschätzung) (Brown, Sleik, Polych, & Gage, 2002) bestimmt maßgeblich, welche Strategie der Priorisierung letztendlich ausgeführt wird.

Abbildung 17 verdeutlicht das generelle Muster der Aufgabenpriorisierung mit den Phänomenen „Stop Walking While Talking“ und „Stop Talking While Walking“. Gesunde Personen mit intakter Gleichgewichtskontrolle fokussieren auf die kognitive Aufgabe solange die wahrgenommene Gefahr aus dem Gleichgewicht zu geraten gering ist.

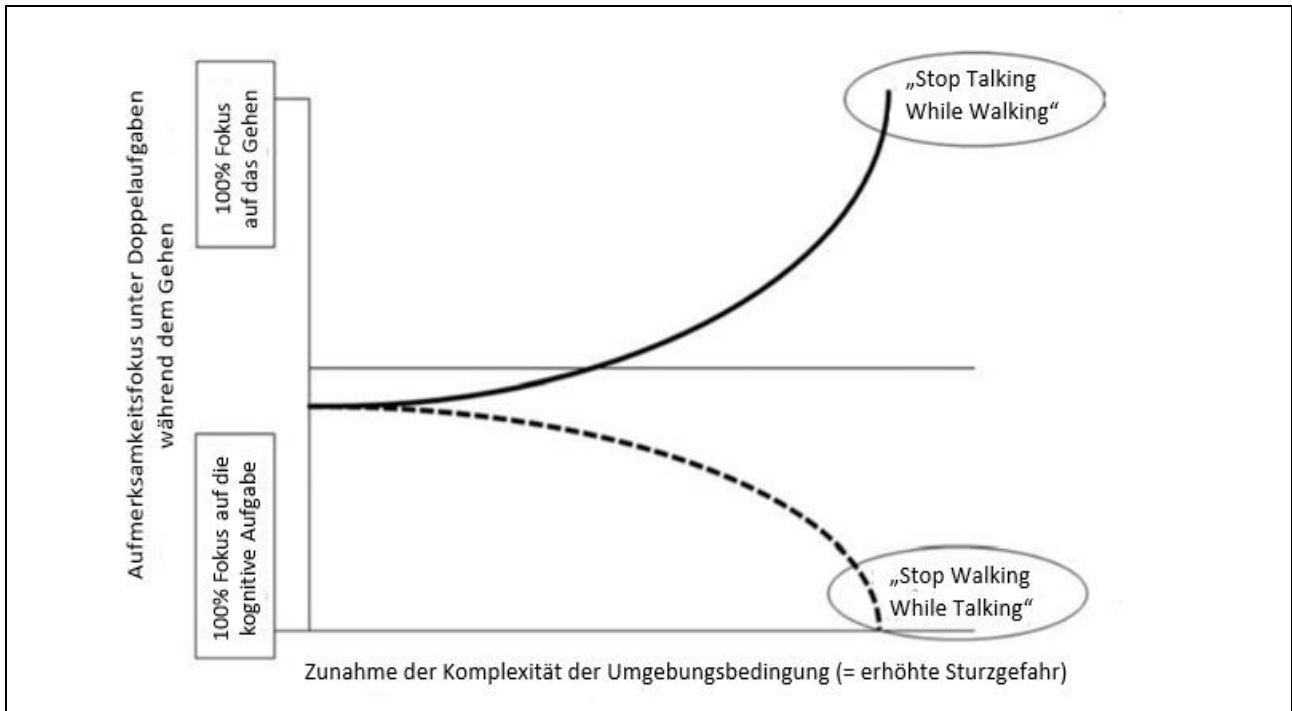


Abb. 17: Priorisierungsstrategien in Abhängigkeit der Komplexität der Umgebungsbedingungen (mod. nach Yogev-Seligman et al., 2012, S.767).

Bei erhöhter Beanspruchung des Gleichgewichts und Zunahme der Komplexität der Umgebungsbedingung wird der Aufmerksamkeitsfokus auf die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts und in Richtung Gangstabilität verlagert.

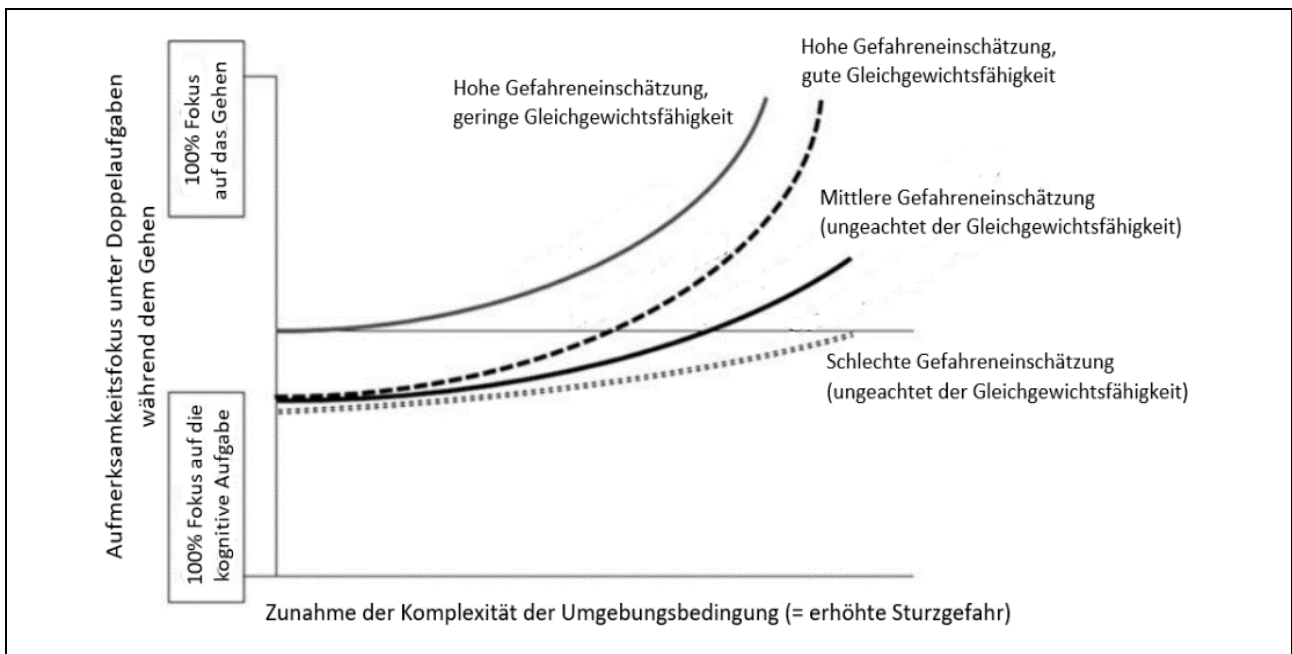


Abb. 18: Zusammenspiel zwischen der individuellen Gleichgewichtsfähigkeit und der wahrgenommenen Gefahreneinschätzung der Situation bzw. Umgebungsbedingung in Hinblick auf den Fokus der Aufmerksamkeit (mod. nach Yogev-Seligman et al., 2012, S.767).

In einem solchen Fall kann in erster Linie ein „Stop Talking While Walking“-Phänomen mit Priorisierung der Fortbewegungsaufgabe beobachtet werden (bspw. wenn ein Handytelefonat unterbrochen wird, um in einen Bus einzusteigen).

Abbildung 18 verdeutlicht, wie erstens die Gefahreinschätzung und zweitens die Gleichgewichtsfähigkeit einer Person die Priorisierungsstrategien beeinflussen. Beispielsweise können junge Erwachsene mit guter Gleichgewichtsfähigkeit und angemessener Gefahreinschätzung solange die kognitive Aufgabe priorisieren, bis die Anforderungen der Gleichgewichtsaufgabe zu anspruchsvoll werden. D.h. je größer die Gefahreinschätzung, desto geringer der Fokus auf die kognitive Aufgabe. Darüber hinaus gilt, je besser die Gleichgewichtsfähigkeit, desto später (bei steigender Beanspruchung der Gleichgewichtsaufgabe) geschieht die Verlagerung der Aufmerksamkeit auf die Gleichgewichtsanforderung. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass sich die Verlagerung des Aufmerksamkeitsfokus zwischen Aufgaben nicht zwingend auf die Leistung auswirkt (Yogev-Seligmann et al., 2012).

3.2.5 Supra-posturale Aufgaben

Das „Supra Postural Task Model“ (Riley, Stoffregen, Grocki, & Turvey, 1999; Stoffregen, Paguayalan, Bardy, & Hettinger, 2000) kann ebenfalls als Erklärungsansatz der Strategieadaption herangezogen werden. Meist wird das Modell als Erklärung bei Studien diskutiert, die die Gangparameter und insbesondere die Schwankungsvariabilität bei Gleichgewichtsaufgaben überprüfen. Dieser Ansatz besagt, dass die Gleichgewichtskontrolle immer in den funktionalen Zusammenhang der jeweiligen übergeordneten Ziele eingebunden ist. Zusatzaufgaben haben demnach nicht zwangsläufig einen negativen Effekt auf die Gleichgewichtsleitung, sondern können diese sogar positiv beeinflussen (Lippens & Schröder, 2006). Supraposturale Aufgaben tragen bei der Ausführung verschiedener Bewegungsaufgaben entsprechend zur posturalen Stabilisation und Gleichgewichtskontrolle (Reduktion der Körperschwankung) bei. In der Untersuchung von Stoffregen et al. (2000) wurden die Versuchsteilnehmer gebeten, während einer statischen Gleichgewichtsaufgabe in einem Textblock nach spezifischen Buchstaben zu suchen.

Die Autoren stellten fest, dass die visuelle Suchaufgabe Haltungsschwankungen der Teilnehmer reduzierte.

“[...] presumably because of the greater accuracy requirements of the search task, postural sway was modulated adaptively to facilitate the achievement of the supra-postural goal (search for target letters).” (S. 188)

Die Gleichgewichtskontrolle (genauer die Körperschwankung) wird reduziert, wenn dadurch die supraposturale Aufgabe erleichtert wird. Nach Lippens und Nagel (2006) können die visuelle Suche (die meisten Studien kommen hierbei von der Arbeitsgruppe um Thomas Stoffregen; siehe Stoffregen et al., 1999; 2000; Stoffregen, Hove, Bardy, Riley, & Bonnet 2007), das zielgerichtete Greifen (Riley, Stoffregen, Grocki, & Turvey, 1999) sowie verschiedene Präzisionsaufgaben (Balasubramaniam, Riley, & Turvey, 2000) als supraposturale Aufgaben identifiziert werden.

3.2.6 Erregungsabhängige Aktivierung von Ressourcen

Das Yerkes-Dodson-Gesetz (Yerkes & Dodson, 1908) beschreibt eine Abhängigkeit der kognitiven Leistungsfähigkeit von einem allgemeinen Erregungsniveau (engl.: Arousal) bzw. Stressniveau, das auch als Aktivationsniveau bezeichnet wird. Zwischen dem physiologischen Aktivierungsniveau und der kognitiven Leistungsfähigkeit besteht eine umgekehrt U-förmiger Beziehung (engl.: Inverted-U Theory). Kernaussage des Modells ist, dass mehr an Aktivierung nicht immer zu mehr Leistung führt. Die Leistungsfähigkeit erreicht ihr Optimum an ihrem Scheitelpunkt. Abbildung 19 verdeutlicht, dass es in Abhängigkeit der Komplexität der kognitiven Beanspruchung unterschiedliche Kurvenverläufe geben kann. So kann bei einfacher kognitiver Aufgabe ein eher linksschiefer Verlauf angenommen werden (siehe Abbildung 19b). In einem solchen Fall wird für die optimale Leistungsfähigkeit ein erhöhtes physiologisches Aktivierungsniveau erforderlich. Grund ist, dass ein geringes Aktivierungsniveau zu einer Unterforderung mit geringer Leistung führen kann. Mit anderen Worten erfordert eine einfache Aufgabe ein erhöhtes Aktivierungsniveau. Bei komplexer kognitiver Aufgabe kann ein rechtsschiefer Verlauf angenommen werden (siehe Abbildung 19c). In diesem Fall führt ein geringeres physiologisches Aktivierungsniveau zu

optimalen Leistungen. Ein zu hohes Erregungsniveau kann hierbei zu einer Überforderung mit ebenfalls reduzierter Leistung führen. Mit anderen Worten erfordert eine komplexe kognitive Aufgabe ein geringeres Aktivierungsniveau (bei viel zu hoher Erregung kommt vielleicht sogar Angst ins Spiel und die Leistung sinkt; bspw. kann ein Redner große Angst vor seinem Auftritt haben und deshalb ein stark erhöhtes Aktivierungsniveau - die Rede bleibt unter seinen Möglichkeiten).

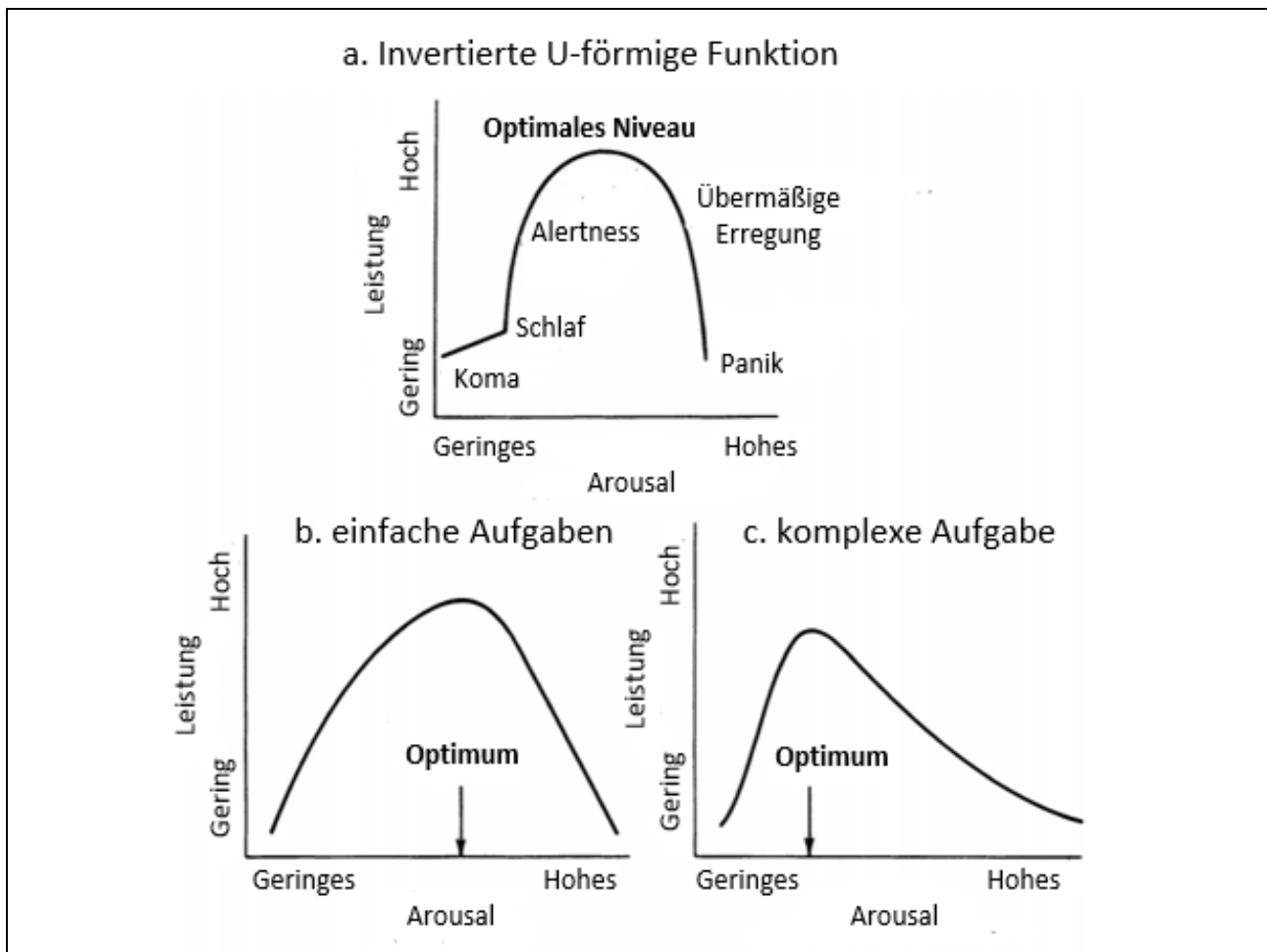


Abb. 19: Schematische Darstellung der umgekehrt U-förmigen Beziehung zwischen dem Aktivationsniveau und der Leistungsfähigkeit. Das optimale Aktivationsniveau ist abhängig vom Schwierigkeitsgrad der Aufgabe. (mod. nach Teigen, 1994, S.534).

Die Inverted-U Theorie spielt nach wie vor eine wichtige Rolle im Hinblick auf die Forschung im Bereich der motorisch-kognitiven Zusammenhänge. Von einigen Autoren werden darüber hinaus Anpassungen der Theorie von Yerkes und Dodson (1908) vorgenommen. So greifen Allard, Brawley, Deakin und Elliott (1989), Fleury, Bard und Carriere (1981) oder Isaacs und Pohlman (1991) auf Easterbrooks Ansatz

der Hinweisreiznutzung (1959) (engl.: Cue-Utilization Theory) zurück. Nach Easterbrook lieferte Yerkes und Dodsons Theorie keine fundierte Begründung dafür, wie Erregung die Leistung auf umgekehrt U-förmige Art beeinflusst. Nach einer Reihe von Experimenten zu Effekten der Erregung auf die Leistung in Doppelaufgaben behauptete Easterbrook, dass eine Erhöhung der Erregung von einem niedrigen auf ein hohes Niveau zu einer Verringerung des Fokus der Aufmerksamkeit führe. Er stellte fest, dass der Betroffene bei einem niedrigen Erregungsniveau einen zu breiten Aufmerksamkeitsfokus hat und sich sowohl auf relevante als auch auf irrelevante Informationen konzentriert, mit der Folge einer schlechteren Leistung. Mit zunehmender Erregung erreicht die Aufmerksamkeit jedoch ein Optimum und nur aufgabenrelevante Hinweise werden verarbeitet. Dies entspricht der Spitze der invertierten U-förmigen Kurve in Yerkes und Dodsons Theorie. Wenn die Erregung weiter ansteigt, wird die Aufmerksamkeit jedoch weiter eingeschränkt bzw. verengt und sogar relevante Hinweise werden übersehen, was zu einer Verschlechterung der Leistung führt.

Auch Humphrey und Revelle (1984) liefern eine theoretische Erklärung für den Zusammenhang zwischen Aktivierung und Leistung. In ihrem Informationsverarbeitungsmodell werden zwei Informationsverarbeitungssysteme unterschieden: a) System zur automatischen Reizverarbeitung und Reaktionsaktivierung (Sustained Information Transfer; SIT) und b) ein System zur aktiven Aufrechterhaltung und Manipulation relevanter Informationen beim Problemlösen (Short-term Memory; STM). Leichte kognitive Aufgaben (= geringes Arousal) können demnach durch automatische Prozesse (SIT) gelöst werden. Schwierige Aufgaben (= hohes Arousal) beanspruchen den aktiven Prozess der Informationsverarbeitung (STM).

Zwischenfazit

Zur Beantwortung der Frage also, wieso es zu Problemen bei der simultanen Bearbeitung zweier Aufgaben kommt sind eine Vielzahl von möglichen Antworten vorgeschlagen worden. Die hier dargestellten Modelle und Theorien sind die einflussreichsten und grundlegendsten Erklärungsansätze, auf welche sich eine Vielzahl der

Arbeiten zum Thema Doppelaufgaben beziehen und mit denen ein Großteil der Leistungssituationen in Doppelaufgaben angemessen erklärt werden kann. Die verschiedenen Varianten der Kapazitäts- oder Ressourcentheorien der Informationsverarbeitung haben spätestens seit den vielfach zitierten Arbeiten von Kahnemann (1973), Norman und Bobrow (1975) und Wickens (1980) frühere „Ein-Kanal“ Theorien abgelöst.

Im Rahmen dieser Arbeit wird von einer ressourcenorientierten Vorstellung der Aufmerksamkeit ausgegangen (Theorien begrenzter Ressourcen). Entsprechend dem domänenübergreifenden Wettbewerbsmodell wird postuliert, dass die motorische Kontrolle und verschiedene kognitiven Aufgaben (in erster Linie EF) miteinander um Aufmerksamkeitsressourcen konkurrieren. In Hinblick auf die Aufgabenschwierigkeit und der eigenen Fähigkeiten können die zur Verfügung stehenden Aufmerksamkeitsressourcen den verschiedenen Aufgaben flexibel zugeteilt werden (U-förmiges nicht-lineares Interaktionsmodell; Integriertes Modell der Aufgabenpriorisierung). Individuelle Strategien der Ressourcenallokation können adaptiert werden um, in Hinblick auf die subjektive Bedeutung der Aufgaben (Erregungsabhängige Aktivierung von Ressourcen), die gewählten Handlungsziele möglichst effizient zu erreichen.

3.3 Doppelaufgabenperformanz bei Kindern und Jugendlichen

3.3.1 Typisch entwickelte Kinder

Studien zu motorisch-kognitiven Interferenzen bei Kindern mit verschiedenen Fortbewegungsaufgaben sind selten und erst jüngst in den Fokus der Wissenschaft gerückt. Bemerkenswert ist, dass sich in den Jahren 1991 bis 2016 lediglich 12 Studien finden lassen, welche sich mit motorisch-kognitiven Interferenzen bei typisch entwickelten Kindern befassen und das Gehen als Primäraufgabe nutzen.¹⁴ Aus den in

¹⁴ Zwei Gutachter recherchierten bis Ende Dezember 2018 unabhängig voneinander in den elektronischen Datenbanken PubMed, PsycINFO, Embase, ERIC und SPORTSDiscus nach relevanten Studien mit den folgenden Suchbegriffen: “dual task” AND children; “dual task” AND adolescents; “multitasking” AND children; “multitasking” AND adolescents; “cognitive-motor interference” AND children; “cognitive-motor interference” AND adolescents. Ebenso wurden die Literaturhinweise der bedeutendsten Studien durchsucht, um mögliche Arbeiten zu finden welche mit Hilfe der genannten Suchkriterien nicht identifiziert werden konnten.

Tabelle 1 aufgelisteten kognitiven Aufgaben wird die bereits angesprochene Methodenvielfalt und Heterogenität der Studienprotokolle offensichtlich. Das Fehlen eines standardisierten Doppelaufgabenparadigmas, gerade im Hinblick auf die quantitative und qualitative Bewertung der kognitiven Zusatzaufgabe, macht die Interpretation der Effekte schwierig. Die teilweise sehr unspezifischen, allgemeinen motorischen und kognitiven Aufgaben tragen wesentlich dazu bei, dass immer noch Unklarheit über den relativen Beitrag der übergeordneten Kontrollprozesse besteht und die genauen kognitiven Mechanismen der Fortbewegung ungeklärt bleiben (Walshe, Patterson, Commins, & Roche, 2015).

Tab. 1: Überblick der Studienprotokolle zu Doppelaufgabenparadigmen bei typisch entwickelten Kindern und Jugendlichen (mod. nach Schott & Klotzbier, 2018, S.114-115).

Autoren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Doppelaufgabenbedingung	Berechnung von DAK
Whitall (1991)	n=32, 2-10 J. n=8, 18-34 J. (nur Mädchen)	Rennen & Gallowpieren	Kinderlied gesanglich vortragen (wiederholen) & Erinnern von Buchstaben	↓ Gehgeschwindigkeit	NEIN
Huang et al. (2003)	n=27, 5-7 J.	Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit	Visuelle und Auditive Wiedererkennungsaufgabe sowie Erinnerungsaufgabe	↓ Gehgeschwindigkeit, Kadenz, Schrittlänge, ↘/↗ kognitive Leistung	NEIN
Cherng et al. (2007)	n=48, 4-6 J.	Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit	Zahlenfolge vorwärts (leicht) und rückwärts (schwer) wiederholen	↓ Gehgeschwindigkeit, Kadenz, Schreitlänge, ↑ DAK bei komplexeren Aufgaben	JA
Schaefer et al. (2010)	n=32, Alter ∅ 9.0 ± 0.2 J. n=32, Alter ∅	Gehen auf einem Laufband mit selbst gewählter Geschwindigkeit	n-back Aufgabe (1-4, auditiv)	Kinder: ↑ Gangvariabilität mit hoher kognitiver Belastung ↑ kognitive Leistung	NEIN

Nach Entfernung der Duplikate wurden die Abstracts erneut inspiziert und bezüglich deren Eignung diskutiert. Die Recherche in den genannten Datenbanken führte zu 1882 Artikeln. Davon wurden 173 Duplikate und weitere 1595 Arbeiten, die thematisch abwichen, von einer weiteren Betrachtung ausgeschlossen. 114 verbleibende Artikel wurden demnach einer detaillierteren Überprüfung unterzogen. Nach der Anwendung der Einschlusskriterien (typisch entwickelte Kinder; kognitive Aufgabe; Gehen als motorische Aufgabe) wurden 12 Artikel einer genaueren Betrachtung unterzogen.

Autoren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Doppel- aufgabenbedingung	Berechnung von DAK
	25.3 ± 2.9 J.	und bei 2.5 km/h			
Krampe et al. (2011)	n=30, 9 J. n=30, 11 J. n=30, Alter Ø 24.3 ± 2.2 J. n=30, Alter Ø 64.3 ± 2.4 J.	Gehen auf einem schmalen Weg	Wortflüssigkeitsaufgabe	↓ Gehdistanz, Kinder: ↓ kognitive Leistung, ↑ DAK	JA
Boonyong et al. (2012)	n=20, 5-6 J. n=20, 7-16 J.	Geradeausgehen & Geradeausgehen mit Hindernissen	Stroop Aufgabe (auditiv)	Kinder: ↓ Gehgeschwindigkeit; Jugendliche: ↘ Gehgeschwindigkeit ↓ kognitive Leistung DAK Kinder > Jugendliche	JA
Beurskens et al. (2015)	n=20, 7-9 J.	Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit	Rückwärtszählaufgabe (3er Schritte)	↓ Gehgeschwindigkeit, ↑ Gangvariabilität	NEIN
Schaefer et al. (2015)	n=18, 7 J. n=18, 9 J. n=18, 20-30 J.	Gehen auf einem Laufband mit verschiedenen Geschwindigkeiten	n-back Aufgabe (2-back & 3-back, auditiv)	Leichte kognitive Aufgabe: ↑ Gangregelmäßigkeit, Schwere kognitive Aufgabe: ↓ Gangregelmäßigkeit → kognitive Leistung	NEIN
Hagman-von Arx et al. (2016)	n=138, 6.7- 3.2 J.	Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit	Zahlenreihe wiederholen (engl.: Digits Task)	↓ Gehgeschwindigkeit, ↑ Gangvariabilität, → kognitive Leistung	NEIN
Howell et al. (2016)	n=24, Alter Ø 15.5 ± 1.1 J. n=21, Alter Ø 21.2 ± 4.5 J.	Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit	Auditive Stroop Aufgabe; Q&A Aufgaben: - fünf Buchstaben langes Wort rückwärts buchstabieren - von einer vordefinierten Zahl in 6er,	↑ DAK bei komplexeren Aufgaben	JA

Autoren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Doppelaufgabenbedingung	Berechnung von DAK
			7er o. 3er Schritten rückwärts zählen - Jahresmonaterückwärts aufsagen		
Beurskens et al. (2016)	n=28, 5-8 J. 8.7 ± 0.5 J.	Statische Gleichgewichtsaufgabe & Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit	Rückwärtszählaufgabe (3er Schritte)	↓ Gehgeschwindigkeit, ↓ Schreitlänge, ↑ Schreitzeit, ↑ Gangvariabilität, (Geschwindigkeit, Schreitlänge und -zeit) → kognitive Leistung	JA
Saxena et al. (2018)	n=221, 5-8 J.	Gleichgewichtskomponente der MABC-2 (Linie entlang gehen; Henderson et al., 2007)	n-back Aufgabe (0-back, 1-back & 3-back, auditiv; 2, 1, oder 0.5 Zahlen/s)	↑ kognitive DAK, ↑ motorische DAK (in allen Altersgruppen)	JA
Schott & Klotzbier (2018)	n=42, Alter Ø 10.3 ± 0.53 J. n=27, Alter Ø 13.2 ± 0.24 J.	Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit, Gehen mit Richtungsänderungen	Reaktionszeitaufgabe, Uhrentest, n-back Aufgabe, Rückwärtszählaufgabe, Stroop Aufgabe (auditiv)	Freies Gehen: ↓ Gehgeschwindigkeit Kognitive Leistung: Kinder (ST<DT); Jugendliche (ST>DT) Gehen mit Richtungsänderungen: ↓ Gehgeschwindigkeit Kognitive Leistung: Kinder und Jugendliche ((ST>DT)	JA

Anmerkung. n = Fallzahl; J. = Jahre; Ø = Durchschnitt; ST = Einzelaufgabenbedingung (engl.: single task); DT = Doppelaufgabenbedingung (engl.: dual task); DAK = Doppelaufgabenkosten: Die Pfeilrichtung gibt an, ob eine Verbesserung (↓), eine Verschlechterung (↑) oder keine Veränderung (→) unter Doppelaufgabenbedingung zu beobachten ist.

Eine Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse der dargestellten Studien ist somit nur bedingt möglich. Da die verschiedenen Komponenten der EF unterschiedliche Entwicklungstrajektorien zeigen (Boelema et al., 2014; Davidson, Amso, Anderson, & Diamond, 2006; Pozuelos, Paz-Alonso, Castillo, Fuentes, & Rueda, 2014; Anderson, 2002) hängen die Ergebnisse stark von der Wahl der kognitiven Aufgabe ab (Schott, El-Rajab, & Klotzbier, 2016). Auch wird in erster Linie das Geradeausgehen als motorische Aufgabe herangezogen. Die Reife und der Automatisierungsgrad

der Fortbewegungsaufgabe hängt allerdings stark vom Schwierigkeitsgrad der Gehaufgabe ab (Higuchi, 2013; Vallis & McFayden, 2005; Schott & Klotzbier, 2018). Entscheidend ist auch, dass relative DAK nur in sechs der aufgelisteten Studien berechnet wurden (Cherng, Liu, Lau, & Hong, 2007; Krampe et al., 2011; Boonyong, Siu, van Donkelaar, Chou, & Woollacott, 2012; Howell, Osternig, & Chou, 2016; Bourskens, Muehlbauer, Grabow, Klieg, & Granacher, 2016; Saxena, Majnemer, Beauchamp, & Gagnon, 2018). Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen können so nur unzureichend oder gar nicht beurteilt werden. Insgesamt ist auch zu beobachten, dass ein Großteil der Studien eng begrenzte Altersbereiche wählt und keine der Studien sich die Verläufe in den Leistungen unter Doppelaufgabenbedingung längsschnittlich ansehen.

Altersbedingte Effekte in den Leistungen unter Doppelaufgabenbedingung zeigen sich stärker bei jüngeren, typisch entwickelten Kindern. Beispielsweise verglichen Boonyong und Kollegen (2012) die zeitlich räumlichen Gangparameter bei jungen (5-6 Jahre) und älteren (7-16 Jahre) Kindern bzw. Jugendlichen. Auch verglichen sie die Ergebnisse einer früheren Studie mit demselben Paradigma mit jungen Erwachsenen (Siu, Catena, Chou, van Donkelaar, & Woollacott, 2008). Die Autoren konnten einen Entwicklungstrend in den Aufmerksamkeitsressourcen zeigen, welche für die Kontrolle der Fortbewegung benötigt werden. Da Erwachsene bessere Leistungen erbrachten, argumentieren Boonyong und Kollegen (2012) dahingehend, dass das neuronale Netzwerk – zur parallelen Verarbeitung verschiedener Aufgaben – bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen weniger effizient arbeitet. Hagmann-von Arx, Manicolo, Lemola und Grob (2016) untersuchten die Effekte einer motorischen und kognitiven Aufgabe auf das Gehen bei Kindern zwischen 6 und 13 Jahren. Auch sie konnten zeigen, dass sich die Leistung beim Gehen unter Doppelaufgabenbedingung verschlechtert. Das Gehen wurde am deutlichsten durch eine motorische Sekundäraufgabe beeinflusst, in welcher die Probanden einen Knopf während dem Laufen zuknöpfen mussten. Die Leistungseinbußen sind hier bei älteren Kindern geringer. In Doppelaufgaben mit kognitiver Sekundäraufgabe (Gedächtnisaufgabe) waren demgegenüber keine Alterseffekte zu beobachten.

Geschlechtsunterschiede bei Kindern und Jugendlichen während des Gehens unter Doppelaufgabenbedingung haben in der Vergangenheit nur wenig Beachtung gefunden weil in den meisten Untersuchungen keine nennenswerten Geschlechtseffekte beobachtet werden konnten. Weder Schaefer, Lövdén, Wieckhorst und Lindenberger (2010) noch Boonyong et al (2012) konnten, unabhängig vom Schwierigkeitsgrad der kognitiven Zusatzaufgaben, Geschlechtsunterschiede berichten. Um kontextabhängig geschlechtsspezifische Handlungsempfehlungen geben zu können erscheint es allerdings notwendig zu prüfen, unter welchen Voraussetzungen und Bedingungen mögliche Geschlechtsunterschiede in Doppelaufgabenparadigmen sichtbar gemacht werden können.

3.3.2 Kinder mit umschriebener Entwicklungsstörung motorischer Funktionen

Umschriebene Entwicklungsstörungen motorischer Funktionen (UEMF, engl.: Developmental Coordination Disorder, im weiteren Verlauf mit DCD abgekürzt) gehören zu den häufigsten Entwicklungsabweichungen im Kindesalter. Hierbei handelt es sich um ein Entwicklungsdefizit, das sich – laienhaft ausgedrückt – als „Tollpatschigkeit“ zeigt und das unbeholfene, ungeschickt wirkende motorische Verhalten verdeutlichen soll (in der englischsprachigen Literatur wird auch vom „Clumsy Child Syndrom“ gesprochen). Die Probleme beziehen sich auf eine gestörte und verlangsamte Koordinationsfähigkeit des gesamten Bewegungsapparates. Charakteristisch sind Defizite der Fein- und Grobmotorik sowie in den EF (Wilson et al., 2017). Insbesondere sind Schwierigkeiten mit dem Gleichgewicht und der posturalen Kontrolle (Fong, Ng, & Yiu, 2013) zu beobachten. Smits-Engelsman und Wilson (2013) berichten von einer hohen Variabilität der Kadenz und des Gangrhythmus als die am häufigsten beobachteten Fortbewegungsmerkmale bei Kindern mit DCD. Die Autoren weisen darauf hin, dass Kinder mit DCD ihr Gehen nicht in dem Maße automatisieren, wie es typisch entwickelte Kinder tun. Die Schätzungen zur Prävalenz für DCD reichen von 5 bis 20%. Berücksichtigt man nur die Kinder mit besonders auffälligen motorischen Störungen, die sowohl das soziale Zusammenleben als auch den schulischen Erfolg beeinträchtigen, spricht man von 5-6% (American Psychiatric Association,

2013).

Die zugrundeliegende Ätiologie der mit DCD verbundenen Bewegungsschwierigkeiten ist weitgehend unbekannt. Gemäß der atypischen Gehirnentwicklungshypothese (Kaplan, Crawford, Cantell, Kooistra, & Dewey, 2006) sind die genannten Verhaltensauffälligkeiten auf Variationen der strukturellen und funktionellen Integrität des Gehirns (Brown-Lum & Zwicker, 2015) zurückzuführen. Insbesondere der Zusammenhang zum Cerebellum (siehe O'Hare & Khalid, 2002; Ivry, 2003) scheint hierbei eine entscheidende Rolle einzunehmen und die Probleme bei der Automatisierung von Fertigkeiten zu erklären (Automatisierungs-Defizit-Hypothese; Fawcett & Nicolson, 1992).

Mithilfe des Doppelaufgabenparadigmas und der Berechnung von motorisch-kognitiven Interferenzen kann der Automatisierungsgrad einer Fertigkeit bestimmt werden. Bisher lassen sich allerdings lediglich vier Studien finden, die motorisch-kognitive Interferenzen mit statischer und dynamischer Gleichgewichtsaufgabe¹⁵ in einem Doppelaufgabenparadigma untersuchen (siehe Tabelle 2). Die Ergebnisse der dargestellten Studien sind nur schwer zu vergleichen, da nicht in allen Studien DAK berichtet wurden (häufig wird die Leistung der kognitiven Aufgabe unter Doppelaufgabenbedingung vernachlässigt), unterschiedliche Altersbereiche gewählt wurden (4-6 und 9-10) und die Studienprotokolle (speziell bezogen auf die kognitiven Aufgaben) sehr heterogen ausfallen (für eine ausführliche Diskussion zu möglichen Erklärungsansätzen der Probleme unter Doppelaufgaben bei Kindern mit DCD siehe Schott, 2019).

¹⁵ Zwei Gutachter recherchierten bis Anfang Dezember 2017 unabhängig voneinander in den elektronischen Datenbanken PubMed, PsycINFO, Embase, ERIC und SPORTSDiscus nach relevanten Studien mit den folgenden Suchbegriffen: "dual task" AND DCD AND children; "multitasking" AND DCD AND children; "cognitive – motor interference" AND DCD AND children. Ebenso wurden die Literaturhinweise der bedeutendsten Studien durchsucht, um mögliche Arbeiten zu finden welche mit Hilfe der genannten Suchkriterien nicht identifiziert werden konnten. Die Recherche in den genannten Datenbanken führte zu 4 Artikeln, die einer detaillierteren Überprüfung unterzogen wurden.

Tab. 2: Überblick der Studienprotokolle zu Doppelaufgabenparadigmen bei Kindern mit DCD.

Autoren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Doppelaufgabenbedingung	Berechnung von DAK
Lauer et al. (2008)	DCD: $n=26$, Alter $\bar{\varnothing}$ 5.2 \pm 0.6 J. (8 weiblich) TD: $n=25$, Alter $\bar{\varnothing}$ 5.0 \pm 0.55 J. (10 weiblich)	Beidbeiniger Stand auf einem festen und einem instabilen Untergrund	Visuelle Wiedererkennungsaufgabe	Motorische Einbußen: \uparrow PLV und COP in ML Richtung nur bei DCD (unabhängig vom Untergrund) Kognitive Einbußen: Fester Untergrund: DCD > TD*; Instabiler Untergrund: DCD > TD** (allerdings unterscheiden sich die Gruppen bereits bei der Einzelaufgabe im Sitzen)	JA
Cherng et al. (2009)	DCD: $n=14$, Alter $\bar{\varnothing}$ 5.5 \pm 0.7 J. (10 weiblich) TD: $n=28$, Alter $\bar{\varnothing}$ 5.3 \pm 0.7 J. (20 weiblich)	Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit	Zahlenfolge vorwärts (leicht) und rückwärts (schwer) wiederholen	Motorische Einbußen: \downarrow Gehgeschwindigkeit, Kadenz, Schrittlänge, Doppelstützphase (DCD = TD) Kognitive Einbußen: \downarrow kognitive Leistung (DCD = TD)	JA
Tsai et al. (2009)	DCD-BP: $n=39$, Alter $\bar{\varnothing}$ 116.26 \pm 4.45 M. TD: $n=39$, Alter $\bar{\varnothing}$ 114.82 \pm 2.99 M.	Beidbeiniger Stand auf einem festen Untergrund	(1) 3er Schritten rückwärts zählen (2) Auditorische Wiedererkennungsaufgabe (3) Auditorische Wahlreaktionszeit-aufgabe (4) Auditorische Gedächtnisaufgabe (5) Artikulationsaufgabe	Motorische Einbußen: \uparrow Schwankungsbereich in allen Doppelaufgaben. Gruppenunterschiede (DCD-BP > Control) nur in (1), (2) und (4). Kognitive Einbußen: DCD-BP = Control. Keine Gruppenunterschiede unter Doppelaufgabenbedingung	JA
Chen et al. (2012)	DCD: $n=38$, Alter $\bar{\varnothing}$ 9.37 \pm 0.49 J. (17 weiblich)	Beidbeiniger Stand	Schwierige (100% der Ziffern merken) und einfache (50%)	Motorische Einbußen: \uparrow Kopfbewegungen in ML und AP (DCD >	NEIN

Autoren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Doppelaufgabenbedingung	Berechnung von DAK
	TD: $n=38$, Alter \bar{X} 9.21 \pm 0.41 J. (17 weiblich)		der Ziffern merken) Gedächtnisaufgabe	TD); \uparrow Rumpfbewegung in AP (DCD > TD) Interaktionseffekt: Schwierigkeit x Gruppe (Mit erhöhter Schwierigkeitsstufe der Gedächtnisaufgabe reduziert sich die Kopf und Rumpfbewegung in ML bei TD, nicht aber bei DCD).	

n = Fallzahl; M. = Monate; J. = Jahre; \bar{X} = Durchschnitt; PLV = Körperschwerpunktgeschwindigkeit (Weglänge des Körperschwerpunktes geteilt durch die Standzeit); ML = medio-lateral; AP = anterior-posterior; DAK = Doppelaufgabenkosten: Die Pfeilrichtung gibt an, ob eine Verbesserung (\downarrow), eine Verschlechterung (\uparrow) oder keine Veränderung (\rightarrow) unter Doppelaufgabenbedingung zu beobachten ist. DCD = Developmental Coordination Disorder; DCD-BP = Developmental Coordination Disorder with Balance Problems; TD = typically developed.

Lauer, Ashkenazi und Josman (2008) konnten zeigen, dass Kinder zwischen 4 und 6 Jahren in Doppelaufgaben Schwierigkeiten haben ihr Gleichgewicht aufrecht zu halten. Allerdings zeigte die kognitive Sekundäraufgabe nur bei Kindern mit DCD einen Effekt auf das Gleichgewichtsverhalten. Demnach zeigen Kinder mit DCD, unabhängig vom Untergrund (fester vs. instabiler Untergrund), eine erhöhte medio-laterale Körperschwerpunktgeschwindigkeit (PLV) im Vergleich zu typisch entwickelten Kindern.

Chen, Tsai, Stoffregen, Chang und Wade (2012) beobachteten demgegenüber, dass typisch entwickelte Kinder im Alter von 10 Jahren das Gleichgewichtsverhalten an die zusätzlichen Anforderungen durch eine kognitive Gedächtnisaufgabe anpassen können. Sie beobachteten verminderte Kopf- sowie Rumpfbewegungen unter Doppelaufgabenbedingung insbesondere bei schwieriger kognitiver Aufgabe. Kinder mit DCD hingegen zeigen keine funktionelle Integration der beiden Aufgaben und entsprechend erhöhte Kopf- und Rumpfbewegungen unter Doppelaufgabenbedingung. Die Leistung in der kognitiven Aufgabe wurde nicht berichtet.

Mit dem Älterwerden lässt die Störung zunehmend nach, auch wenn Defizite im Erwachsenenalter oft zurückbleiben.

“Deficits in motor coordination continue into adulthood and have an effect on academic and non-academic function, as well as on the emotional and perceptual state of the individual suffering from these deficits.” (Tal-Saban, Zarka, Grotto, Ornoy, & Parush, 2012, S. 2201)

Tsai, Pan, Cherng und Wu (2009) bedienen sich der Automatisierungs-Defizit-Hypothese (Fawcett & Nicolson, 1992), als möglichen Erklärungsansatz für die Schwierigkeiten in Bezug auf motorischen Kontrollprozesse bei Kindern mit DCD. Schott (2019) diskutiert in ihrem Überblicksbeitrag die Rolle des Spiegelneuronensystems (Rizzolatti & Craighero, 2004) als ein vielversprechender Ansatz, zur Erklärung der motorisch-kognitiven Zusammenhänge bei Kindern mit DCD.

3.3.3 Kinder mit Down Syndrom

Das Down Syndrom (auch Trisomie 21, die ursprüngliche Bezeichnung war „mongolische Idiotie“¹⁶, im weiteren Verlauf mit DS abgekürzt) ist eine genetische Störung bei der das gesamte 21. Chromosom oder Teile davon dreifach vorhanden sind (Patterson, 2009). DS wurde 1866 das erste Mal vom englischen Arzt John Langdown Down anhand der charakteristischen Züge dieser Kinder beschrieben (Down, 1867). Erst im Jahre 1959 wurde dieses Erscheinungsbild von Professor Jérôme Lejeune in Paris einer chromosomalen Störung zugeordnet (Lejeune, Turpin, & Gauthier, 1959). Weltweit wird die Prävalenz mit 1:800 bis 1200 Lebendgeburten beziffert und stellt somit die am häufigsten auftretende Chromosomenanomalie dar (Gupta & Kabra, 2014). Jungen sind häufiger betroffen als Mädchen (Huether et al., 1996). Die Wahrscheinlichkeit ein Kind mit DS zu bekommen ist zufällig, steigt allerdings mit dem Alter der Mutter exponentiell (Morris, Mutton, & Alberman, 2002).

Die Entwicklung jedes Kindes verläuft individuell unterschiedlich und ist abhängig von den jeweiligen Begleiterkrankungen (van Trotsenburg et al., 2006). Dadurch stellen Personen mit DS eine sehr heterogene Gruppe mit spezifischer Ätiologie dar,

¹⁶ Benannt nach den beim Down Syndrom charakteristischen rundlichen Gesichtszügen und der mandelförmigen Augenform, die an Angehörige einer asiatischen ethnischen Gruppe erinnert. „Idiot“ war ein Fachbegriff für Personen mit einem IQ unter 20. 1965 eliminierte die Weltgesundheitsorganisation (WHO) den Begriff „Mongolian Idiocy“ aus ihrem Vokabular.

aber ohne fest umschriebene Eigenschaften. Die wesentlichen Merkmale der Erkrankung sind die typische äußere Erscheinung¹⁷, Schwächen in den verbalen Fähigkeiten (Ferreira & Lamônica, 2012), der motorischen Entwicklung und Kontrolle (Schott, Holfelder, & Mousouli, 2014; Hocking, Menant, Kirk, Lord, & Porter, 2014), Beeinträchtigungen in den EF (Rowe, Lavender, & Turk, 2006; Lanfranchi, Jerman, Dal Pont, Alberti, & Vianello, 2010; Schott & Holfelder, 2015) sowie kognitive Entwicklungsverzögerungen, die sich vom Grad der leichten bis zur schweren geistigen Behinderung erstrecken (Gupta & Kabra, 2014). Bei 7 von 10 liegen Sehstörungen vor (Hickey, Hickey, & Summar, 2012). Eine der schwerwiegendsten Folgen einer Trisomie 21 ist die Unterentwicklung des Gehirns und der daraus resultierende durchschnittliche Intelligenzquotient von 25 bis 60 (Jorde, Carey, Bamshad, & White, 1999). Betroffen ist dadurch vor allem die Sprachentwicklung, die Verarbeitungsgeschwindigkeit, die EF, die Aufmerksamkeitsprozesse, die visuell-räumlichen Fähigkeiten sowie die motorische Entwicklung (für einen Überblick siehe Schott, Holfelder, & Mousouli, 2014; Grieco, Pulsifer, Seligsohn, Skotko, & Schwartz, 2015). Neben einer verminderten funktionalen Integrität des Cerebellums und des Hirnstamms wurden bei Personen mit DS auch eine reduzierte Anzahl an neuronalen Verbindungen in den Basalganglien (Pinter, Eliez, Schmitt, Capone, & Reiss, 2001) sowie im motorischen Kortex gefunden (Cratty, 1994).

Da diese Gehirnareale eine entscheidende Rolle bei der motorischen Kontrolle einnehmen, sind Einschränkungen auch im motorischen Verhalten zu erwarten. Das Ausmaß der Interaktion zwischen dem kognitiven Profil und der motorischen Kontrolle bei Personen mit DS ist allerdings weitestgehend unerforscht (Hocking, Menant, Kirk, Lord, & Porter, 2014). Die domänenübergreifenden Effekte der Beeinträchtigungen der EF spielen auch bei den beschriebenen Defiziten in der motorischen Kontrolle (insbesondere der Schwierigkeiten mit der Fortbewegung) eine entscheidende Rolle. Bei Kindern und Erwachsenen mit DS werden signifikant geringere

¹⁷ Die Körpergröße liegt oft unter dem Familiendurchschnitt. Aber auch kurze Finger und breite Hände sowie eine durchgehende Handfurche, die auf der Handinnenfläche verläuft, sind charakteristisch. Ein weiteres Merkmal ist der leicht geöffnete Mund und die etwas hervorstehende Zunge aufgrund des schwachen Muskeltonus.

Leistungen in der motorischen Kontrolle verschiedener Fertigkeiten berichtet (Shea, 1987). Auffallend sind dabei die reduzierte Geschwindigkeit der Bewegungsausführung und die reduzierte Präzision bei einer Vielzahl von Fertigkeiten. Unterschiede in der motorischen Entwicklung werden bereits ab dem ersten Lebensmonat beobachtet (siehe Cunningham, 1979; für Unterschiede bei Fertigkeiten der Objektmanipulation). Dabei beziehen sich die meisten Studien auf eine deskriptive Beschreibung der sogenannten motorischen Meilensteine (z.B. Sitzen, Krabbeln, Gehen, Rennen). Üblicherweise erreichen Kinder mit DS diese Meilensteine zu einem späteren Zeitpunkt, auch wenn dieselbe sequentielle Abfolge in der psychomotorischen Entwicklung bei Kindern mit und ohne DS beobachtet werden kann (vgl. Cobo-Lewis, Oller, Lynch, & Levine, 1996; Haywood & Getchell, 2014; Cunningham & Sloper, 1978; Berry, Andrews, & Gunn, 1980; Winders, 1997; Palisano, Walter, Russell, Rosenbaum, Gémus, Galuppi, & Cunningham, 2001). Jobling und Mon-Williams (2000) sprechen von einer langsamen, aber doch stetigen Entwicklung. Obwohl die generelle motorische Entwicklung von DS Kindern ähnlichen Prinzipien folgt wie bei Kindern ohne DS, scheint insbesondere die Entwicklung der posturalen Kontrolle deutlich verzögert zu sein (Block, 1991; Haley, 1986; Woolacott & Shumway-Cook, 1986). Die motorische Entwicklung verläuft in den ersten zwei bis drei Lebensjahren langsamer als die geistige Entwicklung, holt sie aber nach dem dritten Lebensjahr in der Regel ein oder überholt sie sogar (Rauh, 1997; Carr, 1978). Sowohl die abweichende Entwicklungsfolge der motorischen Fähigkeiten (Dyer, Gunn, Rauh, & Berry, 1990; Heley, 1987) als auch die Entwicklung der für das DS typischen Haltungs- und Bewegungsmuster (Lydic & Steele, 1979; Lauteslager, 2004; Akerström & Sanner, 1993) sind starke Argumente, um bei Kindern mit DS nicht von einer verzögerten motorischen Entwicklung zu sprechen, sondern von einer „anderen“ motorischen Entwicklung.

Eine weitere Besonderheit der Menschen mit DS ist der ungewöhnliche Gang, welcher in Studien von Latash (2007) und Rigoldi, Galli, und Albertini (2011) als „clumsy“ (dt.: ungeschickt, tollpatschig oder unbeholfen) bezeichnet wird. Wang, Long und Liu (2012) konnten zeigen, dass Jugendliche mit DS eine erhöhte medio-laterale Körperschwankung aufweisen. Zur Reduzierung dieser Instabilität nutzen diese laut den

Autoren eine Kompensationsstrategie indem sie durch eine größere Schrittbreite und eine kürzere Schrittlänge eine gewisse Körperstabilität erreichen (Agiovlasitis, McCubbin, Yun, Mpitsos, & Pavol, 2009). Allerdings verstärkt dieses spezielle Gangbild die geringe Gehgeschwindigkeit zusätzlich (vgl. Lam, Hodges, Virji-Babul, & Latash, 2006; Torriani-Pasin et al., 2013; Virji-Babul, Kerns, Zhou, Kapur, & Shiffrar, 2006; Wang, Long, & Liu, 2012). Als beeinflussende Faktoren dieses ungewöhnlichen Gangmusters werden die Hypotonie der Muskeln, Co-Kontraktionen der Muskulatur, Muskelsteifigkeit, die Bandlaxizität sowie längere Reaktionszeiten und eine reduzierte antizipatorische Gleichgewichtskontrolle aufgrund von Problemen der Informationsverarbeitung diskutiert (Anson & Mawston, 2000; Aruin & Almeida, 1997; Shumway-Cook & Woollacott, 1985; Tudella, Pereira, Basso, & Savelsbergh, 2011). Doppelaufgaben bieten sich an, das dynamische Zusammenspiel zwischen der kognitiven und der motorischen Domäne bei Personen mit DS zu untersuchen. Bisher gibt es allerdings nur wenige Studien bei Personen mit DS, die sich in einem Doppelaufgabenparadigma motorisch-kognitive Interferenzen ansehen und eine motorische und eine kognitive Aufgabe einsetzen (siehe Tabelle 3).

Tab. 3: Überblick der Studienprotokolle zu Doppelaufgabenparadigmen bei Jugendlichen und Erwachsenen mit DS.

Autoren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Doppelaufgabenbedingung	Berechnung von DAK
Kittler et al. (1991)	DS: $n=53$, \emptyset 44.7 ± 7.2 J., (♀ $n=29$) WS: $n=10$, \emptyset 47.7 ± 16.6 J., (♀ $n=7$) TD: $n=39$, \emptyset 53.7 ± 11.0 J., (♀ $n=26$)	Stecktafel (Fingerfunktion) (Gardner & Broman, 1979)	VSWM Aufgaben (Digit-Span-Test, Word-Span-Test, Corsi-Test)	↑ kognitive Leistung; → motorische Leistung (Leistungseinbußen waren bei DS am größten)	JA
Brunamonti et al. (2011)	DS: $n=9$, \emptyset 18.2 ± 2.0 J., non-DS mit Lernschwierigkeiten: $n=9$, \emptyset 15.3 ± 0.6 J.	Bedienen eines Joystick (Handfunktion)	Go/No-Go Task (Joystick in die durch die Flugzeugnase angegebene Richtung bewegen)	↓ Reaktionszeiten bei DS und TD (DS brauchen länger als TD)	NEIN

Auto- ren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Dop- pelaufgabenbedin- gung	Berech- nung von DAK
Lan- franchi et al. (2012)	DS: $n=45$, \emptyset 164 ± 38 M., TD-MA: $n=45$, $\emptyset 62 \pm 7$ M.	„Auf den Tisch klopfen“ wenn eine rote Karte hochgehoben wird = Operatio- nalisierung der VSWM Auf- gabe.	Freies Erinnern von Worten (Ein- zelaufgabe); Ver- bale/VSWM Dop- pelaufgabe (domä- nenübergreifend); Verbale Doppelauf- gabe (gleiche Do- mäne)	\uparrow DAK in allen Dop- pelaufgaben bei DS größer	NEIN
Horvat et al. (2013)	DS: $n=12$, \emptyset 22.7 ± 3.05 J., TD-CA: $n=12$, $\emptyset 22.5 \pm 3.18$ J.	Freies Gehen mit selbst ge- wählter Ge- schwindigkeit	Einen Teller und eine Tasse tragen; ein Tablett und eine Tasse tragen; T-Shirt mit 7 Knöp- fen zuknöpfen; mit dem Handy telefo- nieren/vordefinier- tes Skript an Fra- gen beantworten	\rightarrow Zeit in der Einzel- und Doppelstütz- phase; \rightarrow Schrittzeit; \downarrow Gehgeschwindig- keit; \downarrow Schrittlänge und –weite insbeson- dere bei bei DS	NEIN
Hocking et al. (2014)	DS: $n=17$, \emptyset 24.8 ± 3.0 J. (♀ $n=9$), WS: $n=18$, \emptyset 26.2 ± 7.34 J. (♀ $n=11$), TD-CA: $n=17$, $\emptyset 23.2 \pm 6.08$ J. (♀ $n=6$)	Freies Gehen mit selbst ge- wählter Ge- schwindigkeit	Wortflüssigkeits- aufgabe; Digit- Span-Test	\downarrow Gehgeschwindig- keiten, Kadenz, Schrittlängen, Dop- pelstützphase, Schrittzeitvariabilität, (Unterschiede zwi- schen DS und TD- CA nur für Gehge- schwindigkeit, Dop- pelstützphase, Schrittzeitvariabilität)	JA

Anmerkung. n = Fallzahl; M. = Monate; J. = Jahre; ♀ = weiblich; DS = Down Syndrom; TD-CA = typisch entwickelt mit gleichem chronologischen Alter; TD-MA = typisch entwickelt mit gleichem mentalen Alter; \emptyset = Durchschnitt; VSWM visuell-räumliche Arbeitsgedächtnisaufgabe (engl.: visual-spatial working memory); DAK = Doppelaufgabenkosten: Die Pfeilrichtung gibt an, ob eine Verbesserung (\downarrow), eine Verschlechterung (\uparrow) oder keine Veränderung (\rightarrow) unter Doppelaufgabenbedingung zu beobachten ist.

In den Studien von Brunamonti, Papazachariadis, Onorati, Albertini und Ferraina (2011) und Kittler, Krinsky-McHale und Devenny (2008) werden motorische Aufgaben zur Messung der Geschicklichkeit der oberen Extremität insbesondere der Hand- und Fingerfunktionen (Bedienen eines Joysticks oder Stecktafel) eingesetzt. Diese Studien verdeutlichen die Schwierigkeiten bei Personen mit DS kognitive Aufgaben parallel durchzuführen. In den Studien von Lanfranchi und Kollegen (2012, 2015)

wird das „Tapping“ (Hand auf den Tisch klopfen) als motorische Aufgabe herangezogen, ohne dieses als motorische Aufgabe zu definieren (vielmehr wird die Leistung einer konkurrierenden visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgabe durch das Klopfen auf den Tisch operationalisiert). In den erwähnten Doppelaufgabenstudien wurden darüber hinaus keine Kinder, sondern Jugendliche oder erwachsene Personen mit DS untersucht, was vermutlich mit der Problematik eines geringen mentalen Alters bei DS Kindern zu erklären sein dürfte. Es konnten lediglich zwei Studien gefunden werden¹⁸, die das Gehen als grobmotorische Fortbewegungsaufgabe in einem Doppelaufgabenparadigma bei Jugendlichen (Hocking et al., 2014) oder jungen Erwachsenen (Horvat, Croce, Tomporowski, & Barna, 2013) mit DS umsetzen (siehe Tabelle 3). Horvat et al. (2013) untersuchten die zeitlich-räumlichen Gangparameter unter vier verschiedenen Doppelaufgabenbedingungen. Die Probanden sollten mit selbstgewählter Geschwindigkeit gehen und gleichzeitig eine motorische (einen Teller und eine Tasse tragen; ein Tablett und eine Tasse tragen) oder eine kognitive Aufgabe (T-Shirt mit 7 Knöpfen zuknöpfen¹⁹; mit dem Handy telefonieren/vordefiniertes Skript an Fragen beantworten) durchführen. Die zeitlichen Komponenten der Gangkontrolle (Zeit in der Einzel- und Doppelstützphase, Schrittzeit) scheinen bis auf die Gehgeschwindigkeit zwischen Personen mit und ohne DS und zwischen den Bedingungen wenig variabel. Die räumlichen Komponenten des Gehens hingegen (Schrittlänge und -weite) weisen darauf hin, dass Personen mit DS im Vergleich zu Personen ohne DS ein ineffizientes Gangmuster mit Schwierigkeiten bei der Anpassung dieser Muster haben. Demgegenüber berichten Hocking und Kollegen (2014) von Unterschieden bezüglich der zeitlichen Komponenten des Gangmusters zwischen Personen mit DS und einer Kontrollgruppe mit gleichem chronologischem Alter. Ihre Untersuchung zeigt bei Personen mit DS eine große Variabilität in den Schrittzeiten unter Doppelaufgabenbedingung mit einem Digit-Span Test. Die Auto-

¹⁸ Aufgrund der geringen Anzahl an Doppelaufgabenstudien mit motorischer Fortbewegungsaufgabe bei Personen mit DS wird auf eine tabellarische Darstellung verzichtet.

¹⁹ In der Arbeit von Horvat et al. (2013) wird das Zuknöpfen eines T-Shirts als motorische Aufgabe mit zusätzlicher Anforderung an die kognitiven Ressourcen bezeichnet.

ren konnten im Vergleich zu einer Kontrollgruppe allerdings erst mit erhöhter kognitiver Belastung (maximale Ziffernspanne; die maximale Ziffernspanne wurde im Sitzen unter Einzelaufgabenbedingung ermittelt) eine erhöhte Variabilität in den Schrittzeiten bei DS beobachten.

Dies verdeutlicht, dass auf Grundlage des kognitiven Profils der Erkrankung, der Wahl der kognitiven Aufgabe sowie deren Schwierigkeitsstufe die Gangkontrolle unterschiedliche Muster zeigen kann. Klare Aussagen zu motorisch-kognitiven Interferenzen bei Personen mit DS lassen sich aufgrund der geringen Anzahl an Studien und der heterogenen Wahl der kognitiven Zusatzaufgabe kaum machen. Auch gibt es bis dato keine Studien die sich motorisch-kognitive Interferenzen bei jüngeren Kindern mit DS ansehen. Horvat et al. (2013) als auch Hocking et al. (2014) nutzen das relativ einfache Geradeausgehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit. Vor allem Kleinkinder laufen selten in einer geraden Linie. Die meisten Pfade (73%) sind gekrümmt und kurvig (Lee, Cole, Golenia, & Adolph, 2018). Das Gehen mit Richtungsänderungen erfordert demgegenüber eine notwendige asymmetrische Platzierung der Füße und eine Steuerung des Körpers in verschiedene Richtungen (Schott et al., 2016). Auch wird das Laufen durch häufige Starts und Stopps unterbrochen, einschließlich vieler (30-50%) 1- bis 3 kleinschrittiger Gangmuster (Adolph et al., 2012; Cole, Robinson, & Adolph, 2016; Lee et al., 2018). Dadurch scheint das Gehen mit Richtungswechsel eine ökologisch valide Alternative mit erhöhter Schwierigkeitsstufe zu sein, die in zukünftigen Studien mit Kindern zum Einsatz kommen sollte.

Insbesondere die kognitive Entwicklungsverzögerungen, die sich vom Grad der leichten bis zur schweren geistigen Behinderung erstrecken (Gupta & Kabra, 2014), sowie die Einschränkungen in den EF, werden als zentraler Erklärungsansatz diskutiert (Lanfranchi et al., 2012).

3.4 Doppelaufgabenperformanz bei älteren Erwachsenen

3.4.1 *Typisch entwickelte ältere Erwachsene*

Im Folgenden werden 7 Überblickbeiträge,²⁰ welche sich mit motorisch-kognitiven Interferenzen während dem Gehen befassen und dem Zusammenhang zu Stürzen in älteren Populationen nachgehen, chronologisch und in tabellarischer Form dargestellt (siehe Tabelle 4).

Im Review von Zijlstra, Ufkes, Skelton, Lundin-Olsson und Zijlstra (2008) mit 19 Artikeln wird untersucht, inwiefern Doppelaufgaben geeignet sind, Stürze sensibel vorherzusagen. Auch wird geprüft, ob Änderungen der Gleichgewichtsleistung nach spezifischen Sturzpräventionsprogrammen durch Doppelaufgaben besser erfasst werden können. Die Autoren bekräftigen, dass eine passende Interpretation der Ergebnisse aufgrund der hohen Heterogenität der Studienprotokolle zur posturalen Kontrolle, zur dynamischen Gleichgewichtsfähigkeit und der Fortbewegung nicht möglich sei. Weder berichten die eingeschlossenen Studien gleiche statistische Maße für die Leistung in den Einzelaufgaben, noch für die Leistung unter Doppelaufgabenbedingung. Die Ergebnisse von Bergland und Wyller (2004) und einige Ergebnisse von Verghese et al. (2002) deuten allerdings, laut den Autoren, auf einen Mehrwert von Doppelaufgaben im Vergleich zu Einzelaufgaben als Indikator zur Sturzvorhersage.

Beauchet und Kollegen (2009) schließen alle veröffentlichten Studien zwischen 1997 und 2008 ein, die den Zusammenhang zwischen Stürzen, Gangveränderungen und aufmerksamkeitsanfordernden Aufgaben untersuchten. Die Autoren bemängeln, dass, obwohl häufig über Gangveränderungen während Doppelaufgaben bei älteren Erwachsenen berichtet wird (Woollacott & Shumway-Cook, 2002; Bloem, Steijns, & Smits-Engelsman, 2003), die Ergebnisse der veröffentlichten Studien sehr heterogen

²⁰ Zwei Gutachter recherchierten bis Anfang Dezember 2017 unabhängig voneinander in den elektronischen Datenbanken PubMed, PsycINFO, Embase, ERIC und SPORTSDiscus nach systematischen Überblicksartikeln und Metaanalysen, welche sich mit dem Zusammenhang zwischen Doppelaufgaben und der Sturzproblematik befassen. Nach der Anwendung der Einschlusskriterien (ältere Erwachsene; kognitive Aufgabe; Gehen als motorische Aufgabe; Überblicksbeitrag) wurden 7 Artikel einer genaueren Betrachtung unterzogen.

im Hinblick auf die Sturzvorhersage ausfallen. Die Autoren kommen zu der Schlussfolgerung, dass hohe DAK mit einem erhöhten Risiko zu stürzen bei älteren Erwachsenen, insbesondere bei fragilen älteren Erwachsenen, einhergehen. Dies deshalb, weil die größten Vorhersagewerte in Studien mit geriatrischen und stationär behandelten Patienten (Kressig et al., 2008) sowie institutionalisierten Populationen (Lundin-Olsson, Nyberg, & Gustafson, 2000; Lundin-Olsson et al. 1997; Lundin-Olsson, Nyberg, & Gustafson, 1998) erzielt worden sind.

Al-Yahya et al. (2011) konzentrieren sich in ihrer Metaanalyse von 66 Studien auf die Effekte der kognitiven Zweitaufgaben hinsichtlich der fünf meist untersuchten Gangparameter (eine Frequenzanalyse der eingeschlossenen Studien ergab folgende Gangparameter: Gehgeschwindigkeit, Kadenz, Schreitlänge, Schreitzeit und Schreitzeitvariabilität). Ihre zentrale Folgerung war, dass die Leistung beim Gehen am deutlichsten durch interne Störfaktoren, wie sie bei simultan zum Gehen durchgeführten mentalen Tracking-Aufgaben auftreten, beeinflusst wird. Für externe Störfaktoren (z. B. Reaktionszeitaufgaben) konnte dieser Zusammenhang nicht bestätigt werden.²¹ Betont wird dieser Zusammenhang bei hohem Alter und bereits eingeschränkten kognitiven Fähigkeiten (u.a. leichte kognitive Störungen; Demenz). Darüber hinaus bemängeln die Autoren die ökologische Validität vieler Studien. Ähnlich den zuvor beschriebenen Übersichtbeiträgen wird auch hier angemerkt, dass aufgrund der methodischen Variationsvielfalt und der heterogenen Studienprotokolle die Ergebnisinterpretation wesentlich erschwert wird und Schlussfolgerungen nur sehr behutsam gezogen werden können.

Beurskens und Bock (2012b) geben einen Überblick altersabhängiger Einschränkungen bei der Bearbeitung von Doppelaufgaben in einer dynamischen Gleichgewichtsaufgabe. Es werden die Anforderungen und Eigenschaften der kognitiven Zweitaufgaben als Erklärungsansatz herangezogen, um altersabhängige Unterschiede in den DAK zu verdeutlichen. Die Autoren betonen, dass visuell anspruchsvolle Aufgaben besonders sensitiv für die Produktion von DAK sind. Diesbezüglich wird auf Studien

²¹ Um die Ergebnisse der verschiedenen Studien miteinander zu vergleichen wurde ein Klassifizierungssystem genutzt, welches die kognitiven Zweitaufgaben in Abhängigkeit ihrer Inanspruchnahme der kognitiven Prozesse unterteilt.

der Forschungsgruppe um Lindenberger et al. (2000; sowie Li et al., 2001a) verwiesen, die bei älteren Personen, im Vergleich zu jüngeren, höhere DAK für eine visuell-räumliche Entscheidungsaufgabe zeigen konnten.

Chu, Tang, Peng und Chen (2013) merken an, dass bis dato lediglich zwei Studien veröffentlicht wurden, die mit verschiedenen Aufgabentypen und unterschiedlicher Komplexität versuchen Stürze vorherzusagen (Shumway-Cook, Brauer, & Woolacott, 2000; Nordin, Moe-Nilssen, Ramnemark, & Lundin-Olsson, 2010). Diese Studien zeigten allerdings widersprüchliche Ergebnisse. Aus diesem Grund sahen sich die Autoren die Wirkung der verschiedenen Arten und Komplexitäten von Aufgaben genauer an. Analog zu den Befunden von Beauchet et al. (2009) konnte bestätigt werden, dass Leistungsveränderungen in Doppelaufgaben bei älteren Personen signifikant mit dem Risiko zu Stürzen verbunden sind. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Al-Yahya et al. (2011) bestätigen Chu et al. (2013) den Zusammenhang von DAK und einem erhöhten Sturzrisiko nur für mentale Tracking-Aufgaben, nicht aber für Aufgaben zur verbalen Flüssigkeit oder anderen motorischen Aufgaben.

In einem Review von Menant, Schoene, Sarofim und Lord (2014) kritisieren die Autoren ebenso das hohe Maß an Heterogenität der von Zijlstra et al. (2008), Beauchet et al. (2009) und Chu et al. (2013) zusammengefassten Studien. Demnach lassen die vielfältigen Protokolle der eingeschlossenen Studien keine sinnvolle Meta-Analyse zu. Ziel ihres systematischen Überblicksbeitrages war, den Zusammenhang zwischen der Gehleistung unter Doppelaufgabenbedingungen und dem Sturzrisiko bei älteren Personen im Vergleich zum einfachen Gehen²² in einer Meta-Analyse zu evaluieren. In ihrer Analyse mit 33 Artikeln – als Gangparameter wurde nur die Gehgeschwindigkeit herangezogen²³ – kommen die Autoren zu der Schlussfolgerung,

²² Allein die Gehgeschwindigkeit ist als Prädiktor für Stürze ausreichend nachgewiesen (van Abellan Kan et al., 2009; Roos & Dingwell, 2013).

²³ Menant et al. (2014) begründen dies damit, dass die Gehgeschwindigkeit im klinischen Setting ein vielfach eingesetzter Gangparameter ist und dieser in den veröffentlichten Studien zum Thema Sturzrisiko am häufigsten beschrieben wurde. Jedoch könnte die Vorhersagekraft von Stürzen durch Einbeziehen der Variabilität ausgewählter ganganalytischer Parameter erhöht werden (Herman, Mirelman, Giladi, Schweiger, & Hausdorff, 2010; Kressig, Herrmann, Grandjean, Michel, & Beauchet, 2008; Reelick et al., 2011; Springer et al. 2006; Taylor, Delbaere, Mikolaizak, Lord, & Close, 2013).

dass sowohl die Gehgeschwindigkeit in der Einzel- als auch die in der Doppelaufgabe zwischen gestürzten und nicht gestürzten Personen differenziert. Mit anderen Worten liefert die Gehgeschwindigkeit in der Doppelaufgabe weder einen klinisch noch einen statistisch signifikanten Vorteil gegenüber der Gehgeschwindigkeit beim einfachen Gehen. Dieser Befund war zudem unabhängig von der eingesetzten kognitiven Zweitaufgabe.

2016 wurden eine Meta-Analyse (Smith, Cusack, & Blake, 2016) und eine systematische Übersichtsarbeit (Muir-Hunter & Wittwer, 2016) mit ähnlichen inhaltlichen Schwerpunkten veröffentlicht. Smith et al. (2016) untersuchten den Effekt einer Doppelaufgabe auf die Gehgeschwindigkeit bei älteren Personen. Mit dem Hinweis, dass die Gehgeschwindigkeit ein allgemein akzeptierter Indikator zur Sturzvorhersage darstellt und eine Geschwindigkeit von weniger als 1m/s mit einem erhöhten Risiko zu stürzen verbunden ist, heben die Autoren das Fehlen normativer Werte in den Gehgeschwindigkeiten unter Doppelaufgabenbedingung hervor. Aus dem Überblickbeitrag lassen sich bezüglich der Gehgeschwindigkeit und dem damit verbundenen Sturzrisiko keine klaren Handlungsempfehlungen für die klinische Praxis ableiten. Diesbezüglich bemängeln die Autoren die unzureichende Standardisierung der methodischen Vorgehensweisen zur Bewertung des Gehens unter Doppelaufgabenparadigmen. Auch Muir-Hunter und Wittwer (2016) schlussfolgern, dass auf Grundlage der einbezogenen Studien keine detaillierten Handlungsempfehlungen gemacht werden können. Ihr Beitrag verdeutlicht allerdings den Zusammenhang zwischen der Verschlechterung der Gehleistung unter Doppelaufgaben und dem Sturzrisiko. Aus Sicht der Autoren haben Doppelaufgaben im Vergleich zu Einzelaufgaben demnach einen klaren Vorteil bei der Bewertung des Sturzrisikos älterer Personen.

Der Nutzen des Doppelaufgabenparadigmas zur Vorhersage von Stürzen wird in einigen Arbeiten kritisch hinterfragt. So sehen sich Zijlstra et al. (2008) und Menant et al. (2014) mit einer möglichen Äquivalenz des Einsatzes von Einzel- und Doppelaufgabe bei der Vorhersage von Stürzen konfrontiert. Die einzelnen Studien befassen sich mit verschiedenen Schwerpunkten und sind charakterisiert durch uneinheitliche, nicht standardisierte Versuchsanordnungen.

Tab. 4: Überblicksbeträge zu Doppelaufgaben bei älteren Personen mit Fokus auf die Sturzvorhersage.

Autoren (Jahr)	Art des Artikels	n	Fragestellung/ Ziel	Ergebnisse	Kommentar	Mehrwert
Zijlstra et al. (2008)	Mini-Review	19	Mehrwert von Doppelaufgaben bei der Vorhersage von Stürzen. Änderungen der Gleichgewichtsleistung nach spezifischen Sturzpräventionsprogrammen durch Doppelaufgaben.	Die Ergebnisse von Bergland und Wyller (2004) sowie Verghese et al. (2002) deuten laut den Autoren auf einen Mehrwert von Doppelaufgaben als Indikator zur Sturzvorhersage.	Interpretation der Ergebnisse aufgrund der hohen Heterogenität der Studienprotokolle nicht möglich. DAK werden in keiner der Studien berechnet.	NEIN: Mögliche Äquivalenz des Einsatzes von Einzel- und Doppelaufgabe
Beauchet et al. (2009)	Systematischer Überblicksbeitrag	15	Zusammenhang zwischen Stürzen, Gangveränderungen und aufmerksamkeitsanfordernden Aufgaben.	Insbesondere bei fragilen älteren Erwachsenen gehen hohe DAK mit einem erhöhten Risiko zu stürzen einher.	Fehlen eines standardisierten Doppelaufgabeparadigmas (Heterogenität der Studienprotokolle. Insbesondere bei kognitiven Sekundäraufgaben.	Ja: Mehrwert von Doppelaufgaben angenommen
Al-Yahya et al. (2011)	Systematischer Überblicksbeitrag und Meta – Analyse.	66	Kognitive Interferenzen und Leistungseinbußen beim normalen Gehen unter Doppelaufgabenbedingung.	Leistung beim Gehen am deutlichsten beeinflusst durch interne Störfaktoren, wie sie bei simultan zum Gehen durchgeführten mentalen Tracking-Aufgaben auftreten.	Autoren bemängeln die ökologische Validität vieler Studienprotokolle sowie die methodische Variationsvielfalt.	Ja: Mehrwert von Doppelaufgaben angenommen
Chu et al. (2013)	Systematischer Überblicksbeitrag und Meta-Analyse.	15	Einfluss der verschiedenen Arten von Aufgaben sowie des Schwierigkeitsgrades der Aufgabe auf die Vorhersage von Stürzen bei älteren Personen.	Zusammenhang von DAK und erhöhtem Sturzrisiko nur für mentale Tracking-Aufgaben. Zusammenhang zwischen Leis-	Laut den Autoren sollte nicht ausschließlich die Verschlechterung in Doppelaufgaben als Prädiktor für Stürze herangezogen werden.	Ja: Mehrwert von Doppelaufgaben angenommen

Autoren (Jahr)	Art des Artikels	n	Fragestellung/ Ziel	Ergebnisse	Kommentar	Mehrwert
				tungsveränderungen in Doppelaufgaben bei älteren Personen und dem Risiko zu stürzen.	Es gibt eine Vielzahl weiterer Risikofaktoren.	
Beurskens u. Bock (2012b)	Überblicksbeitrag	11	Aktueller Kenntnisstand zur Rolle der Kognition in Fortbewegungsaufgaben bei älteren Personen.	Visuell anspruchsvolle Aufgaben besonders sensitiv für die Produktion von DAK.	Interventionen, mit visuell anspruchsvollen Aufgaben können Defizite unter Doppelaufgaben bei älteren Menschen verringern.	Ja: Mehrwert von Doppelaufgaben angenommen
Menant et al. (2014)	Systematischer Überblicksbeitrag und Meta-Analyse	33	Mehrwert von Doppelaufgaben bei der Vorhersage von Stürzen.	Sowohl die Gehgeschwindigkeit in der Einzel- als auch die in der Doppelaufgabe differenziert zwischen gestürzten und nicht gestürzten Personen. Auch die kognitive Zweitaufgabe hat keinen Einfluss auf den Mehrwert von Doppelaufgaben.	Die Autoren kritisieren das hohe Maß an Heterogenität der von Zijlstra et al. (2008), Beauchet et al. (2009) und Chu et al. (2013) zusammengefassten Studien.	NEIN: möglichen Äquivalenz des Einsatzes von Einzel- und Doppelaufgabe
Smith et al. (2016)	Systematischer Überblicksbeitrag und Meta-Analyse	22	Einfluss von Doppelaufgaben auf die Geschwindigkeit beim Gehen bei älteren Personen.	Doppelaufgaben mit zusätzlicher kognitiver Aufgabe führen zu einer reduzierten Gehgeschwindigkeit. Dies sowohl für mentale Tracking-Aufgaben als auch für verbale Flüssigkeitsaufgaben.	Unzureichende Standardisierung der methodischen Vorgehensweisen zur Bewertung des Gehens mit Doppelaufgaben. Fehlen normativer Werte in den Gehgeschwindigkeiten unter Doppelaufgabenbedingung.	Ja: Mehrwert von Doppelaufgaben angenommen

Autoren (Jahr)	Art des Artikels	n	Fragestellung/ Ziel	Ergebnisse	Kommentar	Mehrwert
Muir-Hunter & Wittwer (2016)	Systema- tischer Über- blicksbei- trag.	24	Vergleich der Studienprotokolle mit und ohne Doppelaufgaben zur Sturzvorher- sage.	Deutlicher Zu- sammenhang zwischen der Verschlechterung unter Doppelauf- gaben und dem Sturzrisiko.	Bisherige Studien erlauben keine klaren Hand- lungsempfehlun- gen zur Bewer- tung des Sturzri- sikos mit Doppel- aufgaben.	Ja: Mehrwert von Dop- pelaufga- ben ange- nommen

Anmerkung. n = Fallzahl.

Neben den verschiedenartigen Gehbedingungen (Freies Gehen, Gehen mit Hindernissen, Gehen auf unebenem Terrain, Gehen auf dem Laufband, GAITRite) sind gerade die bisher eingesetzten aufmerksamkeitsanfordernden kognitiven Zweitaufgaben in qualitativer und quantitativer Hinsicht nur wenig vergleichbar (Al-Yahya et al., 2011). Auch ist bei den meisten dieser Studien die konkurrierende Zweitaufgabe losgelöst von einer zweckmäßigen Umgebung (ökologisch valides Setting) und lassen einen funktionalen Kontext vermissen. Mit der Begründung, dass erste Befunde vorliegen, die überlappende neuronale Netzwerke für die posturale Kontrolle und visuell-räumliche Aufgaben belegen (Barra, Bray, Sahni, Golding, & Gresty, 2006; Sturnieks, St. George, Fitzpatrick, & Lord, 2008), kann der Einsatz von visuell anspruchsvollen Aufgaben, die das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis (mentale Tracking-Aufgaben) involvieren, empfohlen werden (Menant et al. 2013). Allerdings sollte nicht ausschließlich die Verschlechterung in Doppelaufgaben als Prädiktor für Stürze herangezogen werden, da der Einsatz des Doppelaufgabenparadigmas nur bei Personen mit erhöhten Aufmerksamkeitsanforderungen an die Gleichgewichtskontrolle sinnvoll erscheint. Auch andere Risikofaktoren, wie die körperlichen Einschränkungen, der kognitive Status, das Ausmaß an körperlicher Aktivität und die Sturzgeschichte einer Person (Deandrea et al., 2010), sollten dementsprechend zur Beurteilung des individuellen Sturzrisikos herangezogen werden.

3.4.2 Ältere Erwachsene mit Parkinson

Die Parkinson Krankheit (auch Morbus Parkinson, primäres Parkinson-Syndrom, „Schüttellähmung“, Paralysis agitans²⁴ oder idiopathisches Parkinson-Syndrom genannt; engl.: Parkinson´s Disease, im weiteren Verlauf mit PD abgekürzt) ist, neben der Alzheimer Demenz, eine der häufigsten neurodegenerativen Erkrankungen im höheren Lebensalter. Die Häufigkeit von PD nimmt mit dem Alter zu (Benito-León, Bermejo-Pareja, Rodríguez, Molina, Gabriel, Morales, & Neurological Disorders in Central Spain (NEDICES) Study Group, 2003; Launer et al., 2000). In den Industrieländern wird die Prävalenz auf 0-3% der Gesamtbevölkerung geschätzt, wobei fast die Hälfte der Betroffenen zwischen dem 50. und dem 60. Lebensjahr erkranken. 1/3 der Betroffenen ist dabei 60 Jahre oder älter (Nussbaum & Ellis, 2003). Jährlich erkranken etwa 8-18/100.000 Personen neu (Benito-León et al., 2004; De Lau, Giesbergen, De Rijk, Hofman, Koudstaal, & Breteler, 2004; MacDonald, Cockerell, Sander, & Shorvon, 2000). Spezielle motorische Fehlfunktionen, wie Brady- und Hypokinese (= Verlangsamung und Verarmung der Bewegungen), Rigor (= Steifheit der Muskulatur), Ruhe- und Aktionstremor (= Ruhezittern und Zittern bei zielgerichteten Bewegungen) und Gleichgewichtsstörungen (= posturale Instabilität), weisen auf die Erkrankung hin, können jedoch auch bei anderen Krankheiten und neurologischen Störungen auftreten.²⁵ Die Bezeichnung Parkinsonsyndrom ist diesbezüglich ein Oberbegriff, bedeutet das gemeinsame Vorkommen dieser Symptome. Das Wort idiopathisch bedeutet, dass die Ursache der Erkrankung nicht bekannt ist. Etwa 75-80% der Parkinsonsyndrome gehören in die Gruppe des idiopathischen Parkinsonsyndroms, bei welchem in der Substantia nigra Dopamin produzierende Nervenzellen absterben (Parent & Parent, 2010): Der Mechanismus für den Untergang dieser dopaminergen Zellen ist jedoch noch nicht abschließend geklärt. Durch einen Mangel

²⁴ An die Beschreibungen von James Parkinson angelehnte Begriffe wie Schüttellähmung oder paralysis agitans werden heute nicht mehr verwendet.

²⁵ Krankheiten, wie die Lewy-Körperchen-Demenz (atypische Parkinson-Syndrome) oder medikamenteninduzierte symptomatische (sekundäre) Parkinson-Syndrome, die der Parkinsonschen Erkrankung ähneln. Im Gegensatz zum idiopathischen Morbus Parkinson zeichnen sie sich aber je nach betroffener Hirnregion durch bestimmte zusätzliche Befunde oder einen anderen klinischen Symptomverlauf aus.

an Dopamin bei fortschreitender Erkrankung wird das fein abgestimmte Zusammenspiel und Gleichgewicht der Botenstoffe (Neurotransmitter Dopamin und Acetylcholin) gestört, welches über die Basalganglienschleife (kurz CBGTC; engl.: Cortico-Basal Ganglia-Thalamo-Cortical Loop) eine bewegungsaktivierende Funktion ausübt (Silkis, 2001). Durch den Wegfall der inhibitorischen Neurone der Substantia nigra und der daraus resultierenden Abnahme der Disinhibition werden die erwähnten Symptome vermutlich hervorgerufen (Groenewegen, 2003). Der Globus pallidus internus wird übermäßig erregt, was wiederum dazu führt, dass das resultierende Output-Signal den Thalamus übermäßig dämpft. Die Folge ist die klassische Hemmung von Bewegungen bei Betroffenen.

Insbesondere Probleme mit der posturalen Kontrolle und Gangstörungen sind bei PD-Patienten zu beobachten. Während in frühen Stadien der Erkrankung Gangstörungen weniger ausgeprägt sind, nehmen die Prävalenz und die Schwere mit dem Fortschreiten der Erkrankung zu (Zampieri, Salarian, Carlson-Kuhta, Aminian, Nutt, & Horak, 2010; Mancini, Horak, Zampieri, Carlson-Kuhta, Nutt, & Chiari, 2011). Hawkes, Del Tredici und Braak (2009) berichten von ersten Kardinalsymptomen, wenn der degenerative Prozess bereits seit langem, in den meisten Fällen wahrscheinlich über 10 Jahre, fortgeschritten ist. Die Symptome beginnen dabei teilweise erst bei einer Reduktion auf 50% der normalen dopaminergen Aktivität (Lebouvier, Tasselli, Paillusson, Pouclet, Neunlist, & Derkinderen, 2010). Innerhalb von 3 Jahren nach der Diagnose entwickeln über 85% der Betroffenen eine posturale Instabilität und Probleme bei Fortbewegungsaufgaben (Kang, Bronstein, Masterman, Redelings, Crum, & Ritz, 2005). In frühen Phasen der Erkrankung ist die Sturzrate noch gering (Wenning et al., 1999). Im Krankheitsverlauf nimmt die Anzahl der Stürze allerdings zu, was dazu führt, dass 70% der Betroffenen einmal im Jahr, 50% einmal im halben Jahr und 13% mehrmals wöchentlich stürzen (Bloem, Grimbergen, Cramer, Willemsen, & Zwiderman, 2001; Wood, Bilclough, Bowron, & Walker, 2002; Pickering et al., 2007). Das für PD-Patienten charakteristische kleinschrittige, schlurfende Gangmuster mit Festination (unwillkürliche Tendenz zu kleinen, immer schneller werdenden Schritten), plötzlichen Freezing-Episoden (plötzliche Bewegungsblockaden) sowie die nach vorne Übergeneigte Haltung mit eng am Rumpf gehaltenen,

meist gebeugten Armen und reduzierter Schwungbewegung (Bloem, Beckley, & van Dijk, 1999) trägt dabei wesentlich zur erhöhten Instabilität bei.

Neben den genannten motorischen Symptomen kommt hinzu, dass verschiedene Aspekte der kognitiven Beeinträchtigung bei PD-Patienten die Gleichgewichtsfähigkeit negativ beeinflussen können (Aarsland et al., 2010; Muslimović, Schmand, Speelman, & De Haan, 2007; Watson, & Leverenz, 2010). Dabei fällt das Ausmaß der kognitiven Beeinträchtigung bei den Betroffenen sehr heterogen aus (Kehagia, Barker, & Robbins, 2010) und verschlechtert sich im Verlauf der Erkrankung analog zu den motorischen Symptomen. Die Prävalenz einer komorbiden Demenz wird dabei auf 26-44% geschätzt (Aarsland, Andersen, Larsen, & Lolk, 2003; Hobson & Meara, 1999). Insbesondere das Gehen mit zusätzlicher motorischer Handlung oder parallel durchzuführender kognitiver Aufgabe scheint den Betroffenen schwer zu fallen (Amboni et al., 2012; Marchese, Bove, & Abbruzzese, 2003; Kelly, Eusterbrock, & Shumway-Cook, 2012). Dabei können spezifische Veränderungen der Gangmuster bei Personen mit Parkinson Diagnose insbesondere unter Doppelaufgaben beobachtet werden, wie zum Beispiel in Bezug auf die Gehgeschwindigkeit, Gangvariabilität, Gangrhythmus und bilaterale Koordination (Belghali et al., 2017; Hausdorff, Balash, & Giladi, 2003; O'Shea, Morris, & Iansek, 2002; Plotnik et al., 2009, 2011; Yogev, et al., 2005). Während gesunde ältere Erwachsene ihre Aufmerksamkeit – bei gleichzeitiger kognitiver und motorischer Anforderung – der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts widmen, nutzen PD-Patienten eine „Posture Second“-Strategie mit Ressourcenallokation in Richtung kognitiver Aufgabe (Bloem et al., 2006). PD-Patienten zeigen demnach erhöhte Leistungseinbußen in der motorischen bzw. Gleichgewichtsaufgabe und widmen, auf Kosten eines sicheren Ganges, den zusätzlichen Aufgaben überproportionale Aufmerksamkeit zu. (Morris, Iansek, Smithson, & Huxham, 2000; Ashburn, Stack, Pickering, & Ward, 2001; Peterson, Fling, Mancini, Cohen, Nutt, & Horak, 2014; Marchese, Bove, & Abbruzzese, 2003). Allerdings sind die Strategien der Ressourcenallokation bei weitem nicht gesichert. So zeigen die Untersuchungen von Wild et al. (2013) eine Priorisierung der motorischen Aufgabe. Die Autoren interpretieren dieses Muster als ein umsichtiges Verhalten zum Erhalt

des Gleichgewichts unter Doppelaufgabenbedingung aufgrund der ökologischen Relevanz der verschiedenen Aufgaben. Yogev-Seligmann, Rotem-Galili, Dickstein und Hausdorff (2012) konnten diesbezüglich zeigen, dass PD-Patienten ohne kognitive Einschränkung expliziten Instruktionen bezüglich der Aufgabenpriorisierung folgen konnten.

Die genauen Mechanismen dieser Defizite sind aufgrund der Vielzahl an Einflussfaktoren nicht gänzlich bekannt (Yogev-Seligmann et al., 2012). Als Erklärungsansätze werden allgemeine und für PD spezifische Mechanismen herangezogen. Diese Ansätze schließen sich gegenseitig nicht aus, vielmehr sind sie von Faktoren wie der Aufgabenkombination oder der individuellen Symptomatik der Betroffenen abhängig (Kelly et al., 2012). Ein erster allgemeiner Erklärungsansatz ist, dass eine kognitive Beeinträchtigung mit reduzierten Aufmerksamkeitsressourcen zu der von Bloem et al. (2006) beobachteten unangemessenen und riskanten Priorisierung der Sekundäraufgaben führen kann. Eine alternative, parkinsonspezifische Erklärung ist, dass aufgrund der Degeneration der Basalganglien eine automatisierte Kontrolle des dynamischen Gleichgewichts bei Fortbewegungsaufgaben nicht mehr möglich ist und dadurch Defizite in Doppelaufgaben entstehen (Takakusaki, Oohinata-Sugimoto, Saitoh, & Habaguchi, 2004). Eine reduzierte Bewegungsautomatisierung geht einher mit einer verstärkten Nutzung kognitiver Ressourcen zur Gangkontrolle (Wu, Kansaku, & Hallett, 2004; Poldrack, Sabb, Foerde, Tom, Asarnow, Bookheimer, & Knowlton, 2005). Dies kann als Kompensation verstanden werden, um die motorischen Funktionen aufrechtzuerhalten. Anatomisch spielt das Frontalhirn über seine Verbindung zum Striatum eine entscheidende Rolle sowohl für die kognitiven Funktionen (EF) als auch für die Gangkontrolle (Belghali et al., 2017). Aufgrund der gemeinsamen Nutzung kann angenommen werden, dass Veränderungen der EF oder Anforderungen an diese (beispielsweise unter motorisch-kognitiven Doppelaufgaben), einen Einfluss auf das Gehen ausüben. Einige Studien unterstützen diese Hypothese und zeigen, dass gleichzeitige Verschlechterungen des Gangs und der kognitiven Funktionen durch Beeinträchtigungen im fronto-hippocampalen Schaltkreis (an räumlicher Orientierung und Navigation beteiligt; Montero-Odasso, Muir, & Spe-

echley, 2012) und fronto-striatale Schaltkreis (beteiligt bei der Aufmerksamkeitssteuerung; Beauchet, Allali, Montero-Odasso, Sejdić, Fantino, & Annweiler, 2014) begründet liegen.

Aufgrund des Fehlens kurativer Therapien konzentrieren sich die Forschungsarbeiten meist auf die frühzeitige Erkennung der Parkinsonerkrankung und der Suche nach geeigneten Markern eines Prodromalstadiums (Belghali et al., 2017; siehe Tabelle 5).

Tab. 5: Überblick der Studienprotokolle zu Doppelaufgabenparadigmen bei PD Patienten in der prodromalen und klinischen Phase der Erkrankung (mod. nach Belghali et al., 2017, S. 316).

Autoren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Doppelaufgabenbedingung	Berechnung von DAK
Mirelman et al. (2011)	LRRK2: <i>n</i> =25 HOA: <i>n</i> =27	Freies Gehen mit selbst gewählter und maximaler Geschwindigkeit	Rückwärtszählaufgabe (7er Schritte)	↑ Schritzeitvariabilität, in LRRK2 im Vergleich zu HOA in beiden Geschwindigkeiten	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)
Tseng et al. (2012)	PD: <i>n</i> =30 HOA: <i>n</i> =28	Vorwärts- und Rückwärtsgehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit (6m)	Rückwärtszählaufgabe (von 100 beginnend in 1er Schritten)	↓ Gehgeschw., ↓ Schwungphase, ↓ Schreitlänge, in PD im Vergleich zu HOA in beiden Laufrichtungen	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)
YogevSeligmann et al. (2012)	PD: <i>n</i> =18 HOA: <i>n</i> =15	Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit (30m)	Wortflüssigkeitsaufgabe	↓ Gehgeschw., ↑ Schritzeitvariabilität, ↑ Variabilität in der Schwungphase, in beiden Gruppen	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)
Fuller et al. (2013)	PD: <i>n</i> =154	Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit (15m)	Wortflüssigkeitsaufgabe (Buchstaben: "F", "A" und "S")	↓ Gehgeschw., ↓ kognitive Leistung	JA
Panyakaew and Bhidayasiri (2013)	PD: <i>n</i> =21 HOA: <i>n</i> =21	Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit (7.82m)	Rückwärtszählaufgabe (von 200 beginnend in 3er Schritten)	↑ Kadenz, ↑ Schreitlänge, ↓ Schwungphase, ↑ Schritzeit, in PD im Vergleich zu HOA	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)

Autoren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Doppelaufgabenbedingung	Berechnung von DAK
Wild et al. (2013)	HOA: $n=18$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (9m)	Rückwärtszählaufgabe (von 700 beginnend in 7er Schritten) Textverständnis; vordefinierte Phänomene zählen	↓ Schwungphase, ↓ Doppelstützphase, in PD im Vergleich zu HOA ↓ kognitive Leistung bei PD in allen Bedingungen im Vergleich zu HOA	JA
YogevSeligmann et al. (2012)	PD: $n=18$ YA: $n=21$ HOA: $n=15$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (30m)	Wortflüssigkeitsaufgabe	↓ Gehgeschw., ↑ Schreitlänge, ↑ Schreitlängenvariabilität, in PD im Vergleich zu YA und HOA → kognitive Leistung	JA
Rochester et al. (2014)	PD: $n=11$ HOA: $n=12$	Freies Gehen und Gehen auf einem schmalen Weg (8.8m)	Stroop Aufgabe (auditiv)	↓ Gehgeschwindigkeit, in PD im Vergleich zu HOA ↓ kognitive Leistung, in PD im Vergleich zu HOA	JA
Lerche et al. (2014)	PD: $n=27$ MPS: $n=73$ HOA: $n=892$	Freies Gehen mit selbstgewählter und maximaler Geschwindigkeit (20m)	Box-Checking Aufgabe; Rückwärtszählaufgabe (7er Schritte)	↓ Gehgeschw. in allen Bedingungen	NEIN
Stegemöller et al. (2014)	PD: $n=35$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (12m)	Rückwärtszählaufgabe (3er Schritte)	↓ Gehgeschw. ↑ Schreitlänge, ↑ Schreitzeit, ↑ Schreitweite, ↑ Variabilität in allen Parametern	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)
Strouwen et al. (2016)	PD: $n=121$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (10m)	Rückwärtszählaufgabe; Stroop Aufgabe (auditiv); Serial; Handyaufgabe	↓ Gehgeschw., - Starke Korrelation zwischen Gehgeschwindigkeit und der kognitive Flexibilität	JA

Autoren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Doppelaufgabenbedingung	Berechnung von DAK
Vervoort et al. (2016)	PD: $n=73$ HOA: $n=20$	Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit (6m)	Stroop Aufgabe (auditiv)	↑ Doppelstützphase, ↑ Schreitlängen-variabilität, ↓ Schwungphase, in PD im Vergleich zu HOA ↓ kognitive Leistung, in PD im Vergleich zu HOA - Starke Korrelation zwischen Gehgeschwindigkeit und kognitiver Flexibilität	
Mirelman et al. (2016)	PD: $n=194$ LRRK2: $n=122$ HOA: $n=64$	Freies Gehen mit selbst gewählter Geschwindigkeit (15m)	Rückwärtszählaufgabe (3er Schritte)	↑ Schreitzeit-variabilität, ↑ Armschwung-variabilität, ↑ Armschwung-Asymmetrie, ↓ flüssige axiale Körperrotation, in LRRK2 im Vergleich zu HOA	NEIN

Anmerkung. n = Fallzahl; PD = Parkinson Patienten (engl.: Parkinson Disease); LRRK2 = Parkinson Patienten mit Mutationen im LRRK2-Gen; MPS²⁶ = (engl.: Mild Parkinsonian signs); IRBD = idiopathische REM-Schlaf-Verhaltensstörung (engl.: Idiopathic Rapid-Eye-Movement Sleep Behaviour Disorder); YA = junge Erwachsene (engl.: young adults); HOA = gesunde ältere Erwachsene (engl.: healthy older adults); DAK = Doppelaufgabenkosten: Die Pfeilrichtung gibt an, ob eine Verbesserung (↓), eine Verschlechterung (↑) oder keine Veränderung (→) unter Doppelaufgabenbedingung zu beobachten ist.

Patienten mit Gangstörungen müssen durch valide, gut evaluierte klinische Tests identifiziert werden, die eine präzise Bewertung des individuellen Sturzrisikos und Schweregrades der Erkrankung erlauben. Bisher gibt es keinen Goldstandard zur Operationalisierung der Gangstörungen bei PD. Der im motorischen Teil der Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS; Movement Disorder Society Task Force on Rating Scales for Parkinson's Disease, 2003) integrierte Gehstest (Item 29) wird

²⁶ Siehe Louis und Bennett (2007) bezüglich dem Konzept MPS (engl.: Mild Parkinsonian Signs).

im klinischen Setting häufig eingesetzt. Dieser ist letztlich für die Differenzierung zwischen leichtem (Hoehn & Yahr 1 und 2) und fortgeschrittenem Stadium (Hoehn & Yahr 3) der Parkinsonerkrankung ausschlaggebend (Goetz et al., 2004). Um die Vorhersagekraft der klinischen Untersuchung bezüglich des Sturzrisikos zu verbessern, den Schweregrad der Erkrankung zu beurteilen und die unterschiedlichen Aspekte des Gehens zu erfassen, erscheint es notwendig neben reaktiven und supportiven Aspekten der Gleichgewichtskontrolle auch antizipatorische, willkürliche und kognitive Aspekte der Fortbewegung zu erfassen. Doppelaufgabenparadigmen mit zusätzlicher kognitiver Aufgabe können demnach für die Diagnostik und Quantifizierung von Gangstörungen und für das Staging, die Therapieoptimierung und die Prognose der Parkinsonerkrankung nützlich sein.

Die meisten Studien mit dem Doppelaufgabenparadigma und zusätzlicher kognitiver Aufgabe nutzen diesbezüglich das relativ einfache Geradeausgehen als motorische Fortbewegungsaufgabe. Komplexe Fortbewegungsaufgaben, in denen die Gehgeschwindigkeit angepasst und die Gehrichtung verändert werden, scheinen für PD-Patienten besonders anspruchsvoll und sensitiv für die Produktion von DAK zu sein. Während das Geradeausgehen durch einfache Informationsverarbeitungsprozesse gelöst werden kann, erklärt die kognitive Flexibilität und die Fähigkeit zum Aufgabenwechsel die Geschwindigkeit beim Kurvengehen (Lowry et al., 2012) sowie beim Gehen mit Richtungswechsel (Mazaheri et al., 2014). Da insbesondere die kognitive Flexibilität stark abhängig ist vom dopaminergen System der Basalganglien (Berry et al., 2016) und bei PD-Patienten eingeschränkt ist, empfehlen Belghali et al. (2017) Paradigmen zu nutzen, die zum neuropathologischen Profil der Erkrankung passen und die kognitive Flexibilität beanspruchen. Da PD-Patienten außerdem weniger anfällig für Sekundäraufgaben mit auditorischer Modalität (Kelly & Shumway-Cook, 2014) sind und die Leistung beim Gehen durch interne Störfaktoren am deutlichsten beeinflusst wird (Beurskens & Bock, 2012a; Al-Yahya et al., 2011) kommt im Rahmen dieser Untersuchung eine mobile Variante des TMT zum Einsatz (Schott, 2015).

3.4.3 Ältere Erwachsene mit leichter kognitiver Einschränkung

Leichte kognitive Beeinträchtigung (LKB, engl.: Mild Cognitive Impairment, im weiteren Verlauf mit MCI abgekürzt) geht mit subjektiven und objektivierbaren kognitiven Einbußen einher, ohne jedoch ein Verlust der Alltagskompetenz aufzuweisen. Es handelt sich hierbei um eine im höheren Alter häufige Beeinträchtigung von Gedächtnis, Aufmerksamkeit und Denkvermögen, die ohne wesentliche Alltagseinschränkungen das Vorstadium einer Demenz darstellen kann (Janoutová, Serý, Hosák, & Janout, 2015). Bei circa 10 bis 20% aller Patienten mit MCI schreiten die leichten Störungen innerhalb eines Jahres zu einer manifesten Demenz voran (Petersen et al., 2009). Da sich mit zunehmendem Alter das Risiko erhöht an Demenz zu erkranken, prognostiziert die Weltgesundheitsorganisation (WHO), dass bis 2050 155,4 Millionen Menschen an Demenz erkrankt sein werden. Kognitive Beeinträchtigungen wie MCI und Demenz können daher, nicht zuletzt aufgrund des demografischen Wandels, als eines der größten Herausforderungen für die Gesundheitssysteme des 21ten Jahrhunderts gesehen werden.

Die Suche nach diagnostischen Früherkennungsverfahren, insbesondere die Suche nach motorischen Markern, stellt ein neues vielversprechendes Forschungsfeld dar (Aggarwal, Wilson, Beck, Bienias, & Bennett, 2006; Beauchet, Allali, Launay, Herrmann, & Annweiler, 2013; Montero-Odasso et al., 2009; Pettersson, Olsson, & Wahlund, 2005; Verghese et al., 2008). Trotz der Vielzahl an Studien, die zeigen konnten, dass die motorische Leistungsfähigkeit bei Personen mit MCI und demenziellen Erkrankungen eingeschränkt ist (Bahureksa, Najafi, Saleh, Sabbagh, Coon, Mohler, & Schwenk, 2017), gibt es nur wenig Studien, welche die Interaktion zwischen Kognition und Motorik im Rahmen von Doppelaufgabenparadigmen in Patientengruppen mit MCI oder Demenz untersucht haben (siehe Tabelle 6) (vgl. Schott, 2017).

Aufgrund der variierenden methodischen Ansätze kommen die dargestellten Studien zu unterschiedlichen Befunden. Allerdings lässt sich ein genereller Trend dahingehend festhalten, dass Interferenzen für Patienten mit MCI im Vergleich zu gesunden, älteren Erwachsenen größer ausfallen und diese Interferenzen wiederum noch deutlicher ausfallen für Patienten mit dementiellen Erkrankungen (Amboni, Barone, &

Hausdorff, 2013; Bahureksa, Najafi, Saleh, Sabbagh, Coon, Mohler, & Schwenk, 2017). Insbesondere für Fortbewegungsaufgaben wird ein starker Zusammenhang zur kognitiven Leistungsfähigkeit angenommen. Dieser Zusammenhang zwischen dem Gehen und der kognitiven Leistung bei älteren Menschen zeigt sich darin, dass die Gehgeschwindigkeit bei älteren Personen mit kognitiven Störungen und Demenz abnimmt (Allan, Ballard, Burn, & Kenny, 2005; Camicioli, Howieson, Oken, Sexton, & Kaye, 1998; Holtzer, Verghese, Xue, & Lipton, 2006; Holtzer et al., 2006; Montero-Odasso et al., 2009a; 2009b; Pettersson et al., 2005; van Iersel, Hoefsloot, Munneke, Bloem, & Rikkert, 2004). Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde die Gehgeschwindigkeit häufig als möglicher Marker für eine Demenz herangezogen (Montero-Odasso et al., 2014).

Tab. 6: Überblick der Studienprotokolle zu Doppelaufgabenparadigmen bei MCI Patienten in der prodromalen und klinischen Phase der Erkrankung (mod. nach Belghali et al., 2017, S. 310).

Autoren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Doppelaufgabenbedingung	Berechnung von DAK
Pettersson et al. (2005)	NCI: $n=33$ MCI: $n=59$ EAD: $n=22$ HOA: $n=26$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (10m)	Wortflüssigkeitsaufgabe	↓ Gehzeit für 10m, in EAD im Vergleich zu HOA	NEIN
Pettersson et al. (2007)	AD: $n=6$ MCI: $n=6$ HOA: $n=25$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (10m)	Wortflüssigkeitsaufgabe	↓ Gehgeschwindigkeit, in EAD im Vergleich zu MCI und HOA	NEIN
Montero-Odasso et al. (2009a)	MCI: $n=55$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (10m)	Rückwärtszählaufgabe; Wortflüssigkeitsaufgabe	↓ Gehgeschw.	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)
Montero-Odasso et al. (2009b)	MCI: $n=11$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (6m)	Rückwärtszählaufgabe (von 100 beginnend)	↓ Gehgeschw., ↑ Schritzeitvariabilität, ↑ Schritzeit, ↑ Doppelstützphase	JA

Autoren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Doppelaufgabenbedingung	Berechnung von DAK
Maquet et al. (2010)	MCI: $n=14$ MAD: $n=6$ HOA: $n=14$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (45m)	Rückwärtszählaufgabe	↓ Gehgeschw., in MAD und MCI im Vergleich zu HOA	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)
Muir et al. (2012)	AD: $n=23$ MCI: $n=29$ HOA: $n=22$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (6m)	Wortflüssigkeitsaufgabe; Rückwärtszählaufgabe (in 1er und 7er Schritten)	↑ Schreitzzeit, ↑ Schreitzzeitvariabilität, ↓ Gehgeschw., in AD und MCI im Vergleich zu HOA	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)
Montero-Odasso et al. (2012)	MCI: $n=43$ HOA: $n=25$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (6m)	Rückwärtszählaufgabe (beginnend bei 100; semantische Wortflüssigkeitsaufgabe)	↑ Schreitzzeitvariabilität, ↓ Gehgeschw., in MCI im Vergleich zu HOA (mit zunehmender Aufgabenkomplexität werden die Effekte größer)	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)
Boripuntakul et al. (2014)	MCI: $n=30$ HOA: $n=30$	Ganginitiierung (erster und zweiter Doppelschritt) mit selbstgewählter Geschwindigkeit	Rückwärtszählaufgabe (beginnend bei 20 oder 50 in 3er Schritten)	↑ Schwungphase, ↑ Schreitlängenvariabilität der ersten beiden Doppelschritte bei der Ganginitiierung, in MCI im Vergleich zu HOA	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)
Tseng et al. (2014)	a-MCI: $n=16$ HOA: $n=10$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (10m)	Wortflüssigkeitsaufgabe (Buchstabe: „C“); Gedächtnisspanne (5 Zahlen rückwärts); Rückwärtszählaufgabe (in 7er Schritten); Erinnern nach Distraction	↓ Gehgeschwindigkeit, in a-MCI im Vergleich zu HOA ↓ kognitive Leistung, in aMCI im Vergleich zu HOA	JA
Montero-Odasso et al. (2014)	a-MCI: $n=42$ na-MCI: $n=22$ HOA: $n=35$	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit	Rückwärtszählaufgabe (beginnend bei 100 in 1er Schritten); Wortflüssigkeitsaufgaben	↑ Schreitzzeitvariabilität, ↓ Gehgeschwindigkeit, in a-MCI im Vergleich zu HOA und na-MCI	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)

Autoren (Jahr)	Stichprobe	Motorische Aufgabe	Kognitive Aufgabe	Leistung unter Doppelaufgabenbedingung	Berechnung von DAK
Doi et al. (2014)	a-MCI: <i>n</i> =191 na-MCI: <i>n</i> =198 HOA: <i>n</i> =35	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (11m)	Rückwärtszählaufgabe (beginnend bei 100)	↓ Gehgeschwindigkeit, in aMCI und na-MCI im Vergleich zu HOA	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)
Nascimbeni et al. (2015)	MCI: <i>n</i> =13 HOA: <i>n</i> =10	Vorwärts- und Rückwärtsgehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (12m)	Rückwärtszählaufgabe (beginnend bei 378 oder 283 in 1er Schritten); Wortflüssigkeitsaufgabe; Erinnerungsaufgabe	↓ Gehgeschw., ↑ Schritzeit, ↑ Schritzeitvariabilität, ↑ Doppelstützphase, inbeiden Gruppen ↓ kogn. Leistung in der Rückwärtszählaufgabe ↑ kogn Leistung in der Erinnerungsaufgabe, in beiden Gruppen	JA
Tarnanas et al. (2015)	EAD: <i>n</i> =86 Na-MCI: <i>n</i> =65 HOA: <i>n</i> =76	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit (10m)	Rückwärtszählaufgabe (beginnend bei 100 in 1er Schritten); Wortflüssigkeitsaufgabe	↓ Gehgeschw., ↑ Schritzeitvariabilität, in EAD und na-MCI im Vergleich zu HOA	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)
Gillain et al. (2016)	MCI: <i>n</i> =13	Freies Gehen mit selbstgewählter Geschwindigkeit	Rückwärtszählaufgabe (beginnend bei 50)	↓ Gehgeschw., ↑ Schritzeitvariabilität, in Personen mit MCI (die AD entwickeln werden)	JA (Leistung in der kognitiven Aufgabe nicht erhoben)

Anmerkung. *n* = Fallzahl; MCI = leichte kognitive Einschränkung (engl.: mild cognitive impairment); a-MCI = leichte kognitive Einschränkung („amnestischen Störung“; na-MCI = leichte kognitive Einschränkung („nicht-amnestischen Störung“; EAD = Alzheimer Erkrankung in einem frühen Stadium (engl.: early Alzheimer’s Disease); AD = Alzheimer Erkrankung (engl. Alzheimer’s Disease); MAD = leichte Alzheimer Erkrankung (engl.: mild Alzheimer’s Disease); NCI = Personen ohne kognitive Einschränkung (engl.: no cognitive impairment); HOA = gesunde ältere Erwachsene (engl.: healthy older adults); DAK = Doppelaufgabenkosten: Die Pfeilrichtung gibt an, ob eine Verbesserung (↓), eine Verschlechterung (↑) oder keine Veränderung (→) unter Doppelaufgabenbedingung zu beobachten ist.

Bei der Suche nach einem geeigneten Screening Tool zur frühzeitigen Erkennung von MCI gibt es allerdings konträre Sichtweisen über den Mehrwert von Doppelaufgabenparadigmen. Einige Studien berichten diesbezüglich von signifikanten DAK bei Personen mit Demenz (Allali et al., 2007; Manckoundia, Pfitzenmeyer, d’Athis, Dubost, & Mourey, 2006; Pettersson, Olsson, & Wahlund, 2007).

Eindeutige Ergebnisse bei MCI konnten hingegen nicht beobachtet werden (Bahureska et al., 2017). Montero-Odasso et al. (2009a) konnten zeigen, dass mit einer Abnahme der Arbeitsgedächtnisleistung bei Personen mit MCI auch die Gehgeschwindigkeit abnimmt. Allerdings war ein Vergleich mit gesunden Personen nicht möglich, da ausschließlich Personen mit MCI untersucht worden sind. Pettersson et al. (2007) untersuchten den Einfluss einer „Talking While Walking“-Aufgabe auf die Gehleistung bei Personen mit MCI und einer Alzheimer Erkrankung. Personen mit Alzheimer zeigten sowohl in der Einzel- als auch in der Doppelaufgabe signifikant geringere Gehgeschwindigkeiten und eine größere Differenz zwischen Einzel- und Doppelaufgabe als Personen mit und ohne MCI. Signifikante Unterschiede in den Gehgeschwindigkeiten wurden nur zwischen Alzheimerpatienten und Personen ohne MCI beobachtet. Somit konnte – ähnlich zu einer zwei Jahre früher veröffentlichten Studie der Autoren (Pettersson et al., 2005) – ein Mehrwert von Doppelaufgaben zur Früherkennung von MCI nicht bestätigt werden. Die Autoren berichten zudem von einer möglichen Äquivalenz des Einsatzes von Einzel- und Doppelaufgaben bei der Diagnose von Alzheimer. Tseng, Cullum und Zhang (2014) hingegen sehen motorische Einbußen in Doppelaufgaben (Personen mit MCI zeigen reduzierte Gehgeschwindigkeiten) als potentiellen Marker für die Früherkennung von MCI. Die größten Unterschiede wurden bei kognitiven Sekundäraufgaben beobachtet, welche das Arbeits- bzw. das episodische Gedächtnis ansprechen. Ähnliche Ergebnisse berichten auch Montero-Odasso et al. (2014). Demnach zeigen Personen mit MCI insbesondere unter Doppelaufgaben schlechte Gehleistungen. Auch sie sehen motorische Einbußen, insbesondere Abnahmen der Gehgeschwindigkeit, als Anzeichen von MCI und empfehlen den Einsatz von Doppelaufgaben. Nascimbeni et al. (2015) weisen demgegenüber darauf hin, dass die Nutzung eines Doppelaufgabenparadigmas die Früherkennung von MCI nicht verbessert. Sie nutzten drei verschiedene kognitive Aufgaben (Rückwärtszählen, Kurzgeschichte wiederholen und eine verbale Flüssigkeitsaufgabe), um die motorisch-kognitiven Interferenzen in einer Stichprobe von MCI-Patienten und einer Gruppe von gesunden Kontrollpersonen zu untersuchen. Beide Gruppen zeigten unabhängig von der Art der kognitiven Aufgabe Dop-

pelaufgabeninterferenzen und motorische Einbußen bezüglich der Gehleistung. Signifikante Gruppenunterschiede während Doppelaufgaben wurden nicht sichtbar. Ob Doppelaufgaben als potenzielle Früherkennungsverfahren für MCI geeignet sind, kann auf Grundlage der genannten Studienergebnisse nicht abschließend gesagt werden.

3.5 Koexistenz von motorischen und kognitiven Beeinträchtigungen

Kerr, Condon und McDonald (1985) waren die ersten, welche mit der in Kapitel 3.1 beschriebenen Doppelaufgabenmethodologie die Aufmerksamkeitsanforderungen einer Gleichgewichtsaufgabe haben nachweisen können. Das Gleichgewicht wurde in ihrer Studie besonders durch eine visuell-räumliche Arbeitsgedächtnisaufgabe gestört. Einige Jahre später veröffentlichten Lundin-Olsson und Kollegen (1997) ihre wegweisende „Stop Walking While Talking“-Studie. (siehe Abbildung 16; Kapitel 3.2.4). In den darauffolgenden Jahren wurde eine Vielzahl an Studien mit älteren Personen publiziert, welche sich diesem Paradigma bedienten und sich in erster Linie mit Gangveränderungen beschäftigten. Die meisten dieser Studien konnten zeigen, dass die Fortbewegung eines Menschen in dieser Altersgruppe nicht nur durch automatisierte Prozesse gekennzeichnet ist. Vielmehr sind für die posturale Kontrolle und Fortbewegung die kognitive Leistungsfähigkeit, Aufmerksamkeitsressourcen sowie die EF einer Person von Bedeutung (Woollacott & Shumway-Cook, 2002; Yogev-Seligmann et al., 2008; Nutt, Marsden, & Thompson, 1993).

Studien haben gezeigt, dass die Koexistenz von motorischen und kognitiven Beeinträchtigungen insbesondere bei älteren Menschen mit hohem Alter vorherrscht und mit dem Risiko an Demenz zu erkranken assoziiert ist (Montero-Odasso et al., 2016; Verghese, Wang, Lipton, & Holtzer, 2012). Motorische Einschränkungen, speziell die Geschwindigkeit beim Gehen, können häufig um mehr als ein Jahrzehnt vor einer neurodegenerativen Erkrankung (beispielsweise Demenz; Parkinson Erkrankung) beobachtet werden (Maetzler & Hausdorff, 2012; Buracchio, Dodge, Howieson, Wasserman, & Kaye, 2010; Callisaya et al., 2015; Mielke et al., 2012; Dumurgier et al., 2016).

Montero-Odasso et al. (2018) haben einen konzeptionellen Rahmen veröffentlicht um diesen Zusammenhang zu verdeutlichen und die Beziehung zwischen den motorischen und den kognitiven Abnahmen im normalen Altersprozess und bei neurodegenerativen Erkrankungen darzustellen (siehe Abbildung 20).

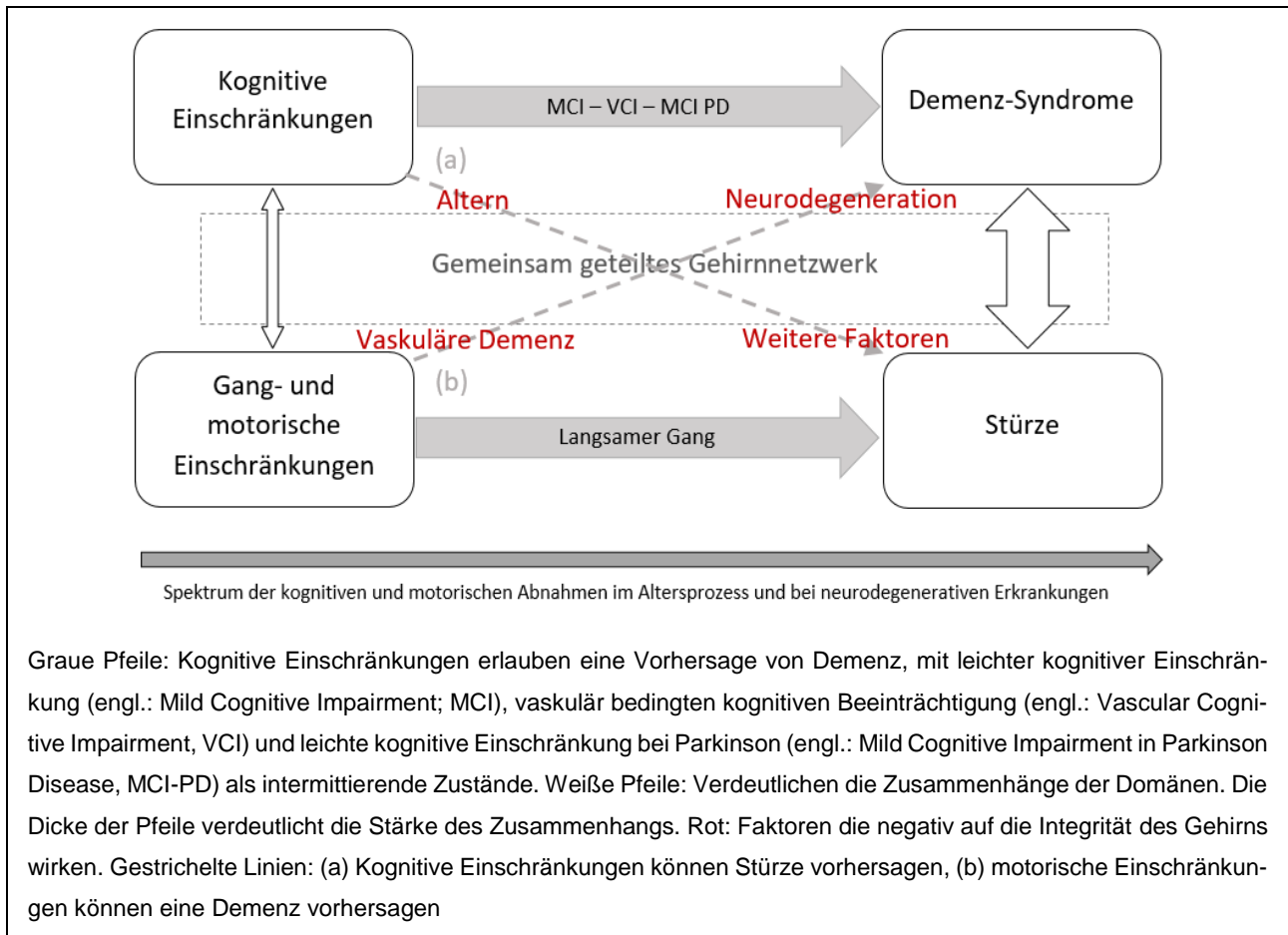


Abb. 20: Konzeptioneller Rahmen für den Zusammenhang zwischen motorischen und kognitiven Abnahmen im Alter und bei neurodegenerativen Erkrankungen (mod nach Montero-Odasso et al., 2018, S.2).

Das Modell verdeutlicht, dass die kognitiven Funktionen und die motorischen Leistungen mit dem Alter abnehmen, was zu Demenz führen kann. Die Forschungsergebnisse deuten außerdem darauf hin, dass die kognitive Leistung nicht ausschließlich eine Demenz vorhersagen kann, sondern auch den Rückgang und die Abnahmen der Mobilität und das Sturzrisiko prognostiziert. Gleichzeitig erlauben Mobilitätseinbußen und eine Verschlechterung des Gangbildes die kognitive Leistung und das Fortschreiten einer Demenz voraussagen. Diese simultanen Rückgänge/Abnahmen

in der motorischen und kognitiven Domäne werden darauf zurückgeführt, dass domänenübergreifende Gehirnnetzwerke geteilt werden. Bei einem Abbau neuronaler Strukturen sind somit beide Bereiche (motorisch und kognitiv) betroffen.

Bei typisch entwickelten Kindern zeigen sich altersbedingte Effekte insbesondere bei jüngeren Kindern (Boonyong et al., 2012; Schott & Klotzbier, 2018). Es kann ein Entwicklungstrend in den Leistungen unter Doppelaufgaben beobachtet werden, der auf eine reduzierte Effizienz des neuronalen Netzwerks – zur parallelen Verarbeitung verschiedener Aufgaben – bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen zurückgeführt werden kann (vgl. Siu et al., 2008). Bei Kindern mit motorischer Einschränkung (DCD) lässt sich ein genereller Trend festhalten, wonach Interferenzen für Kinder mit DCD im Vergleich zu gesunden, typisch entwickelten Kindern größer ausfallen und diese Interferenzen wiederum noch deutlicher ausfallen, wenn die Aufgabenschwierigkeit ansteigt (Chen et al., 2012). Auch wenn die Mechanismen der Fortbewegung und der relative Beitrag der übergeordneten Kontrollprozesse weitestgehend ungeklärt sind, bedienen sich Tsai et al. (2009) der Automatisierungs-Defizit-Hypothese (Fawcett & Nicolson, 1992), als möglichen Erklärungsansatz für die Schwierigkeiten in Bezug auf motorischen Kontrollprozesse bei Kindern mit DCD. Klare Aussagen zu motorisch-kognitiven Interferenzen bei typisch entwickelten Kindern und Kindern mit motorischer oder kognitiver Einschränkung, lassen sich aufgrund der geringen Anzahl an Studien (TD-Kinder: 13 Studien; DCD-Kinder: 4 Studien; DS: keine Studie mit Kindern) und der heterogenen Wahl der kognitiven Zusatzaufgabe (siehe Tabellen 1, 2 und 3). kaum machen. Die Mechanismen der Fortbewegung sind weitestgehend ungeklärt.

4. Forschungsfragen und -annahmen

Ziel dieses Kapitels ist es Forschungsfragen (F) und Forschungsannahme (A) zu formulieren, die sich aus dem aktuellen Stand der Forschung zum Thema Doppelaufgabenperformanz ergeben und mit den empirischen Studien dieser Arbeit untersucht werden.

Die Forschungsannahmen werden möglichst gerichtet formuliert. Aufgrund des explorativen Charakters der Studien ist eine gerichtete Formulierung allerdings nicht durchgehend möglich.

4.1 Kinder mit umschriebener Entwicklungsstörung motorischer Funktionen

F1: Bestehen Unterschiede zwischen Kindern mit DCD und TD Kindern in den Zeiten und den proportionalen motorischen und kognitiven DAK unter aufmerksamkeitsanfordernden Doppelaufgaben?

A1-1: Basierend auf den Schwierigkeiten bei Kindern mit DCD in den verschiedenen Domänen der EF, einschließlich Arbeitsgedächtnis, inhibitorischer Kontrolle und der Aufmerksamkeit (Wilson et al., 2013), wird vermutet, dass Kinder mit DCD im Vergleich zu typisch entwickelten Kindern im TMT-B/TWT-B mit hoher kognitiver Belastung schlechter abschneiden und erhöhte Zeiten aufweisen.

A1-2: Im TMT-A/TWT-A mit reduzierter kognitiver Belastung wird erwartet, dass Kinder mit DCD schlechter abschneiden und erhöhte Zeiten aufweisen, dies allerdings in geringerem Maße als im TMT-B/TWT-B.

A1-3: Basierend auf den negativen Effekten einer kognitiven Sekundäraufgabe für Gleichgewichtsaufgaben bei Kindern mit DCD (Laufer et al., 2008) und dem Fehlen einer funktionellen Intergration einer motorischen und kognitiven Aufgabe bei Kindern mit DCD (Chen et al., 2012), wird erwartet, dass Kinder mit DCD im Vergleich zu typisch entwickelten Kindern im TMT-B/TWT-B mit hoher kognitiver Belastung schlechter abschneiden und erhöhte DAK aufweisen.

A1-4: Im TMT-A/TWT-A mit reduzierter kognitiver Belastung wird erwartet, dass Kinder mit DCD schlechter abschneiden und erhöhte DAK aufweisen, dies allerdings in geringerem Maße als im TMT-B/TWT-B.

4.2 Kinder mit Down Syndrom

F2: Bestehen Unterschiede zwischen Kindern mit DS und TD Kindern mit gleichem chronologischen Alter in den Zeiten und den proportionalen motorischen und kognitiven DAK unter aufmerksamkeitsanfordernden Doppelaufgaben?

A2-1: Aufgrund der Einschränkungen (Grienco et al., 2015) bei Kindern mit DS insbesondere bei komplexen, aufmerksamkeitsanfordernden motorischen und kognitiven Aufgaben, wird erwartet, dass Kinder mit DS im Vergleich zu typisch entwickelten Kindern und gleichem chronologischen Alter (TD-CA) im TMT-B/TWT-B mit hoher kognitiver Belastung schlechter abschneiden und erhöhte Zeiten aufweisen.

A2-2: Im TMT-A/TWT-A mit reduzierter kognitiver Belastung wird erwartet, dass Kinder mit DS schlechter abschneiden als TD-CA Kinder und erhöhte Zeiten aufweisen, dies allerdings in geringerem Maße als im TMT-B/TWT-B.

A2-3: Basierend auf den Effekten einer hohen kognitiven Zusatzbelastung bei jungen Erwachsenen mit DS (Hocking et al., 2014), wird erwartet, dass Kindern mit DS im Vergleich zu typisch entwickelten Kindern im TMT-B/TWT-B mit hoher kognitiver Belastung schlechter abschneiden und erhöhte DAK aufweisen.

A2-4: Im TMT-A/TWT-A mit reduzierter kognitiver Belastung wird erwartet, dass Kinder mit DS schlechter abschneiden und erhöhte DAK aufweisen, dies allerdings in geringerem Maße als im TMT-B/TWT-B.

F3: Bestehen Unterschiede zwischen Kindern mit DS und TD Kindern mit gleichem mentalen Alter in den Zeiten und den proportionalen motorischen und kognitiven DAK unter aufmerksamkeitsanfordernden Doppelaufgaben?

A3-1: Da dieselbe sequentielle Abfolge in der psychomotorischen Entwicklung bei Kindern mit und ohne DS beobachtet werden kann (Jobling & Mon-Williams, 2000; Haywood & Getchell, 2014), wird vermutet, dass keine Unterschiede zwischen Kindern mit DS und typisch entwickelten Kindern mit gleichem mentalen Alter (TD-MA) in den Zeiten unter Doppelaufgaben bestehen.

A3-2: Darüber hinaus wird die Vermutung aufgestellt, dass sich Kindern mit DS und Kindern mit demselben mentalen Alter (TD-MA) – der Entwicklungsverzögerungshypothese zufolge (Zigler, 1969) – auch in den proportionalen DAK nicht unterscheiden.

4.3 Ältere Erwachsene mit Parkinson

F4: Bestehen Unterschiede zwischen PD-Patienten mit dem Motorsubtyp PIGD und dem TD Phänotyp (Tremor Dominant) und der Kontrollgruppe in den Zeiten und den proportionalen motorischen und kognitiven DAK unter aufmerksamkeitsanfordernden Doppelaufgaben?

A4-1: Basierend auf den Schwierigkeiten von PD-Patienten (insbesondere PIGD) bei der Automatisierung von Fortbewegungsaufgaben und Schwierigkeiten in verschiedenen Domänen der EF (kognitive Flexibilität; Belghali et al., 2017) wird erwartet, dass PIGD-Patienten im TWT mit hoher kognitiver Belastung (TWT-B) im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen schlechter abschneiden und erhöhte Zeiten aufweisen.

A4-2: Im TMT-A/TWT-A mit reduzierter kognitiver Belastung wird erwartet, dass PD-PIGD schlechter abschneiden als die Kontrollgruppe sowie die Gruppe mit dominantem Tremor (PD-TD) und erhöhte Zeiten aufweisen, dies allerdings in geringerem Maße als im TMT-B/TWT-B.

A4-3: Es werden höhere proportionale DAK im Motorsubtyp PIGD (Postural Instability and Gait Difficulty) im Vergleich zum TD Phänotyp (Tremor Dominant) und gleichaltrigen gesunden Erwachsenen (Kontrollgruppe) im TMT-B/TWT-B mit hoher kognitiver Belastung angenommen.

A4-4: Im TMT-A/TWT-A mit reduzierter kognitiver Belastung wird erwartet, dass PD-PIGD im Vergleich zu PD-TD und der Kontrollgruppe schlechter abschneiden und erhöhte DAK aufweisen, dies allerdings in geringerem Maße als im TMT-B/TWT-B.

F5: Welche Strategien der Ressourcenallokation haben PD-Patienten mit dem Motorsubtypen PIGD?

A5-1: Bezüglich der Priorisierungsstrategien wird angenommen, dass PIGD-Patienten, ohne explizite Instruktion zur Priorisierung, eine „Posture Second“-Strategie zeigen und die motorische Aufgabe vernachlässigen (Bloem et al., 2006).

F6: Ist mithilfe des TWT eine Differenzierung in die Motorsubtypen (PIGD vs. TD) und eine Quantifizierung der Gangstörungen möglich?

A6-1: Der TWT mit hoher kognitiver Zusatzbelastung erlaubt eine Differenzierung der Gruppen mit guter diagnostischer Güte.

4.4 Ältere Erwachsene mit leichter kognitiver Einschränkung

F7: Bestehen Unterschiede zwischen jungen Erwachsenen, älteren Erwachsenen ohne pMCI und älteren Erwachsenen mit pMCI in den Zeiten und den proportionalen motorischen und kognitiven DAK unter aufmerksamkeitsanfordernden Doppelaufgaben?

A7-1: Basierend auf den Defiziten älterer Personen mit MCI in den verschiedenen kognitiven Bereichen, einschließlich Arbeitsgedächtnis, inhibitorischer Kontrolle, kognitiver Flexibilität und Aufmerksamkeit (Janoutová et al., 2015), wird angenommen, dass ältere Personen mit pMCI im TWT-B mit hoher kognitiver Belastung schlechter abschneiden und erhöhte Zeiten aufweisen.

A7-2: Im TMT-A/TWT-A mit reduzierter kognitiver Belastung wird erwartet, dass ältere Erwachsene mit pMCI im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen

schlechter abschneiden und erhöhte Zeiten aufweisen, dies allerdings in geringerem Maße als im TMT-B/TWT-B.

A7-3: Es wird erwartet, dass insbesondere bei komplexen, aufmerksamkeitsanfordernden motorischen und kognitiven Aufgaben, Personen mit pMCI im Vergleich zu jüngeren Erwachsenen und einer altersgleichen Kontrollgruppe ohne MCI im TMT-B/TWT-B mit hoher kognitiver Belastung schlechter abschneiden und erhöhte DAK aufweisen.

A7-4: Auch im TMT-A/TWT-A mit reduzierter kognitiver Belastung wird erwartet, dass ältere Erwachsene mit pMCI im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen schlechter abschneiden und erhöhte DAK aufweisen, dies allerdings in geringerem Maße.

F8: Ist mithilfe des TWT eine Differenzierung zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI möglich und ist der TWT als potenzielles Früherkennungsverfahren für MCI geeignet?

A8-1: Der TWT mit hoher kognitiver Zusatzbelastung erlaubt eine Differenzierung der Gruppen mit guter diagnostischer Güte.

5 Methoden

5.1 Methodische Herausforderungen

Alle Studien im Forschungsfeld der motorisch-kognitiven Doppelaufgaben sind mit denselben Problemen konfrontiert. Insbesondere die Heterogenität der verschiedenen Studienprotokolle, die Ein- und Ausschlusskriterien der Versuchsteilnehmer (z.B. demografische Merkmale, Grad der körperlichen Aktivität, motorische und kognitive Fähigkeiten) sowie die Wahl der Methoden (insbesondere die Wahl der kognitiven Aufgaben) müssen theoretisch begründet sein.

Im Folgenden sollen einige methodische Überlegungen, welche bei Untersuchungen mit dem Doppelaufgabenparadigma und in Abhängigkeit der Fragestellung berücksichtigt werden müssen, diskutiert werden (vgl. Bayot et al., 2018). Diesbezüglich erstellten bereits Saxena, Cinar, Majnemer und Gagnon (2017) in ihrem Scoping Review eine kurze Checkliste methodischer Vorgehensweisen für Untersuchungen mit dem Doppelaufgabenparadigma. Im Rahmen dieser Arbeit werden einige dieser Empfehlungen herausgegriffen und detaillierter ausgearbeitet. In erster Linie geht es hierbei um die Wahl der kognitiven Zusatzaufgabe (Kapitel 5.1.2), die Instruktionen und die damit verbundene Gewichtung der Priorität (Kapitel 5.1.3), die Berechnung von DAK sowie die verschiedenen Muster motorisch-kognitiver Interferenzen (Kapitel 5.1.4 & 5.1.5) und um die Bedingungen der motorischen Fortbewegungsaufgabe (Kapitel 5.1.6) (vgl. Bayot et al., 2018 für weitere Faktoren, die die Interferenzeffekte beeinflussen).

5.1.2 Klassifikation der kognitiven Zusatzaufgabe

Bezogen auf die Wahl der kognitiven Zusatzaufgabe versuchen McIsaac, Lamberg und Muratori (2015) ein einheitliches Klassifikationssystem von Aufgaben zu erstellen. Ziel ist es, eine Taxonomie als Handreichung, nachdem die bestehenden evidenzbasierten Untersuchungen zu Interferenzen bei Doppelaufgaben in einem übergeordneten Rahmen diskutiert werden können. Dies soll summarische Aussage er-

lauben und zu Klarheit sowie einem besseren Verständnis des Untersuchungsbereiches führen. Nach diesem konzeptualisierten Klassifikationsschema handelt es sich beim „Tragen einer Tasse während dem Gehen“ oder beim „Telefonieren mit einem Handy während dem Gehen“ nicht um eine Doppelaufgabe. Als entscheidendes Novum ihres Klassifikationssystems schlagen die Autoren vor, eine Doppelaufgabe als zwei Aufgaben mit distinkter Zielstellung zu definieren. Zentraler Aspekt ist, dass deren Leistungen unabhängig voneinander sind und getrennt bewertet werden können. Nach diesem Klassifikationssystem handelt es sich bei den gerade genannten Handlungen (Tragen einer Tasse während dem Gehen und Telefonieren mit einem Handy während dem Gehen) eher um eine komplexe Einzelaufgabe als um eine Doppelaufgabe. Dies deshalb, weil laut den Autoren die Leistung der Aufgabe „Tasse tragen“ nicht unabhängig von der Aufgabe „Gehen“ zu bewerten ist. Diese Einzelaufgaben können wiederum in einem zweidimensionalen Klassifikationssystem mit den Dimensionen „Neuheit“ (individuelle Erfahrung mit der Aufgabe) und „Aufgabenkomplexität“ (Aufmerksamkeitsanforderungen sowie Anzahl der Komponenten und Freiheitsgrade), mit den dichotomen Polen „Hoch“ und „Niedrig“, zugeordnet werden. Solch eine Taxonomie liefert die Möglichkeit zur Beurteilung der Ergebnisse bestehender Untersuchungen zu Doppelaufgaben. Bezüglich der Schwierigkeit und Komplexität der Zweitaufgabe kann diese allerdings – in Abhängigkeit der zu untersuchenden Person – einen unterschiedlich hohen Aufwand an Aufmerksamkeit verursachen. Aufgaben welche mathematische Fähigkeiten fordern, verursachen beispielsweise nur sehr wenig mentale Anstrengung, falls die Person darin sehr geübt ist. Um diesen individuellen Unterschieden entgegenzutreten, kann die Leistung in der Doppelaufgabe an der Einzelaufgabe relativiert werden (siehe Kapitel 5.1.4). Auch sollte die kognitive Belastung der Zweitaufgabe im Verlauf der Untersuchung konstant gehalten werden. Das Benennen von Worten mit einem bestimmten Anfangsbuchstaben („verbale Flüssigkeit“) kann anfänglich sehr einfach sein, wird im Verlauf jedoch deutlich schwieriger (Yogev-Seligmann et al., 2008). Das ist insbesondere dann wichtig, wenn es beispielsweise um die Beständigkeit des Gangbildes über die Zeit geht. Kontinuierliche Sekundäraufgaben haben den Vorteil, die Anforderungen während der Doppelaufgabe relativ konstant zu halten (Heuer & Wing, 1984). Klare Aussagen

zu Anforderungen in spezifischen Phasen der Primäraufgabe lassen sich damit jedoch ebenfalls nicht machen. Wenn es also um die genaue Lokalisierung der Aufmerksamkeitsanforderungen innerhalb der Primäraufgabe geht, dann sind diskrete Sekundäraufgaben zu bevorzugen (Posner & Keele, 1969). Insgesamt wird eine Reihe von kognitiven Zweitaufgaben herangezogen, die teilweise unterschiedliche kognitive Funktionen beanspruchen und nur schwer zu vergleichen sind. Um diesem Problem entgegenzutreten haben Al-Yahya et al. (2011) eine Aufgabenklassifizierung veröffentlicht, die nach dem kognitiven Prozess der Aufgaben kategorisiert (siehe Tabelle 7).

Tab. 7: Aufgabenklassifizierung der kognitiven Zusatzaufgaben (mod. nach Al-Yahya et al., 2011; siehe auch Bayot et al., 2018).

Kategorie	Definition	kognitiver Prozess	Beispiele von Aufgaben
Reaktionszeitaufgaben	Zeitspanne zwischen der Wahrnehmung eines Reizes und der Reaktion darauf	Verarbeitungsgeschwindigkeit; Vigilanz (Reaktionsbereitschaft); Daueraufmerksamkeit	Einfache Reaktionszeitaufgabe per Knopfdruck
Diskriminierungs- und Entscheidungsaufgaben	Aufgaben, die die Auswahl eines bestimmten Stimulus (oder Merkmals) und die Erzeugung einer spezifischen Antwort auf den Stimulus erfordern.	Selektive Aufmerksamkeit und Inhibitionsfähigkeit (Reaktion unterdrücken)	Stroop-Paradigmen (z.B. "Clock Task" oder andere visuelle oder auditive Wahlreaktionszeitaufgaben)
Mentale Tracking - Aufgaben; Arbeitsgedächtnisaufgaben	Aufgaben, bei denen Informationen berücksichtigt werden, die möglicherweise in einem mentalen Prozess manipuliert werden müssen	Daueraufmerksamkeit, Informationsverarbeitung und Arbeitsgedächtnisprozesse mit seinen vier Komponenten gemäß dem Modell von Baddeley (1992): <ul style="list-style-type: none"> • die zentrale Exekutive (CE) • die Phonologische Schleife (PL) • das räumlich-visuelle Notizblock (VSS) • der episodische Puffer (EB) 	Serielle Subtraktion (PL + CE); Rückwärtszählen (PL + CE); Rückwärtsbuchstabieren (PL + CE); Rechenaufgaben (PL/VSS + CE); Monate rückwärts rezitieren (PL + CE); Zahlen wiederholen (PL); bestimmte Worte eines Satzes zählen (EB+CE); Einkaufsliste erinnern (PL/VSS);

Kategorie	Definition	kognitiver Prozess	Beispiele von Aufgaben
Wortflüssigkeitsaufgaben	Aufgaben, bei denen Wörter spontan oder unter vorgegebenen Suchbedingungen erzeugt werden müssen	Exekutive Funktionen und semantisches Gedächtnis	Worte mit einem bestimmten Buchstaben aufsagen; einfaches Zählen

Anmerkung. CE = central executive (dt.: zentrale Exekutive); PL = phonologic loop (dt.: phonologische Schleife); VSS = visual-spatial sketchpad (dt.: visuell-räumlicher Notizblock); EB = episodic buffer (dt.: episodischer Puffer).

5.1.3 Einfluss von Instruktionen auf die Priorisierungsstrategie

Ein weiterer Punkt dieser Vorüberlegungen ist die Art und Weise, wie die Versuchspersonen instruiert werden sollen. Wenn es um die Aufmerksamkeitsanforderungen der Primäraufgabe geht, muss die Priorität der Aufmerksamkeit bei dieser Aufgabe liegen. Wenn es jedoch um die Frage der Fähigkeiten zum Aufmerksamkeitswechsel oder um Strategien der Ressourcenzuteilungen einer Versuchsperson geht, sollte die Priorität gleichermaßen auf beide Aufgaben verteilt werden. Durch die Charakteristik der Instruktion kann die Priorität der Versuchspersonen zu den Aufgaben somit gezielt zugewiesen werden. Um nun aber Aussagen darüber zu machen, ob sich die Versuchspersonen an die vorgegebenen Instruktionen halten, ist auch hier ein Vergleich zwischen Einzel- und Doppelaufgabe notwendig. Ein solcher Vergleich liefert demzufolge einen Indikator dafür, welche Aufgabe priorisiert wird oder wie sehr versucht wird beide Aufgaben gleichzeitig durchzuführen. Yogeve-Seligmann et al. (2010) konnten diesbezüglich zeigen, dass ältere Erwachsene Schwierigkeiten haben einer expliziten Instruktion mit Fokus auf die kognitive Aufgabe zu folgen. Die Autoren vermuten eine reduzierte Fähigkeit der flexiblen Anpassung begrenzter Ressourcen bei älteren Erwachsenen.

5.1.4 Berechnung proportionaler Doppelaufgabenkosten

Die Ergebnisse von Doppelaufgabenstudien sind somit nur dann ausreichend interpretierbar, wenn diese in der Primär- und Sekundäraufgabe einzeln und als Doppelaufgabe vorliegen.

Bei der Berechnung der DAK wird die Leistung in jeder Aufgabe unter der Doppelaufgabenbedingung zu der jeweiligen Leistung unter Einfachaufgabenbedingung in Beziehung gesetzt (Doumas, Smolders, & Krampe, 2008; Schott, 2015). Diese proportionalen DAK werden als prozentuale Leistungsabnahme im Vergleich zur Leistung in der Einzelaufgabe gemäß der Formel:

$$\text{DAK} = \frac{\text{Leistung in Doppelaufgabe} - \text{Leistung in Einzelaufgabe}}{\text{Leistung in Einzelaufgabe}} * 100 \quad (1)$$

ausgedrückt. Höhere Werte bedeuten einen höheren Leistungsabfall in der Doppelaufgabenbedingung im Vergleich zur Einfachaufgabenbedingung. Ferner ist davon auszugehen, dass die Aufgabe mit dem höheren Prozentbetrag während der simultanen Aufgabenbearbeitung vernachlässigt wurde (Schott, 2015). Dabei spielt es keine Rolle, ob im Zähler die Leistung der Doppelaufgabe von der Leistung in der Einzelaufgabe angezogen wird oder andersherum. Damit jedoch positive DAK als Leistungsverbesserung und negative DAK als Leistungsabnahme interpretiert werden können, wird bei der Berechnung der motorischen DAK (z.B. bei der Gehgeschwindigkeit) die Leistung in der Einzelaufgabe von der Leistung in der Doppelaufgabe abgezogen (2). Bei der Berechnung der kognitiven DAK dagegen (z.B. bei den Reaktionszeiten) wird im Zähler zunächst die Leistung in der Doppelaufgabe von der Leistung in der Einzelaufgabe abgezogen (3). Es sei nochmals ausdrücklich betont, dass dies abhängig ist von der zu untersuchenden Variablen. Alternativ können Variablen bei denen höhere Werte für schlechtere Leistungen stehen (z.B. Reaktionszeiten oder Gehgeschwindigkeiten) durch das Einfügen eines negativen Vorzeichens berechnet werden (4).

$$\text{motorische DAK} = \frac{\text{Leistung in Doppelaufgabe} - \text{Leistung in Einzelaufgabe}}{\text{Leistung in Einzelaufgabe}} * 100 \quad (2)$$

$$\text{kognitive DAK} = \frac{\text{Leistung in Einzelaufgabe} - \text{Leistung in Doppelaufgabe}}{\text{Leistung in Einzelaufgabe}} * 100 \quad (3)$$

(Doumas et al. 2008)

$$\text{DAK} = \frac{-(\text{Leistung in Doppelaufgabe} - \text{Leistung in Einzelaufgabe})}{\text{Leistung in Einzelaufgabe}} * 100 \quad (4)$$

(Kelly, Janke, & Shumway-Cook, 2010).

5.1.5 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen

Um detaillierte Muster motorisch-kognitiver Interferenzen zu erhalten und Veränderungen dieser Muster visualisieren zu können, stellen Plummer und Eskes (2015) die motorischen und kognitiven DAK grafisch gegenüber (siehe Abbildung 21).

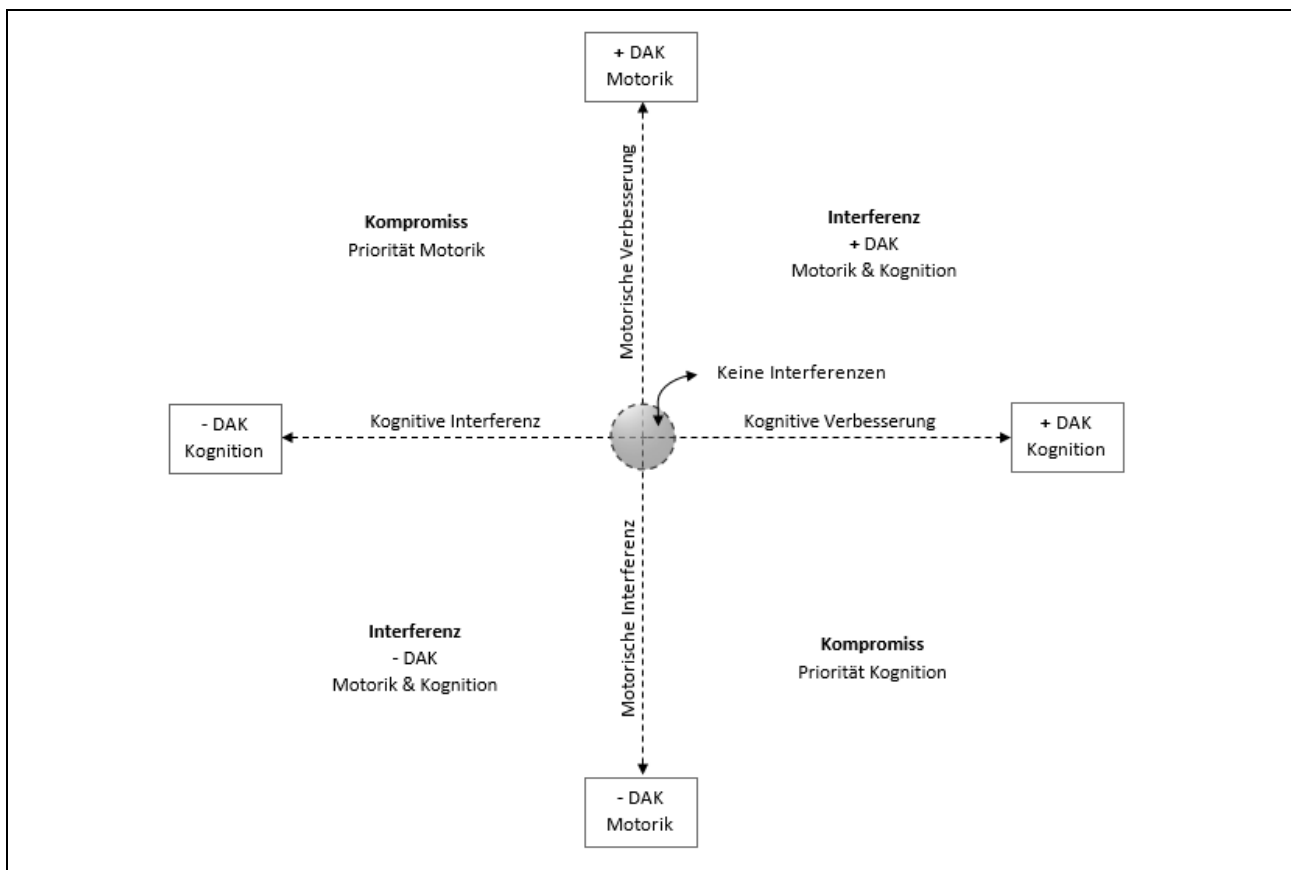


Abb. 21: Klassifizierung und grafische Darstellung verschiedener Muster motorisch-kognitiver Interferenzen (mod. nach Plummer & Eskes, 2015, S.4).

Dies ermöglicht laut den Autoren eine bessere Einschätzung von Veränderungen über die Zeit. Ein Beispiel sind spezifische Interventionen wie Rehabilitationsprogramme bei Schlaganfallpatienten zur Verbesserung des Gehens (Plummer, Villalobos, Vayda, Moser, & Johnson, 2014). Veränderungen in den Mustern motorisch-

kognitiver Interferenzen könnten dadurch zustande kommen, dass die Zuteilung der Aufmerksamkeit sich verändert. Wenn ein Interventionsprogramm also darauf ausgerichtet ist, die motorischen Leistungseinbußen während Doppelaufgaben zu reduzieren, ist das Programm demnach nur erfolgreich, wenn sich die kognitiven Leistungseinbußen während der Doppelaufgabe nicht erhöhen. Andernfalls kann dies als eine veränderte Ressourcenzuteilung interpretiert werden und nicht als Verbesserung der motorischen Leistung. Doppelaufgaben können zu Leistungseinbußen in einer der beiden Aufgaben führen (motorische oder kognitive DAK). Auch ist denkbar, dass Doppelaufgaben zu einer Leistungsverbesserung in einer oder beiden Aufgaben führen. Allgemein wird deshalb von Doppelaufgabeneffekten (engl.: Dual Task Effects, DTE) gesprochen, um implizit die verschiedenen Muster motorisch-kognitiver Interferenzen in Betracht zu ziehen. Plummer et al. (2013) beschreiben hierzu neun potenzielle Muster (siehe Tabelle 8).

Tab. 8: Neun potenzielle Muster motorisch-kognitiver Interferenzen (mod. nach Plummer et al., 2013; vgl. Schott, 2017, S. 35).

		kognitive Leistungsfähigkeit		
		keine Veränderung	Verbesserung	Verschlechterung
Motorische Leistungsfähigkeit	keine Veränderung	keine Doppelaufgabeninterferenz	Förderung der kognitiven Leistung	motorisch-bedingte kognitive Interferenz
	Verbesserung	Förderung der motorischen Leistung	wechselseitige Förderung	motorische Aufgabepriorisierung
	Verschlechterung	kognitiv-bedingte motor. Interferenzen	kognitive Aufgabepriorisierung	wechselseitige Interferenz

Anmerkung. Die gewählte Schattierung hinter dem Text kann als Ampelsystem verstanden werden. Leistungseinbußen in beiden Domänen (wechselseitige Interferenzen) werden als kritisch gesehen (rot). Eine Verbesserung in beiden Domänen (wechselseitige Förderung) wird dagegen als hilfreich betrachtet (grün).

5.1.6 Wahl der Fortbewegungsaufgabe

Neben den bereits genannten Vorüberlegungen (Wahl der Sekundäraufgaben, Instruktionen und Berechnung von DAK) ist festzuhalten, dass die Fortbewegung unter verschiedenen Bedingungen oder mit unterschiedlichen Schwierigkeitsstufen kaum

untersucht wurde (Beurskens & Bock, 2013a; Simoni et al., 2013). Die Bewältigung von Alltagsaufgaben verlangt jedoch nicht nur das Gehen auf geraden Strecken. Vielmehr muss Hindernissen und Menschen ausgewichen sowie durch Straßen navigiert werden (Schott, 2015). Gerade die genaue Platzierung der Füße, insbesondere bei schwierigen Umgebungsbedingungen, zur Vermeidung von Stolpern und Ausrutschen ist essentiell (Alexander, Ashton-Miller, Giordani, Guire, & Schultz, 2005), wird in erster Linie visuell gesteuert und erfordert ein gewisses Maß an aufmerksamer Kontrolle (Menant et al. 2014; Peper et al., 2012).

Die in klinischen Studien häufig eingesetzten Doppelaufgaben auf dem Laufband oder beim Geradeausgehen scheinen in ihrem Anspruch an die motorische Kontrolle aufgrund der konstanten Gehgeschwindigkeiten und der nicht zu erwartenden Störungen zu einfach zu sein, um deutliche DAK zu produzieren (Simoni et al., 2013). Im Vergleich zum Geradeausgehen werden beim Kurvengehen unterschiedliche kognitive Funktionen angesprochen. Während das Geradeausgehen durch einfache Informationsverarbeitungsprozesse gelöst werden kann, erklärt die kognitive Flexibilität und die Fähigkeit zum Aufgabenwechsel die Geschwindigkeit beim Kurvengehen (Lowry, Brach, Nebes, Studenski, & VanSwearingen, 2012) sowie beim Gehen mit Richtungswechsel (Mazaheri et al., 2014; vgl. Schott, 2015).

Auf neuronaler Ebene zeigt sich der genannte Zusammenhang zwischen dem Konstrukt der kognitiven Flexibilität und der Fortbewegung unter anderem darin, dass der präfrontale Kortex sowohl bei der Bearbeitung des TMT als auch bei Fortbewegungsaufgaben aktiv ist (La Fougere et al., 2010; Lee et al., 2014). Die MRT Ergebnisse dieser Studien deuten auf die gemeinsame Nutzung dieser Areale hin. Darüber hinaus gibt es Befunde, welche überlappende neuronale Netzwerke für die posturale Kontrolle und visuell-räumliche Aufgaben belegen (Barra et al., 2006; Sturnieks et al., 2008) und zeigen, dass visuell anspruchsvolle Aufgaben bzw. mentale Trackingaufgaben besonders sensitiv für die Produktion von DAK sind (Beurskens & Bock, 2012b; Al-Yahya et al., 2011).

5.1.7 Entwicklung einer mobilen Variante des TMT

Nicht zuletzt auf Grundlage dieser Befunde wählen in jüngster Zeit einige Labore den Weg, ein standardisiertes neuropsychologisches Verfahren zu nutzen und dieses in eine mobile Version, mit mehr oder weniger visuell-räumlicher Zusatzbelastung, umzuwandeln (Stroop-Stepping Test: Schoene et al., 2013; Walking-Stroop Carpet: Perrochon, Kemoun, Watelain, & Berthoz, 2013; Trail-Walking Test: Yamada & Ichihashi, 2010; Walking-Trail-Making Test: Alexander et al., 2005; Walking-Corsi Test: Piccardi et al., 2013). Beispielsweise wurde in den vergangenen Jahren auf der Grundlage des TMT-Paradigmas, in der Domäne der Doppelaufgabentätigkeit, ein motorisch-kognitiver Test entwickelt. Mit diesem, als „Trail-Walking Test“ (im weiteren Verlauf mit TWT abgekürzt) bezeichneten Verfahren, wurden die erhobenen Daten in erster Linie als Grundlage für eine Sturzvorhersage herangezogen (Alexander et al., 2005; Yamada & Ichihashi, 2010). Darüber hinaus wird das Verfahren als Erkennungstool für die mit Stürzen oftmals verbundenen leichten kognitiven Beeinträchtigungen (MCI) eingesetzt (Persad, Jones, Ashton-Miller, Alexander & Giordani, 2008; Perrochon & Kemoun, 2014).

“[...] walking impairment could play an important role in the diagnosis of dementia, [...] we can detect, through complex walking tests, older subjects who are likely to deteriorate at a cognitive level.” (Perrochon & Kemoun, 2014, S.117).

In einer Studie aus dem Jahr 2005 untersuchten Alexander und Kollegen unter anderem den Zusammenhang zwischen der Leistung im TMT und einem, eigens von ihnen entwickelten TWT. Die Teilnehmer wurden instruiert, über eine 3,66 Meter lange und 1 Meter breite Linoleum-Matte zu laufen und dabei in die, je nach Bedingung (TWT-A; Zahlen in aufsteigender Reihenfolge oder TWT-B; Zahlen und Buchstaben alternierend und in aufsteigender Reihenfolge), vorgegebenen Ziele zu treten. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass die Zeiten bei der Durchführung des TWT mit erhöhter kognitiver (Bedingung A vs. Bedingung B) Anforderung ansteigen. Dies war eine der ersten und wenigen Studien, die einen sturzassoziierten Standardtest (TMT) mit einer motorischen Aufgabe verbindet.

Yamada und Ichihashi (2010) überprüften fünf Jahre später die Nützlichkeit eines,

ebenfalls von ihnen entwickelten, TWTs zur Vorhersage von Stürzen bei älteren Personen. Die Autoren halten den Test von Alexander et al. (2005) als zu leicht und nutzten statt einem länglichen Laufweg eine zweidimensionale und 25m² große Fläche (siehe Abbildung 22).

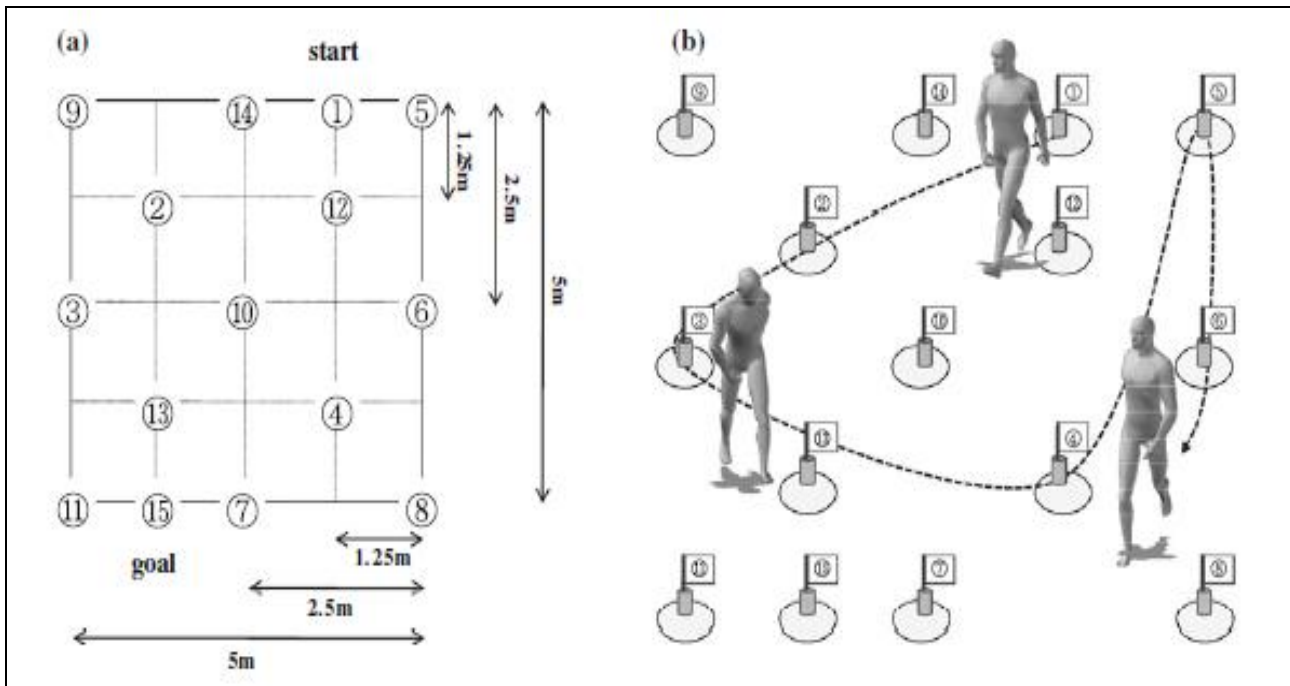


Abb. 22: Schematische Darstellung des Aufbaus des TWT. b. Schematische Darstellung des Laufweges beim TWT (Yamada & Ichihashi, 2010, S.388).

Darüber hinaus setzten die Autoren neben dem TWT zusätzlich weitere kognitive (TMT) und motorische (TUG, Timed „Up and Go“; FR, Functional Reach; OLS, One Leg Standing Test und 10 Meter Gehstest) Tests (Validierung) ein, um zu überprüfen, ob diese das Sturzrisiko und damit zukünftige Stürze besser vorhersagen können. Nach Meinung der Autoren gibt es keinen „Goldenen Standard“, wenn es um die Frage einer möglichen Vorhersage von Stürzen geht. Die Ergebnisse der Studie deuten allerdings darauf hin, dass ausschließlich der TWT eine ausreichend zuverlässige Vorhersage ermöglicht, da insgesamt 77,8% der Stürze korrekt klassifiziert wurden. Perrochon und Kemoun (2014) nutzten einen vergleichbaren TWT wie bereits sechs Jahre zuvor Persad et al. (2008). Dieser TWT setzt sich, wie aus Abbildung 23 ersichtlich, aus drei Teilen zusammen. Bedingung 1 (WTMT-N) besteht aus einer Sequenz aus Zahlen von 1 bis 20. In Bedingung 2 (WTMT-A) kommen zudem Ablenkungen in Form zusätzlicher Zahlen hinzu, was eine aktive Auswahl der Ziele und

die Inhibition irrelevanter Informationen erfordert. In der letzten Bedingung schließlich (WTMT-B) müssen Zahlen und Buchstaben, ebenfalls mit der Präsenz von Ablenkungsreizen, alternierend und in aufsteigender Reihenfolge angelaufen werden (1-A-2...10-J). Die Autoren kamen aufgrund ihrer Ergebnisse zu dem Schluss, dass diese Art des TWT im Gegensatz zu vielen traditionellen neuropsychologischen Testverfahren, als Erkennungstool zur Ermittlung leichter kognitiver Einschränkung zuverlässiger eingesetzt werden kann.

“We can suppose that a complex walking exercise, such as the WTMT, makes it possible to detect subjects who were not diagnosed as MCI by traditional neuropsychological tests, but who, nevertheless, presented common impairments.” (Perrochon & Kemoun, 2014, S. 117)

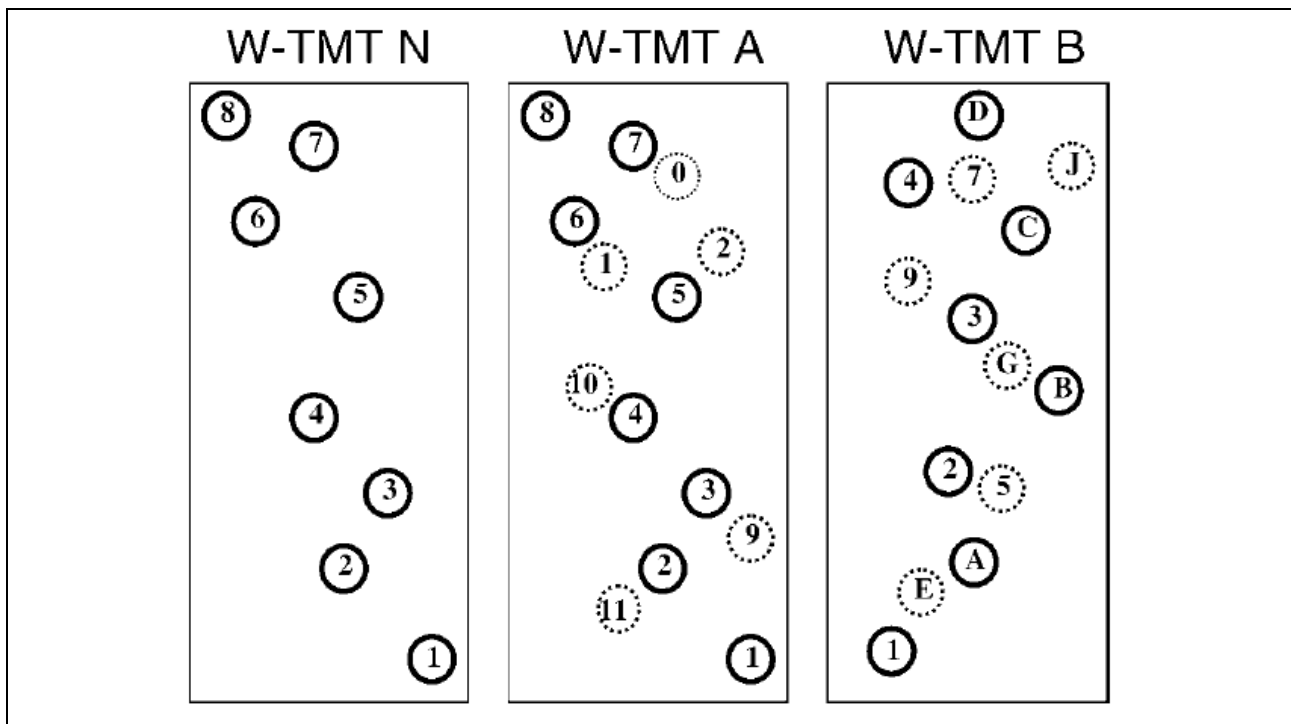


Abb. 23: Beispielhafte Darstellung der Laufwege des TWT (W-TMT N = Lauf TMT-Zahlen; W-TMT A = W-TMT mit Zahlen in aufsteigender Reihenfolge; W-TMT B = W-TMT mit alternierenden Zahlen und Buchstaben in aufsteigender Reihenfolge) (Persad et al., 2008, S.1352).

Die bisher beschriebenen Varianten des TWT (siehe Abbildung 24) unterscheiden sich unter anderem im Hinblick auf die perzeptuelle Aufgabe und der damit verbundenen aktiven Suche der visuellen Umgebung. Aktuell ist belegt, dass sich die Leistung in Aufgaben, die eine aktive Suche der visuellen Umgebung erfordern, im Kindesalter verbessert und mit dem Alter abnimmt (Plude & Doussard-Roosevelt, 1989). Durch die Abnahme der peripheren Sehkraft (Harpur, Scialfa, & Thomas, 1995), der

Fähigkeit die Aufmerksamkeit auf die visuelle Umgebung zu richten (Hartley, Kieley, & Slabach, 1990) und der Fähigkeit Ablenkungsreize zu ignorieren (Rabbitt, 1965), sind die dargestellten Varianten des TWT in ihrem kognitiven Schwierigkeitsgrad zu differenzieren.

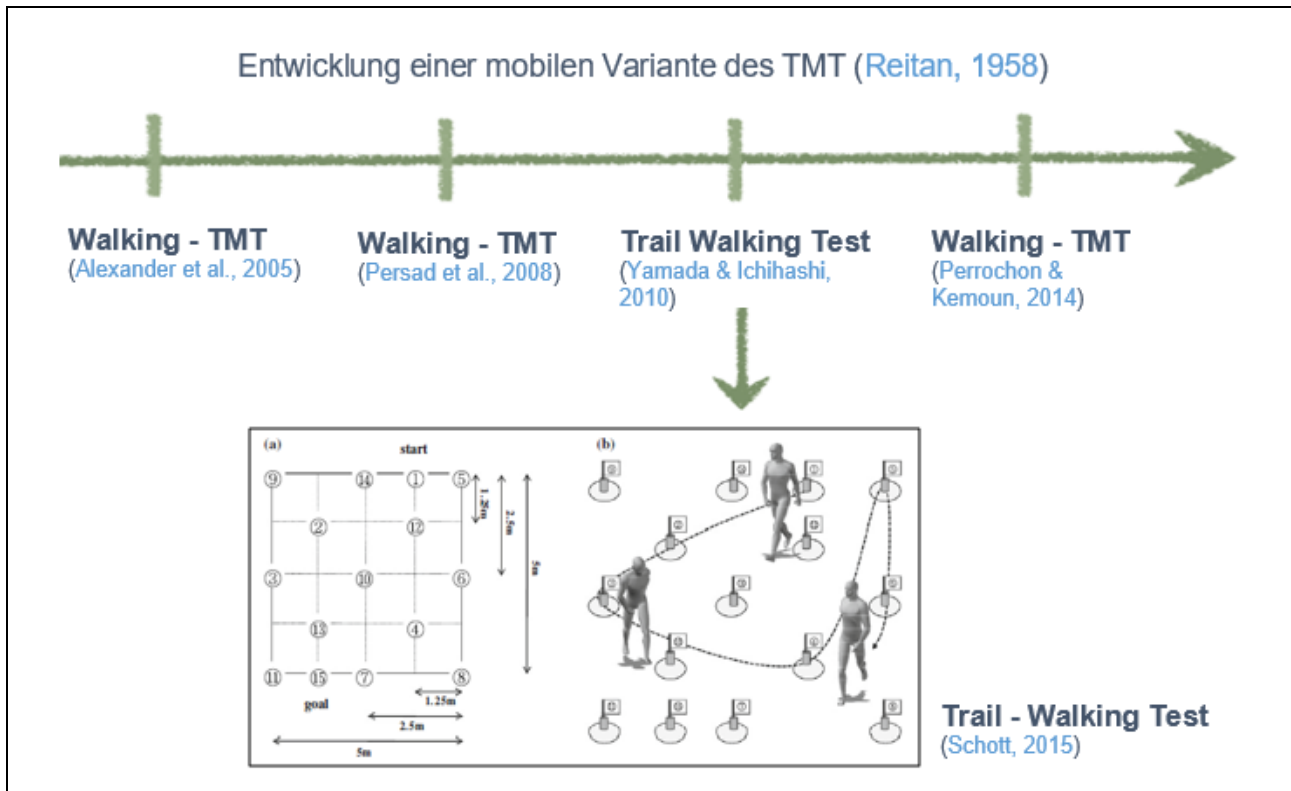


Abb. 24: Weiterentwicklung eines neuropsychologischen Testverfahren (Trail-Making Test; Reitan, 1955, 1958) in eine mobile Variante (Trail-Walking Test; Schott, 2015).

Auch ist der Schwierigkeitsgrad des motorischen Anteils zu unterscheiden (Geradausgehen versus Richtungswechsel; Lowry et al., 2012; Mazaheri et al., 2014; Schott, 2015). Alexander et al. (2005) sowie Perrochon und Kemoun (2014) lassen ihre Probanden nur in eine Richtung geradeausgehen.

Die Lösung der rein motorischen Komponente im Sinne einer Spurverfolgungsaufgabe blieb bei allen genannten Autorengruppen unberücksichtigt, wodurch die Berechnung tatsächlicher motorischer DAK unmöglich ist (Schott, 2015). Schott überprüfte die Weiterentwicklung der psychometrischen Eigenschaften des TWT bei älteren Erwachsenen und konnte zeigen, dass die Methode ein geeignetes, sensitives Verfahren darstellt, um gleichzeitig dynamische posturale Kontrolle, Aufmerksam-

keit, visuelles Scannen, Informationsverarbeitung, kognitive Flexibilität und Arbeitsgedächtnis zu untersuchen. Bestätigt wird die hohe Reliabilität durch hohe *ICC*-Koeffizienten (*ICC* = Intra-Class-Correlation; dt.: Intra-Klassen Korrelation) sowie die konvergente Validität durch moderate bis hohe Zusammenhänge zu weiteren Testverfahren, die die motorische (u.a. TUG; Timed „Up and Go“-Test) und kognitive Leistungsfähigkeit (TMT, BTT; Block-Tapping-Test) überprüfen. Insgesamt hat sich der TWT bei älteren Erwachsenen als gut durchführbares, reliables und valides Instrument zur Unterscheidung zwischen gestürzten und nicht gestürzten Personen erwiesen (Schott, 2015). Die notwendige Kombination von kognitiven und motorischen Funktionen, wie sie im TWT gefordert wird, ist von entscheidender Bedeutung für die Durchführung von Alltagsaktivitäten und kann darüber hinaus helfen die motorischen und kognitiven Zusammenhänge in einer ökologisch validen Aufgabe zu verdeutlichen.

5.2 Untersuchungsmethoden

5.2.1 Trail-Walking Test (Schott, 2015)

Der TWT wird auf einer 4x4 Meter großen Fläche mit auf dem Boden markierten Kreisen (30cm im Durchmesser), welche randomisiert im Feld angeordnet sind, durchgeführt. Auf den markierten Kreisen stehen mittig Hütchen mit Banderolen (30cm Höhe). Auf den Banderolen stehen, in Abhängigkeit der Bedingung, Zahlen und Buchstaben (siehe Abbildung 25). Die Probanden müssen in der rein motorischen Bedingung (TWT-M; Abbildung 26a) einen vorgegebenen Pfad so schnell wie möglich ablaufen ohne dabei zu rennen. Dieser Pfad besteht aus 15 Positionen, welche durch die Kreise auf dem Boden innerhalb des Feldes markiert werden. Hierbei handelt es sich um eine Spurverfolgungsaufgabe, welche die Bewertung der rein motorischen Gehleistung erlaubt und eine Berechnung der motorischen DAK möglich macht. In einer zweiten Bedingung (TWT-A; Abbildung 26b) und analog zu Yamada und Ichihashi (2010) müssen die Teilnehmer Zahlen von 1 bis 15 in aufsteigender Reihenfolge (1-2-3-...-15) und in einer dritten Bedingung (TWT-B; Abbildung

26c) Zahlen von 1 bis 8 und Buchstaben von A bis G alternierend und in aufsteigender Reihenfolge (1-A-2-B-...-8) anlaufen.



Abb. 25: Banderole mit Hütchen aus einer weiteren Studie mit dem Trail-Dribbling Test (links) (Klotzbier & Schott, in prep.) und Aufbau des TWT-B aus der Studie von Klotzbier und Schott (2017).

Die Positionen an denen die Hütchen im Feld platziert wurden, sind in den Laufplänen in Abbildung 26 dargestellt. Die Laufpläne werden genutzt, um die Banderolen zu positionieren und so ausrichten zu können, dass diese von der zuvor angelaufenen Position gut zu erkennen sind. D.h. wenn der Proband beispielsweise bei Hütchen 3 steht und zu 4 laufen muss, sollte die Zahl 4 der Banderole möglichst frontal in Richtung Hütchen mit der Zahl 3 auf der Banderole zeigen.

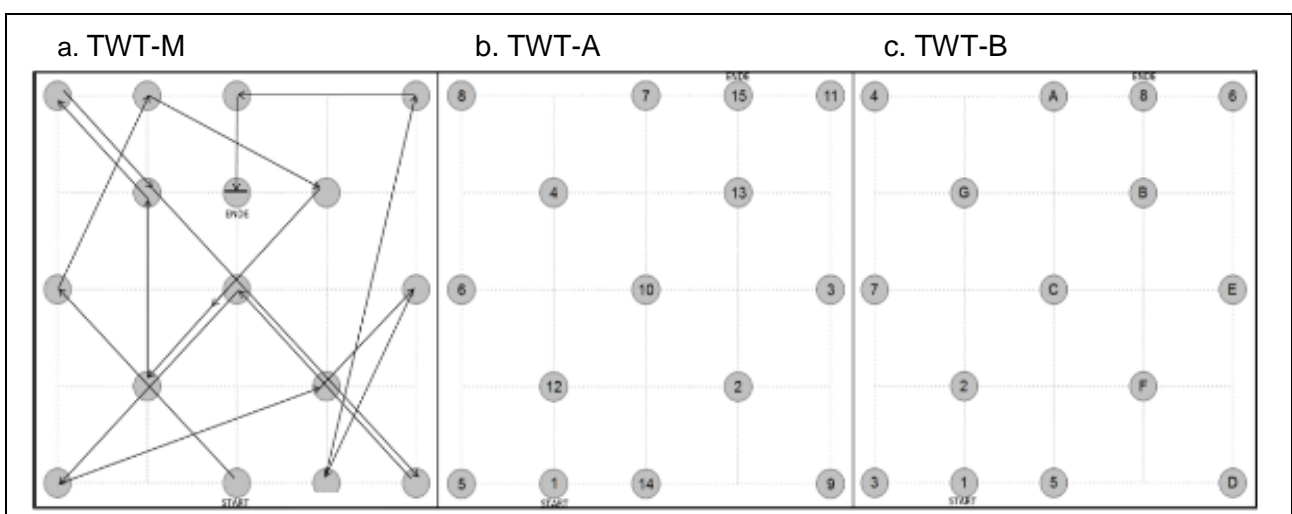


Abb. 26: Laufpläne für die Bedingungen des TWT (a.TWT-M, b.TWT-A und c.TWT-B; Streckenlänge jeweils 41 m; mod. nach Klotzbier & Schott, 2017, S.5).

Darüber hinaus sind die Laufwege in allen drei Bedingungen gleich lang (41 Meter), um auf Grundlage der Zeiten die motorische Leistung unter Einzel- und Doppelaufgabe vergleichen zu können. Die Zeiten wurden mit Hilfe einer Stoppuhr gemessen und auf 0,01 Sekunden angegeben. Auch die Anzahl der Fehler wurde registriert.²⁷ Die spezifischen Instruktionen, angepasst für Kinder und Erwachsene, sind in Anhang D eingefügt.

5.2.2 Trail-Making Test (Reitan, 1955)

Es ist eines der verbreitetsten neuropsychologischen Testverfahren zur Evaluation kognitiver Funktionen und häufig Bestandteil verschiedenster Testbatterien (z.B. Halstead-Reitan Battery, Reitan & Wolfson, 1985; The Consortium to Establish a Registry for Alzheimer's Disease (CERAD), Thalmann et al., 1998; The Montreal Cognitive Assessment (MoCA), Nasreddine et al., 2005). Ursprünglich stammt der Test aus der „Army Individual Test Battery“ (Army, U.S., 1944) und wurde von der US-Armee sowohl als Eignungsverfahren wie auch als Evaluationsinstrument bei Hirnverletzungen unter Soldaten verwendet.

Die Interpretation der Testbefunde ist nicht ganz einfach, da neben der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit sprachliche, exekutive und Aufmerksamkeitskomponenten erfasst werden (Salthouse, 2011). D.h. eine Differenzierung der einzelnen kognitiven Komponenten, welche zur Bearbeitung des Verfahrens erforderlich sind, erscheint schwierig. Verschiedene Komponenten der EF spielen bei der Bearbeitung des TMT eine Rolle. So liefert der TMT Informationen bezüglich der Leistung bei der visuellen Suche, der Informationsverarbeitung, der Feinmotorik, der kognitiven Flexibilität und weiteren EF (Crowe, 1998). Es handelt sich hierbei vermutlich um das am weitest verbreitetste Instrument zur Beurteilung der Fähigkeit zum Aufgabenwechsel (Arbuthnott & Frank, 2000a, 2000b) und Teil B des TMT wird darüber hinaus häufig als „Frontallappentest“ bezeichnet (Demakis, 2004; Reitan & Wolfson, 1995).

²⁷ Wenn der Proband beispielsweise in Bedingung 2 des TWT (Zahlen) an Hütchen 6 stehen geblieben ist wurde folgendermaßen instruiert: „Laufen Sie von der 6 zur 7, dann weiter zur 8“. Übergeht der Proband eine Zahl, wurde ebenfalls darauf hingewiesen: „Stopp! Sie haben die 7 ausgelassen! Gehen Sie zurück zur 6 und laufen sie von dort zur 7“. Die Zeit wurde dabei nicht gestoppt. Der Fehler spiegelt sich somit auch in der benötigten Zeit.

Um eine isolierte Aussage über die kognitive Komponente in beiden Bedingungen (TMT-A und TMT-B; Abbildung 27b, c) machen zu können und den feinmotorischen Anteil herausrechnen zu können, ist eine rein motorische Bedingung erforderlich (TMT-M; Abbildung 27a).

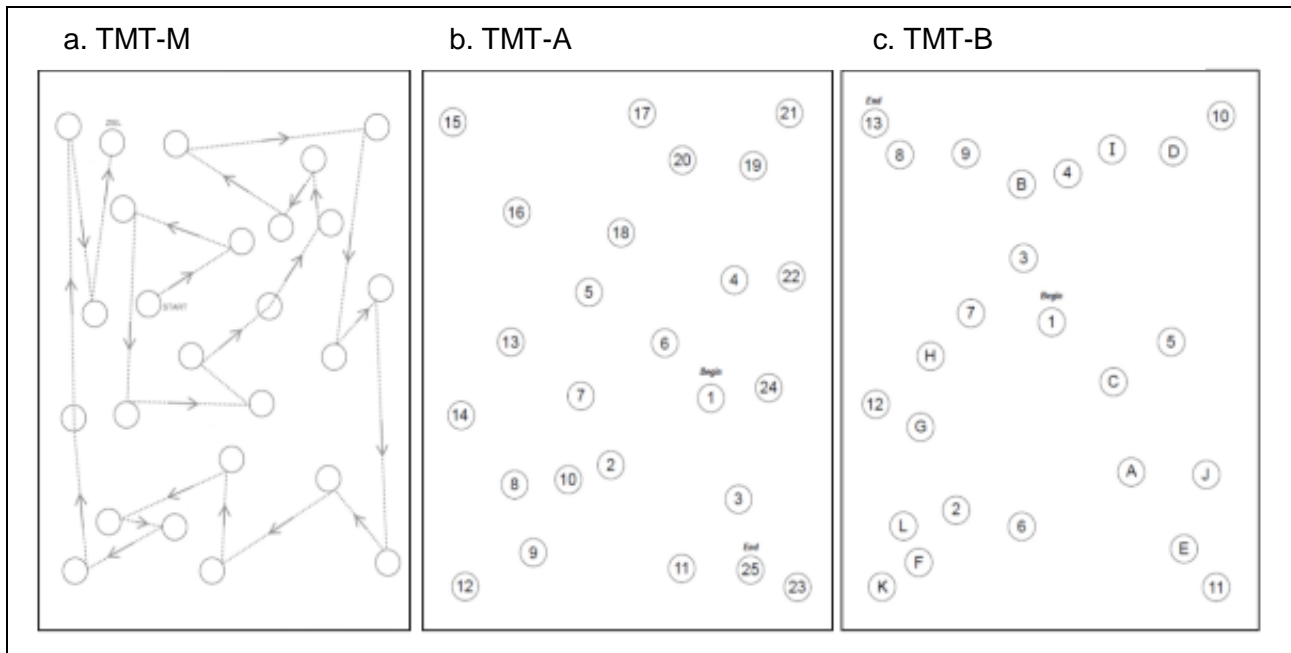


Abb. 27: Bedingungen im Trail-Making Test (a.TMTMotor; b.TMT-A; c.TMT-B). Für jede der drei Bedingungen des TMT wurde vorab ein Testdurchlauf mit 8 Kreisen (hier nicht dargestellt) absolviert (mod. nach Reitan, 1955; Schott, El-Rajab, & Klotzbier, 2016).

Die rein motorische Bedingung im Sinne einer Spurverfolgungsaufgabe macht eine Berechnung von kognitiven DAK möglich. Die Zeiten wurden mit Hilfe einer Stoppuhr gemessen und auf 0,01 Sekunden angegeben. Die spezifischen Instruktionen angepasst für Kinder und Erwachsene sind in Anhang E eingefügt.

5.3 Untersuchungsdurchführung

Die Probanden wurden über Ziele und Inhalte der geplanten Studie sowie über den Testablauf, die Testdauer und möglichen Risiken der Datenerhebung aufgeklärt.

Vor der Durchführung der Datenerhebung wurde eine schriftliche Einverständniserklärung eingeholt.²⁸ Es wurde darauf hingewiesen, dass die Anonymität der Daten

²⁸ Bei Kindern und älteren Teilnehmern mit starker kognitiver Einschränkung wurden die Eltern bzw. ein Vormund bezüglich der Inhalte und Ziele der Datenerhebung informiert und gebeten die Einverständniserklärung zu unterschreiben.

gemäß psychologischer Forschungsethik eingehalten werden, die Daten ausschließlich wissenschaftlichen Zwecken dienen und dass die Veröffentlichung der Ergebnisse in zusammengefasster – also aggregierter Form – erfolgt, sodass die Daten nicht einer einzelnen Person zugeordnet werden können. Es wurde außerdem darauf hingewiesen, dass die Teilnahme an der Studie freiwillig ist und jederzeit ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden kann. Die im Rahmen dieser Untersuchungen eingesetzten Methoden stehen im Einklang mit den in der geltenden Fassung der Erklärung von Helsinki (World Medical Association, 2013) niedergelegten ethischen Grundsätze, den Rechtsvorschriften des Landes und den maßgeblichen internationalen Normen und Standards.

5.3.1 Dauer der Datenerhebung

Die gesamte Testdurchführung nahm, in Abhängigkeit der Stichprobe und Studie, pro Teilnehmer ca. 60-90 min in Anspruch. Je nach Bedürfnissen des Probanden und den Einschränkungen der Testumgebung wurden die Daten über mehrere kürzere Sitzungen im Laufe eines Tages oder an zwei Tagen erhoben. Dies war allerdings nur bei sehr wenigen Teilnehmern nötig. Der Großteil der Probanden konnte innerhalb der geplanten 90 min getestet werden. Die geplante Pausengestaltung von 1-3 min zwischen den Verfahren und Bedingungen musste individuell an die Probanden angepasst werden.

Beispielsweise war die 41m-Gehstrecke im TWT für einige der PD-Patienten ermüdend. Um den Effekt der Ermüdung gering zu halten wurden aus diesem Grund längere Pausen zwischen den Durchgängen eingehalten.

Aufgrund der geringen Aufmerksamkeitsspanne von Kindern mit DS (Feeley & Jones, 2006; Costanzo et al., 2013) wurden die Tests an zwei verschiedenen Tagen durchgeführt. Die verschiedenen Bedingungen des TWT wurden allerdings alle am selben Tag absolviert.

5.3.2 Probandenakquise

Kinder mit DCD wurden größtenteils in der Kinder- und Jugendrehabilitationsklinik, der Alpenklinik Santa Maria in Oberjoch/Bad Hindelang im Oberallgäu akquiriert. Während ihres Rehabilitationsaufenthaltes und zusätzlich zu ihren Therapieeinheiten wurde ein Untersuchungstermin vereinbart. Die Testungen erfolgten nach Absprache mit dem Chefarzt der Alpenklinik Santa Maria, Professor Dr. med. Josef Rosenecker, und der therapeutischen Leitung, Tatjana Edling, in den Räumlichkeiten der Klinik. Typisch entwickelte Kinder stammen entweder aus dem privaten Umfeld der Studienleitung oder wurden aus einer Turnen-, Tanz-, und Akrobatikgruppe des Gymnastik Treff in Stuttgart-Vaihingen ausgewählt. Die Räume des Gymnastik Treff dienten hierbei als Durchführungsort.

Kinder mit DS wurden aus den Regionen Stuttgart und der Ortenau akquiriert. Die Erziehungsberechtigten der DS Kinder meldeten sich aufgrund einer E-Mail freiwillig beim Untersuchungsleiter und stimmten der Teilnahme ihres Kindes an dieser Studie zu. Die Kinder der beiden Kontrollgruppen wurden aus Schulen und Kindergärten in der Ortenau anhand ihres Alters und Geschlechts und mittels dieser Charakteristiken in die entsprechende Kontrollgruppe zugeordnet. Vor der Datenerhebung wurde bereits ein sozialer Kontakt zwischen Testleiter und Kind geknüpft, um zu versuchen ein mögliches Vermeidungsverhalten der Kinder während der Testung auszuschließen (Gilmore, Cuskelly, & Hayes, 2003; Määttä, Kaski, Taanila, Keinänen-Kiukaanniemi, & Iivanainen, 2006).

Die PD-Patienten sowie die älteren Erwachsenen ohne PD wurden aus der Teilnehmer/Patientendatenbank des Sun Life Financial Movement Disorder Research and Rehabilitation Centers (MDRC) der Wilfried Laurier Universität in Waterloo, Kanada rekrutiert. Der Testleiter kontaktierte die potenziellen Teilnehmer schriftlich, per Telefonakquise oder direkter Ansprache, um – vorausgesetzt die Einschlusskriterien wurden erfüllt – zur Teilnahme an der Studie einzuladen. Die Teilnehmer kamen nach Terminvereinbarung in das Reha Zentrum, wo die Daten erhoben wurden. Darüber hinaus musste der Testleiter sich vorab einem verbindlichen forschungsethischen

Prüfverfahren im Tri Council Policy Statement (TCPS) („Ethics Reviews“) unterziehen und unterzeichnete eine forschungsethische Grundsatzerklärung. Erst durch den Erhalt einer ethischen Unbedenklichkeitsbescheinigung („Ethical Approval“) wurde das Forschungsvorhaben genehmigt (REB # 4791 Project, „Motor-cognitive interference in dual tasks: allocation of resources in Parkinson Disease patients“ REB Clearance Issued: February 19, 2016).

Ältere Personen mit und ohne leichte kognitive Einschränkung wurden durch Mundpropaganda und direkter Ansprache in Freizeitvereinen akquiriert. Die Teilnehmer wurden in das Institut für Sport- und Bewegungswissenschaften der Universität Stuttgart eingeladen, wo die Datenerhebung stattfand. Aufgrund des positiven Ethikvotums der Wilfried-Laurier Universität, Waterloo, Kanada für die Studie: „Motor-cognitive interference in dual tasks: allocation of resources in Parkinson Disease patients“ (REB # 4791 Project, REB Clearance Issued: February 19, 2016) wurde auch diese Studie, die dieselben Methoden nutzt, zur Veröffentlichung zugelassen (Klotzbier & Schott, 2017).

5.3.3 Ablauf und Durchführung

Die Durchführung der Verfahren wurde randomisiert, um mögliche Reihenfolgenefekte zu vermeiden. Auch innerhalb der Verfahren wurden die Bedingungen (z.B. TWT-M, TWT-A und TWT-B) randomisiert bearbeitet. Allerdings war aus organisatorischen Gründen das Einhalten einer zufälligen Reihenfolge der Testverfahren und -bedingungen in den Einzelstudien nicht immer umsetzbar. Bei Personen mit leichter kognitiver Einschränkung wurde bei Verständnisschwierigkeiten mit dem TMT (sitzende Bedingung) begonnen, um das Konzept der Doppelaufgabe (TWT) besser nachvollziehen zu können. Wenn darüber hinaus weitere Beispielversionen oder Übungsdurchgänge notwendig waren, wurden diese ebenfalls umgesetzt. Kinder mit DS können visuell-motorische Anweisungen im Vergleich zu verbalen Instruktionen besser verstehen (Costanzo, Varuzza, Menghini, Addona, Giancesini, & Vicari, 2013; Meegan, Maraj, Weeks, & Chua, 2006), weshalb in dieser Stichprobe die Aufgabe

vorrangig demonstriert wurde. Analog zu Personen mit leichter kognitiver Einschränkung wurde auch hier mit dem TMT begonnen.

Die in den Einzelstudien zum Einsatz kommenden spezifischen Messinstrumente (z.B. MoCA bei MCI; MABC-2 bei DCD; UPDRS bei PD und PPVT-4 bei DS), sowie der TMT und der TWT wurden in einer ruhigen Umgebung durchgeführt, um Ablenkungen zu vermeiden und mögliche Störvariablen in der Versuchssituation auszuschließen. Die Datenerhebung wurde durch zuvor trainierte Testleiter vorgenommen.

5.4 Systematik der Datenanalyse

Alle statistischen Auswertungen wurden mit SPSS v.24 (SPSS, Chicago, IL) und MedCalc Version 17 (für die ROC-Analysen in der Studie mit MCI und PD) durchgeführt. Die Erstellung der Abbildungen erfolgte mit dem Editor für grafische Darstellungen in SPSS v.24 und dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel (MS Office Professional Plus 2013).

Zunächst wurden mithilfe der Analysefunktion „Explorative Datenanalyse“ und durch die grafische Darstellung der Boxplots Extremwerte identifiziert. Diese Werte liegen mehr als drei Boxlängen (Interquartilsweiten) außerhalb der Box. Die als Extremwerte identifizierten Werte wurden durch den Mittelwert inklusive Extremwert ersetzt (Einfache Imputation: „Mittelwertersetzung“; vgl. Wirtz, 2004; Reusch, Zwingmann, & Faller, 2002).

Der prozentuale Anteil der Extremwerte für die Zeiten im TMT liegt in Studie 1 bei 3,4% (n=2), in Studie 2 bei 0%(n=0), in Studie 3 bei 3,1% (n=2) und in Studie 4 bei 1,2% (n=1).

Tab. 9: Extremwerte für die Zeiten im TMT

Studie	Anteil	n
DCD	3,4%	2
DS	0%	0
PD	3,1%	2
MCI	1,2%	1

Der prozentuale Anteil der Extremwerte für die Zeiten im TWT liegt in Studie 1 bei 3,4% (n=2), in Studie 2 bei 2,7% (n=1), in Studie 3 bei 1,6% (n=1) und in Studie 4 bei 0% (n=0).

Tab. 10: Extremwerte für die Zeiten im TWT

Studie	Anteil	n
DCD	3,4%	2
DS	2,7%	1
PD	1,6%	1
MCI	0%	0

Der prozentuale Anteil der Extremwerte für die aufgabenübergreifenden (im TMT und TWT) motorischen und kognitiven DAK liegt in Studie 1 bei 2,6% (n=6), in Studie 2 bei 3,5% (n=5), in Studie 3 bei 2,4% (n=6) und in Studie 4 bei 2,4% (n=8).

Tab. 11: Extremwerte für die Zeiten der motorischen und kognitiven DAK (im TMT und TWT)

Studie	Anteil	n
DCD	2,6%	6
DS	3,5%	5
PD	2,4%	6
MCI	2,4%	8

5.4.1 Berechnung der Stichprobenkennwerte

Für die Stichprobencharakteristik wurden mögliche Gruppenunterschiede für kontinuierliche Variablen (z.B. Alter, Größe, Gewicht, BMI, körperliche Aktivität) anhand von t-Tests (bei 2 Gruppen) oder ANOVAs (bei mehr als 2 Gruppen) berechnet. Für die t-Tests wurde Cohens d, für ANOVAs wurde das partielle Eta² als Effektstärkemaß berechnet. Die Einordnung der Effektstärke (Cohens d; partiellen Eta²) erfolgt in Anlehnung an die Konventionen von Cohen (1988):

Tab. 12: Interpretation der Effektstärke Cohens d (nach Cohen, 1999).

Cohens d	Effekt
≥0.2 / ≤0.5	klein

Cohens d	Effekt
≥ 0.5 / ≤ 0.8	mittel
> 0.8	stark

Tab. 13: Interpretation der Effektstärke partiellen η^2 (nach Cohen, 1999).

partiellen η^2	Effekt
0,01	klein
0.06	mittel
0.14	stark

Kategoriale demografische Variablen (z.B. Geschlecht) wurden mit einem χ^2 -Test geprüft.

5.4.2 Berechnung der Zeiten im TMT und TWT

Die Zeiten in den Bedingungen des TMT und des TWT wurden mit Hilfe einer Stoppuhr gemessen und auf 0,01 Sekunden angegeben.

Aufgrund der unterschiedlichen Längen der Bedingungen im TMT (TMT-M: 185,4cm; TMT-A: 185,4cm und TMT-B: 243,8cm) (Gaudino, Geisler, & Squires, 1995) werden zunächst die Geschwindigkeiten für den TMT in allen Bedingungen folgendermaßen berechnet:

$$\text{Geschwindigkeiten im TMT - M} \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) = \frac{185,4}{\text{Zeiten im TMT - M}}$$

$$\text{Geschwindigkeiten im TMT - A} \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) = \frac{185,4}{\text{Zeiten im TMT - A}}$$

$$\text{Geschwindigkeiten im TMT - B} \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) = \frac{243,8}{\text{Zeiten im TMT - B}}$$

Damit die unterschiedlichen Längen im TMT bei der Angabe der benötigten Zeiten berücksichtigt werden, wurden die Geschwindigkeiten auf die Länge von 200cm normiert (benötigte Zeit für 200cm):

$$\text{Zeiten im TMT – M (s)} = \frac{200}{\text{Geschwindigkeiten im TMT – M}}$$

$$\text{Zeiten im TMT – A (s)} = \frac{200}{\text{Geschwindigkeiten im TMT – A}}$$

$$\text{Zeiten im TMT – B (s)} = \frac{200}{\text{Geschwindigkeiten im TMT – B}}$$

Für die Zeiten in den Bedingungen des TWT (TWT-M; TWT-A und TWT-B) wurden die Mittelwerte (\bar{X}) der jeweils drei Durchgänge (DCD, PD und DS) bzw. 5 Durchgänge (MCI) herangezogen:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{X_1 + X_2 + X_3 \dots + X_n}{n}$$

5.4.3 Berechnung der DAK im TMT und TWT

Bei der Berechnung der DAK wird die Leistung in jeder Aufgabe unter der Doppelaufgabenbedingung zu der jeweiligen Leistung unter Einzelaufgabenbedingung in Beziehung gesetzt.

Da höhere Werte für schlechtere Leistungen stehen (Zeiten im TMT und TWT) wurde ein negatives Vorzeichen eingefügt. Negative DAK deuten demnach auf eine Verschlechterung gegenüber Einzelaufgabenbedingung hin. Positive DAK stehen entsprechend für eine relative Verbesserung der Leistung unter Doppelaufgabenbedingung (Plummer & Eskes, 2015, S. 3).

Die motorischen und kognitiven DAKs für den TMT und den TWT berechnen sich wie folgt:

$$\text{DAK} = \frac{\text{Leistung in Doppelaufgabe} - \text{Leistung in Einzelaufgabe}}{\text{Leistung in Einzelaufgabe}} * 100$$

Motorische DAK

TMT

$$\text{motorische DAK TMT - A (\%)} = \frac{-(\text{TMTA} - \text{TMTM})}{\text{TMTM}} * 100$$

$$\text{motorische DAK TMT - B (\%)} = \frac{-(\text{TMTB} - \text{TMTM})}{\text{TMTM}} * 100$$

TWT

$$\text{motorische DAK TWT - A (\%)} = \frac{-(\text{TWTA} - \text{TWTM})}{\text{TWT}} * 100$$

$$\text{motorische DAK TWT - B (\%)} = \frac{-(\text{TWTB} - \text{TWT})}{\text{TWT}} * 100$$

Kognitive DAK

TMT

$$\text{kognitive DAK TMT - A (\%)} = \frac{-(\text{TMTA} - (\text{TMTA} - \text{TMTM}))}{(\text{TMTA} - \text{TMTM})} * 100$$

$$\text{kognitive DAK TMT - B (\%)} = \frac{-(\text{TMTB} - (\text{TMTB} - \text{TMTM}))}{(\text{TMTB} - \text{TMTM})} * 100$$

TWT

$$\text{kognitive DAK TWT - A (\%)} = \frac{-(\text{TWTA} - (\text{TMTA} - \text{TMTM}))}{(\text{TMTA} - \text{TMTM})} * 100$$

$$\text{kognitive DAK TWT - B (\%)} = \frac{-(\text{TWTB} - (\text{TMTB} - \text{TMTM}))}{(\text{TMTB} - \text{TMTM})} * 100$$

5.4.3.1 *Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen*

Die motorischen und kognitiven DAK werden für die Aufgaben des TMT und TWT mit Hilfe eines Streudiagramms grafisch gegenübergestellt. Die paarweise Verteilung (auch Scatterplot) wurde mit dem Grafikeditor in SPSS erstellt, um die Beziehungen zwischen den motorischen und kognitiven DAK zu visualisieren. Die Darstellung der Muster motorisch-kognitiver Interferenzen ermöglicht laut Plummer und Eskes (2015) eine bessere Einschätzung von Veränderungen über die Zeit (bzw. Lebensspanne). Auf Grundlage der Visualisierung in die vier Quadranten des Koordinatensystems (siehe Abbildung 21, Kapitel 5.1.5) wird deskriptiv eine Klassifizierung der neun potenziellen Muster vorgenommen (vgl. Schott, 2017, S.35).

5.4.4 *Statistische Verfahren zur Überprüfung der Hypothesen*

5.4.4.1 *ANOVA mit Messwiederholung*

Als Voraussetzung zur Durchführung der Varianzanalyse mit Messwiederholung wird die Varianzhomogenität mittel Levene-Test überprüft. Mit dem Kolmogorov-Smor-nov-Test wurden die einzelnen Variablen nach Normalverteilung überprüft (allerdings ist die Varianzanalyse nach Bortz und Schuster (2011) robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilung).

Mit Hilfe des Mauchly-Tests wird die Sphärizität überprüft. Ist diese nicht gegeben, wird nach Greenhouse-Geisser korrigiert (Bühner & Ziegler, 2009). Bei den Berechnungen der ANOVAs und signifikantem Ergebnis wird mithilfe von Post-hoc-Tests (Bonferroni-Korrektur) überprüft, welche Faktorstufen sich signifikant voneinander unterscheiden (Bühner & Ziegler, 2009). Für alle statistischen Tests wird ein Alpha-Wert von 0,05 herangezogen (auch für die Post-hoc Analysen) (Tabachnick & Fidell, 2013). Neben dem Signifikanzwert ($p < .05$, *signifikant; $p < .01$; hochsignifikant; $p < .001$, höchst signifikant) wird die Effektstärken für alle ANOVAs anhand des partiellen Eta^2 angegeben.

Um den Effekt der verschiedenen kognitiven Bedingungen und Schwierigkeitsstufen

zu prüfen, wurde in den einzelnen Untersuchungen eine 2 bzw. 3 (Gruppe)²⁹ x 3 (Bedingung) ANOVA mit Messwiederholung für die berechneten Zeiten im TMT und im TWT durchgeführt. Zwischensubjektfaktor ist die Gruppe und Innersubjektfaktor ist die Bedingung (nur motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben). Gruppenunterschiede innerhalb einer Bedingung (z.B. TWT-M) wurden mit t-Tests für unabhängige Stichproben (in der Studie mit DCD; zwei Faktorstufen) oder einfaktorieller Varianzanalyse (in den Studien mit DS, PD und MCI; drei Faktorstufen) untersucht.

Für die Berechnung der motorisch-kognitiven Interferenzen (DAK) wurde in den einzelnen Untersuchungen sowohl für den TMT (feinmotorische Aufgabe), als auch für den TWT (grobmotorische Aufgaben) eine 2 bzw. 3 (Gruppe) x 2 (Bedingung: Zahlen vs. Zahlen und Buchstaben) x 2 (Interferenzen: motorische vs. kognitive) ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt.

5.4.4.2 Reliabilität der Messwertreihen des TWT

Zur Quantifizierung der Übereinstimmung der 3 Durchgänge in den Bedingungen des TWT (TWT-M; TWT-A; TWT-B) und innerhalb der Gruppen (in den Untersuchungen mit PD und MCI) wurde ein „two-way“ Intraklassen-Korrelationskoeffizient (Art: justiert) (engl.: Intra-Class-Correlation oder *ICC*;) berechnet. Wie bei anderen Korrelationskoeffizienten kann der *ICC* Werte zwischen -1 und +1 annehmen. In Anlehnung an Fleiss (1999) können die Werte des *ICC* folgendermaßen interpretiert werden:

Tab. 14: Interpretation der *ICC* Werte (nach Fleiss, 1999).

ICC	Reliabilität
< 0.69	schlecht
≥0.70 / ≤ 0.79	mittelmäßig
≥0.80 / ≤ 0.89	gut
> 0.90	exzellent

²⁹ In Abhängigkeit der Anzahl der Faktorstufen (Gruppe) wurde eine 2x3 ANOVA (DCD) oder eine 3x3 ANOVA (DS; PD & MCI) mit Messwiederholung berechnet.

Die Test-Retest Reliabilität wurde mithilfe des Standardfehlers des Mittelwertes (engl.: Standard Error of the Mean; *SEM*) und der minimalsten nachweisbaren Veränderung mit einem Konfidenzintervall von 95% (engl.: Minimal Detectable Change; *MDC95*) bewertet. Der *SEM* ist ein Maß für die durchschnittliche Abweichung und demnach Genauigkeit der einzelnen Testergebnisse (hier: Durchgänge im TWT) (Weir, 2005). Die Formel zur Berechnung des *SEM* lautet:

$$SEM = (SD \times \sqrt{1-ICC}).$$

Zur Berechnung der minimalsten nachweisbaren Veränderung innerhalb eines Individuums wurde die *MDC95* mit folgender Formel herangezogen:

$$MDC95 = (1.96 \times SEM \times \sqrt{2}).$$

Um beide Maße miteinander vergleichen zu können, wurden diese zusätzlich als Prozentwerte (*SEM%* und *MDC95%*) ausgedrückt. Ein *SEM%* ($SEM/Mittelwert \times 100$) kleiner als 10% indiziert hierbei auf eine exzellente Übereinstimmung bzw. Reliabilität (Atkinson & Nevill, 1998).

5.4.4.3 Diagnostische Güte des TWT

Zur Evaluation und Bestimmung der diagnostischen Güte des TWT wurden ROC-Analysen (Receiver Operating Characteristic, kurz ROC) durchgeführt. Ziel war ein Vergleich von Einzel- und Doppelaufgabenbedingung in Hinblick auf eine mögliche Detektion von PD-PIGD bzw. MCI und die Frage, ob es möglich ist die Gruppen anhand des TWT voneinander zu differenzieren. Zur Evaluation des TWT als diagnostisches Verfahren wurden Gütemaßstäbe wie die Sensitivität, Spezifität und die Fläche unter der ROC-Kurve (engl.: Area Under the Curve, kurz *AUC*) betrachtet. Mit Hilfe des Youden-Index wurde bestimmt, welcher Schwellenwert am besten geeignet ist, um die Gruppen zu differenzieren. Der Index wird wie folgt berechnet:

$$\text{Youden-Index} = (\text{Sensitivität} + (\text{Spezifität}-1)) \text{ (Hilden \& Glasziou, 1996)}$$

und kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen.

Die Trennung der Gruppen gelingt umso besser, je größer der Youden-Index wird. Die Beurteilung der globalen diagnostischen Güte lautet wie folgt:

Tab. 15: Interpretation der Fläche unter der ROC-Kurve (mod. nach Swets, 1988).

AUC	Interpretation
< 0.5	Ungeeignet
= 0.5	Test ist nicht-informativ (= Ratewahrscheinlichkeit von 50%)
$0.5 < AUC \leq 0.7$	Schwache Diskrimination
$0.7 < AUC \leq 0.9$	Mittelmäßige bis gute Diskrimination
$0.9 < AUC < 1$	Sehr gute Diskrimination
1	Perfekte Diskrimination

5.4.5 Gepoolte Auswertung der Einzelstudien

5.4.5.1 Auswertung der Daten der Kontrollgruppen

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Zeiten im TMT und TWT, sowie der prozentualen motorischen und kognitiven Interferenzen werden für die Kontrollgruppen aus den vier Einzelstudien tabellarisch und mit Balkendiagrammen dargestellt. Gruppenunterschiede in den Bedingungen des TMT und TWT wurden für die Zeiten sowie für die motorischen und kognitiven DAK berechnet.

Eine 3 (Bedingung) x 6 (Gruppe) ANOVA der Zeiten mit der Bedingung (rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) als abhängige Variable und der Gruppe (5.9 J., 8.4 J., 10.5 J., 23.9 J., 76.5 J., 72.4J.) als unabhängige Variable wurde für den TMT und TWT berechnet. Eine 4 (Interferenz) x 6 (Gruppe) ANOVA der proportionalen DAK (DAK TMT-A, DAK TMT-B, DAK TWT-A, DAK TWT-B) als abhängige Variable und der Gruppe (5.9 J., 8.4 J., 10.5 J., 23.9 J., 76.5 J., 72.4J.) als unabhängige Variable wurde für die kognitiven und die motorischen DAK berechnet. Post-hoc-Mehrfachvergleiche (Bonferroni-Korrektur) überprüfen, welche Faktorstufen (Gruppe) sich signifikant voneinander unterscheiden (Bühner & Ziegler, 2009). Für alle statistischen Tests wird ein Alpha-Wert von 0,05 herangezogen (auch für die Post-hoc Analysen)

(Tabachnick & Fidell, 2013). Die Ergebnisse der Post-hoc-Vergleiche werden tabellarisch dargestellt.

Für die fein- und grobmotorischen Doppelaufgaben (TMT und TWT) mit den verschiedenen Schwierigkeitsstufen (Zahlen, Zahlen und Buchstaben) wurden die Mittelwerte der motorischen und kognitiven Interferenzen in allen Kontrollgruppen berechnet, um die Muster der motorischen und kognitiven Interferenzen in einem Streudiagramm grafisch gegenüber zu stellen (vgl. Plummer & Eskes, 2015).

5.4.5.2 Metaanalytische Auswertung der Daten

Ziel ist eine integrierte und quantifizierte Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und die Analyse der Variabilität zwischen den Studien.

Mithilfe der Computersoftware Review Manager, kurz „RevMan“ genannt ([Computer program]. Version 5.3. Copenhagen: The Nordic Cochrane Centre, The Cochrane Collaboration, 2014) zur Erstellung von Cochrane-Reviews, wurde eine Metaanalyse der gepoolten Daten durchgeführt und in einem Forest-Plot grafisch dargestellt.

5.4.5.2.1 Bewertung der Heterogenität

Zur Bewertung der Heterogenität werden verschiedene qualitative (grafische Darstellung mithilfe des Forest-Plots) und statistische Ansätze, einschließlich des Cochran´s Q (χ^2), des Higgins I^2 und des Tau², herangezogen.

Einen ersten qualitativen Anhalt bietet sich bei der Betrachtung des Forst-Plots. Neben der Lage der studienweisen Schätzwerte wird die Breite und Überschneidung der Konfidenzintervalle beurteilt.³⁰

Cochran´s Q (χ^2) (Cochran, 1954) gilt als zuverlässiger Indikator für Heterogenität in Metaanalysen (Takkouche, Cadarso-Suarez, & Spiegelman, 1999). Ein signifikantes Ergebnis repräsentiert das Vorliegen von Heterogenität zwischen den Primärstu-

³⁰ Eine homogene Studienlage kann angenommen werden, wenn die Konfidenzintervalle der Einzelstudien eng beieinanderliegen und sich überschneiden. Bei heterogener Studienlage variieren die Konfidenzintervalle sowohl in Breite und Lage merklich und überschneiden sich zwischen den Primärstudien nur wenig. Je länger (weiter) sie sind, desto ungenauer ist die Schätzung des Ergebnisses. In Cochrane-Reviews wie diesem wird der gepoolte Effekt mit seinem Konfidenzintervall als Raute dargestellt (Timmer & Richter, 2008).

dien. Der Test bringt bei einer geringen Studienanzahl nicht zwingend ein zuverlässiges Ergebnis hervor, weshalb im Rahmen dieser Arbeit ein Signifikanzniveau von $p < .01$ herangezogen wird (vgl. Sutton, Abrams, Jones, Jones, Sheldon, & Song, 2000).³¹

Die I^2 Statistik beschreibt den Prozentsatz der Variabilität und ist auf einen Wertebereich zwischen 0 - 100% normiert (Higgins, Thompson, Deeks, & Altman, 2003). Niedrige Werte zeigen keine oder geringe Heterogenität an, hohe Werte zeigen eine hohe Heterogenität an. Für den Wertebereich dazwischen gibt es keine universellen Cut-Off Werte. Higgins et al. (2003) schlagen vor, die I^2 -Werte von 25%, 50% und 75% als niedrig, mäßig und hoch zu bewerten. Deeks, Higgins und Altman (2008) schlagen demgegenüber überlappende Bereiche vor: 0% bis 40% als möglicherweise nicht wichtig; 30% bis 60% als moderate Heterogenität; 50% bis 90% als erhebliche Heterogenität; und 75% bis 100% als beträchtliche Heterogenität zu interpretieren. Bei einer geringen Anzahl von Studien (<20) sollten sowohl das I^2 -Konfidenzintervall als auch der Q-Test sehr vorsichtig interpretiert werden (Huedo-Medina, Sánchez-Meca, Marín-Martínez, & Botella, 2006). Im Cochrane-Handbuch werden Interpretationshilfen zu I^2 empfohlen (Higgins & Green, 2015):

5.4.5.2.2 Gewichtung der Primärstudien auf Grundlage der Modellannahmen

Die Wahl der Gewichtung der Primärstudien untereinander basiert im Wesentlichen auf dem Ausmaß der Heterogenität zwischen den Einzelstudien. Da angenommen werden kann, dass der Effekt zwischen den Gruppen (Studien)³² variiert, werden die vorliegenden Daten konservativ mittels „Random-Effekt“-Modell ausgewertet (Cochrane Deutschland, 2017; Petitti, 1994).³³ Bei der Berechnung gewichtet das Modell die Studien im Vergleich zum „Fixed-Effect“-Modell unterschiedlich, wobei mit

³¹ Einschränkung auf Heterogenität (ja/nein) ist nicht hilfreich, wenn Heterogenität ohnehin erwartet wird. Das Maß wird in RevMan 5.3 ([Computer program] The Cochrane Collaboration, 2014) automatisch berechnet.

³² Hauptgrund für die Heterogenität sind Unterschiede der Studienpopulation. Unterschiedliche Altersgruppen und verschiedene motorische (DCD und PD) und kognitive Beeinträchtigungen (DS und MCI).

³³ In RevMan stehen zwei Arten von Metaanalysen zur Verfügung: „Fixed-Effect“-Modell und „Random-Effect“-Modell. Welche Methode gewählt wird, hängt von den gemachten Annahmen über die Heterogenität ab.

dem „Random-Effekt“-Modell mithilfe der Inversen Varianzmethode (IV) nach DerSimonian und Laird (1986) der Kehrwert der Varianz zur Gewichtung der Studien herangezogen wird. Im „Random-Effect“-Modell wird die Heterogenität darüber hinaus zwischen den Studien mit Tau^2 quantifiziert (Deeks, Higgins, & Altman, 2008).

5.4.5.2.3 Subgruppenanalyse

Die folgenden Subgruppen wurden für den Vergleich zwischen „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden untersucht. Grundlage für die Analyse sind die Zeiten (in Sekunden) im TMT und TWT:

1. Die verschiedenen Bedingungen des TMT (TMT-M, TMT-A und TMT-B) als Subgruppen.
2. Die verschiedenen Bedingungen des TWT (TWT-M, TWT-A und TWT-B) als Subgruppen.

Die folgenden Subgruppen wurden für den Vergleich zwischen „motorischen“ und „kognitiven“ DAK für den TMT bzw. TWT untersucht. Grundlage für die Analyse ist der Mittelwert der proportionalen motorischen DAK und der Mittelwert der proportionalen kognitiven DAK (in %) beider Bedingungen (Zahlen, Zahlen und Buchstaben):³⁴

3. „Gesunde“ und „beeinträchtigte“ Probanden als Subgruppen im TMT.
4. „Gesunde“ und „beeinträchtigte“ Probanden als Subgruppen im TWT.

Für die Vergleiche zwischen „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden sowie dem Vergleich zwischen motorischen und kognitiven DAK, wurden die jungen Erwachsenen aus der MCI-Studie (23,9 J.) und die sehr jungen Kinder (5,9 J.) aus der DS-

³⁴ Proportionale motorische DAK TMT = (motorische DAK TMT-A + motorische DAK TMT-B)/2. Proportionale kognitive DAK TMT = (kognitive DAK TMT-A + kognitive DAK TMT-B)/2. Proportionale motorische DAK TWT = (motorische DAK TWT-A + motorische DAK TWT-B)/2. Proportionale kognitive DAK TWT = (kognitive DAK TWT-A + kognitive DAK TWT-B)/2.

Studie herausgenommen (Sensitivitätsanalyse)³⁵, da das Alter eine mögliche Kovariate darstellt und das Ausmaß der Streuung innerhalb dieser Studien (personenbedingt) erhöht.

5.4.5.2.4 Ergebnisdarstellung

Für jede Einzelstudie wird ein Ergebnis, das als Effektmaß ausgedrückt wird, ausgegeben. Diese Effektmaße werden dann gewichtet aufaddiert. Für die Zeiten und Interferenzen (kontinuierliche Variablen) wird der gewichtete Mittelwertsunterschied (engl.: Weighed Mean Difference, WMD) herangezogen.³⁶ Das Ergebnis der Metaanalyse wird schließlich im Forest-Plot dargestellt. Hierbei werden sowohl die Ergebnisse der Primärstudien als auch der Gesamtschätzer mit dem zugehörigen Konfidenzintervall (95% CI) abgebildet. Da auch die Originaldaten angegeben werden, bleiben die Einzelergebnisse nachprüfbar. Durch die Angabe der relativen Gewichtung der Einzelstudien, („weight“ in %), wird verdeutlicht, ob und inwieweit das Gesamtergebnis auf den Einzelstudien beruht.

³⁵ Der Einfluss von Einzelstudien kann dadurch überprüft werden, dass für die Metaanalyse Studien sukzessive aus- bzw. eingeschlossen werden und die Änderung der Ergebnisse jeweils beobachtet wird.

³⁶ Der Mittelwertunterschied (engl.: Weighed Mean Difference, WMD) ist eine Standardstatistik, die den absoluten Unterschied zwischen dem Mittelwert in zwei Gruppen in einer Studie beschreibt. Es kann als zusammenfassende Statistik in der Metaanalyse verwendet werden, wenn die Messungen in allen Studien auf derselben Skala beruhen (in der Studien der vorliegenden Arbeit sind dies die Zeiten im TMT und TWT sowie die DAK in %).

6 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen bei Kindern und älteren Erwachsenen mit motorischer und kognitiver Einschränkung

6.1 Umschriebene Entwicklungsstörung motorischer Funktionen (Developmental Coordination Disorder; DCD)

6.1.1 Stichprobe

59 Kinder mit und ohne DCD-Diagnose wurden über eine Grundschule und eine Rehabilitationsklinik für Kinder und Jugendliche rekrutiert. Alle Teilnehmer absolvierten die Movement Assessment Battery for Children - 2nd Edition (MABC-2; Test und Checkliste; Henderson, Sugden, & Barnett, 2007; Deutsche Version Petermann, 2011) zur Erfassung ihrer motorischen Leistungsfähigkeit. In der DCD-Gruppe wurden jene Kinder eingeschlossen, welche nach Maßgabe der DSM-5-Kriterien (American Psychiatric Association, 2013) mit DCD klassifiziert werden können. Demnach liegen die Werte aller Kinder in der DCD-Gruppe unter bzw. auf dem 5ten Perzentil (Kriterium A); ihre motorischen Fähigkeiten beeinträchtigen Aktivitäten des täglichen Lebens oder schulische Leistungen beträchtlich (MABC-Checkliste; Kriterium B); sie sind zwischen 7 und 10 Jahre alt (Kriterium C); die Beeinträchtigung der motorischen Fähigkeiten ist nicht allein durch mentale Retardierung oder durch wie auch immer geartete spezifische angeborene oder erworbene neurologische Störungen oder schwerwiegende psychosoziale Auffälligkeiten erklärbar (Kriterium D). Durch dieses Verfahren wurden 20 Kinder (DCD) eingeschlossen und mit einer Gruppe typische entwickelter Kinder gleichen Alters verglichen. Typisch entwickelte Kinder hatten einen MABC-2-Wert oberhalb des 15ten Perzentils sowie einen Wert über dem 5ten Perzentil in allen drei Subskalen der MABC-2.

6.1.1.1 Soziodemografische Informationen und körperliche Aktivität

Grundlegende demographische Angaben sowie Informationen zur Krankheitsgeschichte wurden durch Befragung der Kinder und der Eltern erhoben. Der Körperbau

hat einen entscheidenden Einfluss auf die motorische und kognitive Leistungsfähigkeit bei Kindern (Davis, Tkacz, Tomporowski, & Bustamante, 2015). Aus diesem Grund wurden die Größe und das Gewicht erhoben und der BMI berechnet. Der BMI³⁷ (BMI, kg/m²) wurde nach internationalen alters- und geschlechtsspezifischen Referenzwerten kategorisiert (WHO, 1995). Die Kinder wurden dazu befragt, an welchen formellen bzw. organisierten Aktivitäten (Teilnahme an Schulsport oder in einem Sportverein; max. 3 verschiedene Aktivitäten) sie in den letzten 12 Monaten teilgenommen hatten. Außerdem wurden die Kinder gefragt, wie viele Tage pro Woche und wie viele Minuten pro Einheit sie an dieser bestimmten Aktivität teilgenommen hatten. Die gesamte körperliche Aktivität (h/Woche) wurde daraufhin wie folgt berechnet: (Häufigkeit 1 × Dauer 1) + (Häufigkeit 2 × Dauer 2) + (Häufigkeit 3 × Dauer 3). Darüber hinaus wurden Kinder gefragt: „An wie vielen Tagen warst du in den letzten 7 Tagen insgesamt 60 Minuten oder länger körperlich aktiv?“

6.1.1.2 *Movement Assessment Battery for Children-2 (MABC-2)*

Beim MABC-2 (Henderson, Sugden, & Barnett, 2007; Deutsche Version Petermann, 2011) handelt es sich um ein standardisiertes Testverfahren zur Bewertung der motorischen Leistungsfähigkeit. Insgesamt stehen drei altersspezifische Testbatterien zur Verfügung, welche acht Aufgaben umfassen. Innerhalb jeder Altersgruppe werden die drei motorischen Entwicklungsdimensionen Handgeschicklichkeit, Ballfertigkeit und Fähigkeit zur statischen und dynamischen posturalen Kontrolle überprüft. In der vorliegenden Studie kommen die Tests aus der MABC-2 für die Altersgruppe 2 (Alter: 7;0-10;11 Jahren) zum Einsatz. Für alle drei Dimensionen und für den gesamten Testwert werden dem Alter angepasste Standardwerte und Prozentränge angegeben. So ist die Erstellung eines differenzierten Leistungsprofils möglich. Das Total Test Score (TTS; = gesamter Testwert) Perzentil kann als Indikator motorischer Defizite herangezogen werden. Hierbei deuten Werte bei und unter dem 5. Perzentil auf signifikante motorische Defizite hin. Kinder die einen Testwert zwischen dem 6. und

³⁷ <https://www.cdc.gov/healthyweight/bmi/calculator.html>

15. Perzentil erreichen werden zur Risikogruppe gezählt. Werte, die einen Prozentrang von 15 überschreiten werden als unauffällig betrachtet. Die Testbatterie weist eine gute Test-Retest Reliabilität, Interrater-Reliabilität sowie Kriteriumsvalidität auf. Die Zuverlässigkeit für eine Testwiederholung nach zwei Wochen beträgt $r(136) = .97$ (Henderson et al., 2007). Das Maß der internen Konsistenz (Cronbachs Alpha) liegt in dieser Studie bei 0.76 (Handgeschicklichkeit), 0.70 (Ballfertigkeit) und 0.78 (posturale Kontrolle).

Zusätzlich wurde die deutsche Übersetzung der MABC-2 Checkliste eingesetzt (Schott et al., in prep). Mit Hilfe eines Vorwärts-/Rückwärts-Übersetzungsverfahrens wurde die MABC-2 Checkliste in die deutsche Sprache übertragen. Sie wurde entwickelt, um Kinder mit motorischen Schwierigkeiten im Alter von 5 bis 12 Jahren zu identifizieren. Unterteilt ist die MABC-Checkliste in drei Abschnitte mit insgesamt 43 Items. Abschnitt A bewertet Aktivitäten und Fertigkeiten des täglichen Lebens, unterrichtspraktische Fertigkeiten im Klassenzimmer und Fertigkeiten in der Freizeit. In Abschnitt B wird der Frage nachgegangen, wie das Kind Aktivitäten im Klassenzimmer und im täglichen Leben meistert, wie es sich bei Ballspielen involviert, und inwieweit es in der Freizeit sportlich aktiv ist. Diese ersten beiden Abschnitte beinhalten insgesamt 30 Items und bilden die motorische Kompetenz eines Kindes anhand einer Gesamtpunktzahl (TMS = Total Motor Score) ab. Umso höher der TMS, desto schwächer die motorische Leistung. Der dritte Abschnitt (C) betrifft nicht motorische Faktoren, welche die Bewegung beeinflussen könnten, z.B. mangelndes Selbstvertrauen oder Impulsivität. Hierbei kann zwischen den Antwortmöglichkeiten "Ja" und "Nein" gewählt werden (Kind ist passiv, Kind überschätzt die eigenen Fähigkeiten, Kind ist leicht ablenkbar, etc.). Cronbachs Alpha (interne Konsistenz) beträgt 0.93 für alle 43 Fragen (beide Gruppen zusammengefasst), 0.81 sowohl für Abschnitt A als auch für Abschnitt B sowie 0.63 für Abschnitt C. Die Werte liegen demzufolge in Bereichen, in denen man von einer intern konsistenten Skala ausgehen kann.

6.1.2 Datenanalyse

Die Perzentil-Werte der Checkliste und der MABC-2 (um Kinder als gefährdet einzustufen) wurden anhand einer Kreuztabellenanalyse miteinander verglichen, um das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen den Instrumenten zu bestimmen.

Um den Effekt der verschiedenen kognitiven Bedingungen und Schwierigkeitsstufen zu prüfen, wurde eine 2 (Gruppe) x 3 (Bedingung) ANOVA mit Messwiederholung für die Zeiten im TMT und im TWT durchgeführt. Zwischensubjektfaktor ist die Gruppe (DCD vs. TD) und Innersubjektfaktor ist die Bedingung (rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben). Gruppenunterschiede innerhalb einer Bedingung wurden mit t-Tests für unabhängige Stichproben berechnet.

Für die Berechnung der motorisch-kognitiven Interferenzen wurde sowohl für den TMT (feinmotorische Aufgabe), als auch für den TWT (grobmotorische Aufgaben) eine 2 (Gruppe: DCD vs. TD) x 2 (Bedingung: Zahlen vs. Zahlen und Buchstaben) x 2 (Interferenzen: motorische vs. kognitive) ANOVA mit Messwiederholung berechnet.

6.1.3 Ergebnisse

6.1.3.1 Stichprobencharakteristik

Insgesamt nahmen 59 Kinder zwischen 7 und 10 Jahren an der Studie teil.³⁸ 10 Jungen und 6 Mädchen hatten starke motorische Beeinträchtigungen (DCD) (\leq 5tes Perzentil); 2 Jungen und 2 Mädchen zeigten moderate Einschränkungen (Risiko-Gruppe) (9tes Perzentil); 18 Jungen und 21 Mädchen waren in der Kontrollgruppe ($>$ 15tes Perzentil). In Bezug auf das Alter, die Größe, das Gewicht und den BMI wurden keine statistischen Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden ($p > .05$). Allerdings ist die Häufigkeit von Übergewicht bei Kindern mit DCD (17,6%) im Vergleich zu typisch entwickelten Kindern (5,1%) in dieser Stichprobe höher. Sowohl bezüglich

³⁸ Es wurde ein Altersbereich gewählt (7-10 Jahre), in welchem ausgereifte Gangmuster mit vergleichbarer Oberkörperstabilität zu älteren Erwachsenen beobachten werden kann (Mazzá, Zok, & Cappozzo, 2010).

der sportlichen Aktivitäten in den vergangenen 12 Monaten (formeller Sport in Sportvereinen), $t(57) = -4,36$, $p = .002$, als auch bezogen auf die gesamte körperliche Aktivität pro Woche (h/Woche), $t(45.7) = -5.37$, $p < .001$, zeigten sich signifikante Gruppenunterschiede, wobei die typisch entwickelten Kinder deutlich aktiver sind als die Kinder mit DCD (siehe Tabelle 16).

Tab. 16: Stichprobencharakteristik der Kinder mit und ohne DCD, einschließlich Mittelwerte (Standardabweichung) und Testwerte der Movement ABC-2 (MABC-2)-Testbatterie für Kinder.

	TD ≥ 16^{tes}	DCD ≤ 15^{tes}	stat. Analyse
	(<i>n</i> = 39)	(<i>n</i> = 20)	<i>p</i> -Wert
Alter (Jahre)	8.44 (1.19)	8.10 (1.07)	.293
Geschlecht (<i>n</i>)	18 Jungen, 21 Mädchen	12 Jungen, 8 Mädchen	.412
BMI (kg/m ²)	15.50 (2.17)	16.08 (2.38)	.378
Übergewicht , <i>n</i>	2	3	.313
Sport und Bewegung in einem Sportverein (min/Woche)	245 (225)	43.2 (53.5)	<.01
Körperliche Aktivität (Tage/Woche ≥ 60min)	4.31 (1.45)	2.50 (1.61)	<.001
MABC-2 Checkliste			
Total Motor Score (TMS = Testwert für Abschnitt A & B)	7.23 (7.85)	24.6 (11.80)	<.001
Abschnitt C	2.51 (2.19)	5.45 (1.61)	<.001
MABC-2 (Perzentile)			
Handgeschicklichkeit	67.5 (26.7)	13.0 (14.9)	<.001
Ballfertigkeiten (Werfen und Fangen)	62.7 (28.0)	13.6 (14.6)	<.001
Gleichgewichtsfähigkeit	79.1 (21.2)	10.4 (9.91)	<.001
Total Test Score (TTS = gesamter Testwert)	75.5 (22.3)	4.55 (2.70)	<.001

Anmerkung. $p < .05$ (signifikant); $p < .01$ (stark signifikant); $p < .001$ (hoch signifikant). Die Geschlechterverteilung wurde mit einem Chi²-Test geprüft.

Im MABC-2-Test (*Pillais Trace* = 0.824, $F(4, 54) = 63.3$, $p = .001$, $\eta^2_p = .824$) und in den Ergebnissen der MABC-2 Checkliste (*Pillais Trace* = .504, $F(2, 54) = 27.4$, $p < .001$, $\eta^2_p = .504$) ergaben sich erwartungsgemäß für alle Untertests sowie für die Gesamtpunktzahl, signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen mit schlechteren Ergebnissen für die Kinder mit DCD.

Zwischen dem TMS und dem TTS zeigten sich ein signifikanter Zusammenhang (Spearman's Rho) ($r_S = -0.606$, $p < .001$; $n = 57$). Die prozentuale Übereinstimmung

zwischen TMS und TTS betrug 77% (44/57). Ein Kappa-Wert von 0,547 wurde erzielt, was als mittelmäßig bis gut erachtet werden kann.

6.1.3.2 Trail-Making Test

6.1.3.2.1 Zeiten

Die Zeiten in allen drei Bedingungen des TMT und in allen Gruppen sind normalverteilt ($p < .05$). Das Alter ($r = -.269 - -.533$, $p < .05$) korreliert signifikant mit den Zeiten im TMT-M, TMT-A und TMT-B. Das Geschlecht hat keinen Einfluss auf die Leistung im TMT.

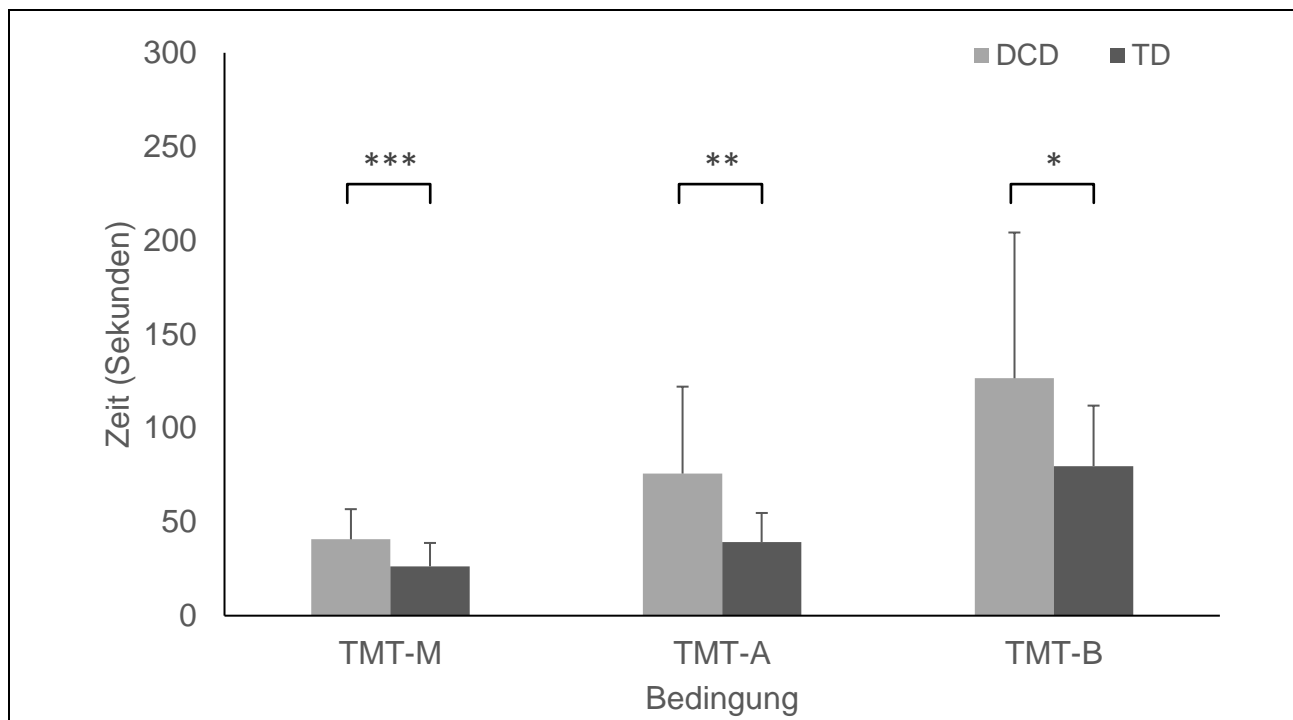


Abb. 28: Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (TD & DCD) und Bedingungen des modifizierten TMT (TMT-M, TMT-A & TMT-B) auf Grundlage der Zeiten (** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$, $T < .10$).

Die Mittelwerte des modifizierten TMT in Einzel- und Doppelaufgabenbedingung werden in Abbildung 28 für beide Gruppen dargestellt. Eine 2 (Gruppe: DCD vs. TD) x 3 (Bedingung: rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) ANOVA mit Messwiederholung der Zeiten für den TMT zeigt signifikante Haupteffekte für Bedingung, $F(1.12, 70.2) = 98.1$, $p < .001$, $\eta^2_p = .633$, und Gruppe, $F(1, 57) = 17.4$, $p < .001$, $\eta^2_p = .233$. Die Post-hoc Analyse ergab, dass die Zeiten bei Kindern mit und ohne DCD

im TMT-B ($M = 103$, $SE = 7.15$) signifikant höher ausfallen als im TMT-A ($M = 57.5$, $SE = 4.07$) oder in der rein motorischen (TMT-M) Bedingung ($M = 33.5$, $SE = 1.89$) ($p < .05$). Darüber hinaus führt die ANOVA zu einer signifikanten Interaktion von Bedingung x Gruppe, $F(1.23, 70.2) = 5.36$, $p = .017$, $\eta^2_p = .086$. Der Interaktionseffekt zeigt, dass der Unterschied zwischen den beiden Gruppen mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad deutlicher wird, wobei signifikant längere Zeiten in Bedingungen mit erhöhter kognitiver Belastung beobachtet werden.

6.1.3.2.2 DAK

In Tabelle 17 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der berechneten DAK für die feinmotorische (TMT) Aufgabe dargestellt.

Tab. 17: Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den feinmotorischen Doppelaufgaben (TMT-A, TMT-B) unterteilt in die Gruppen (TD: typisch entwickelte Kinder; DCD: developmental coordination disorder).

	TD (n = 39)	DCD (n = 20)	stat. Analyse
TMT DAK			
motor. DAK TMT-A	-68.7 (76.5)	-101 (120)	$F(1, 57) = 1.60$, $p < .211$, $\eta^2_p = .027$
motor. DAK TMT-B	-241 (143)	-238 (201)	$F(1, 57) = .005$, $p = .945$, $\eta^2_p < .001$
kogn. DAK TMT-A	-313 (441)	-10.1 (534)	$F(1, 57) = 5.37$, $p = .024$, $\eta^2_p = .087$
kogn. DAK TMT-B	-22.1 (254)	-83.3 (73.3)	$F(1, 57) = 1.09$, $p = .299$, $\eta^2_p = .019$

Anmerkung. DAK = Doppelaufgabenkosten; Dargestellt sind die empirischen Mittelwerte und Standardabweichungen.

Bezüglich der proportionalen DAK wurde eine 2 (Gruppe: DCD vs. TD) x 2 (Bedingung: niedrige vs. hohe kognitive Belastung) x 2 (Interferenz: motorisch vs. kognitiv) ANOVA mit Messwiederholung für die Zeiten im TMT berechnet.

Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Haupteffekte. Ein signifikanter Interaktionseffekt kann für Bedingung x Gruppe, $F(1, 57) = 5.63$, $p = .021$, $\eta^2_p = .090$, beobachtet werden. Kinder mit DCD zeigen höhere Leistungsbeinbußen in der Aufgabe mit hoher kognitiver Belastung (TMT-A: $M = -55.7$, $SE = 52.8$; TMT-B: $M = -160$, $SE = 29.8$), TD Kinder zeigen demgegenüber größere Leistungseinbußen mit geringer

kognitiver Belastung (TMT-A: $M = -190$, $SE = 37.8$; TMT-B: $M = -131$, $SE = 21.3$). Die Interaktion Bedingung x Interferenz wird ebenfalls signifikant, $F(1, 57) = 16.7$, $p < .001$, $\eta^2_p = .226$. Es zeigen sich deutlich geringere motorische Interferenzen bei leichter kognitiver Belastung ($M = -84.9$, $SE = 12.8$) im Vergleich zu hoher kognitiver Belastung ($M = -239$, $SE = 22.8$). Demgegenüber wurden höhere kognitive Interferenzen bei leichter kognitiver Belastung und geringere kognitive Interferenzen bei hoher kognitiver Belastung beobachtet (TMT-A: $M = -161$, $SE = 65.2$; TMT-B: $M = -52.7$, $SE = 29.2$). Darüber hinaus besteht eine Dreifachinteraktion Bedingung x Interferenz x Gruppe, $F(1, 57) = 9.58$, $p = .003$, $\eta^2_p = .144$. Kinder mit DCD haben erhöhte Leistungseinbußen in der motorischen Aufgabe unter Doppelaufgaben (motor. DAK: $M = -169$, $SE = 28.9$; kogn. DAK: $M = -46.7$, $SE = 76.8$), wohingegen TD Kinder bei einfachen kognitiver Belastung höhere Einbußen in der kognitiven Aufgabe zeigen (motor. DAK: $M = -155$, $SE = 20.7$; kogn. DAK: $M = -167$, $SE = 54.9$).

6.1.3.3 Trail-Walking Test

Die relativen und absoluten Reliabilitätsmaße (ICC , SEM , $MDC95$) werden in Tabelle 18 dargestellt.

Tab. 18: Ergebnisse der Intra-Klassen-Korrelation (ICC) und der absoluten Inter-Trial-Reliabilität (SEM) für alle drei Bedingungen des TWT.

	TD			DCD		
	ICC (95% CI)	SEM/ SEM (%)	MDC95/ MDC95%	ICC (95% CI)	SEM/ SEM (%)	MDC95/ MDC95%
TWT-M	0.802 (0.66-0.89)	0.47/1.43	1.24/3.97	0.955 (0.91-0.98)	0.55/1.67	1.52/4.62
TWT-A	0.807 (0.67-0.82)	1.38/2.98	3.82/8.26	0.916 (0.82-0.96)	2.23/3.64	6.17/10.1
TWT-B	0.897 (0.85-0.94)	3.83/5.72	10.6/15.9	0.963 (0.91-0.98)	4.79/4.58	13.3/12.7

Anmerkung. Zur Berechnung der Reliabilitätsmaße wurden 3 Durchgänge (Beobachtungszeitpunkte) einbezogen; CI = confidence intervall (deutsch: Vertrauensintervall); SEM = standard error of measurement (deutsch: Standardmessfehler, Maß für die Genauigkeit von Testergebnissen); MDC = minimal detectable change (deutsch: minimalste nachweisbare Veränderung).

Die Reliabilität zwischen den Durchgängen war für alle Bedingungen und Gruppen gut bis exzellent, mit ICC Werten zwischen 0.832 und 0.963. Insgesamt lag der SEM

zwischen 0.47-3.83s. Der $SEM\%$ war bei allen Bedingungen und Gruppen gering (1.43-5.72%). In 100% der Beobachtungen wurde ein $SEM\% \leq 10\%$ gefunden. Der SEM schwankte bei TD Kindern zwischen 0.47-3.83s, bei Kindern mit DCD zwischen 0.55-2.23s. Insgesamt lag der $MDC95$ bezüglich der absoluten Zeiten im TWT zwischen 1.24-13.3s. Die $MDC95\%$ schwankte für die gesamte Stichprobe zwischen 3.97-15.9% und lag damit unterhalb von $\leq 30\%$.

6.1.3.3.1 Zeiten

Die Zeiten in allen drei Bedingungen des TWT und in allen Gruppen sind normalverteilt ($p < .05$). Das Alter ($r = -.397 - -.476$, $p < .001$) korreliert signifikant mit den Zeiten im TWT-M, TWT-A und TWT-B. Das Geschlecht hat keinen Einfluss auf die Leistung im TWT.

Eine 2 (Gruppe: DCD vs. TD) x 3 (Bedingung: rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) ANOVA mit Messwiederholung der Zeiten für den TWT zeigt signifikante Haupteffekte für Bedingung, $F(1.16, 66.1) = 145$, $p < .001$, $\eta^2_p = .719$, und Gruppe, $F(1, 57) = 20.5$, $p < .001$, $\eta^2_p = .265$.

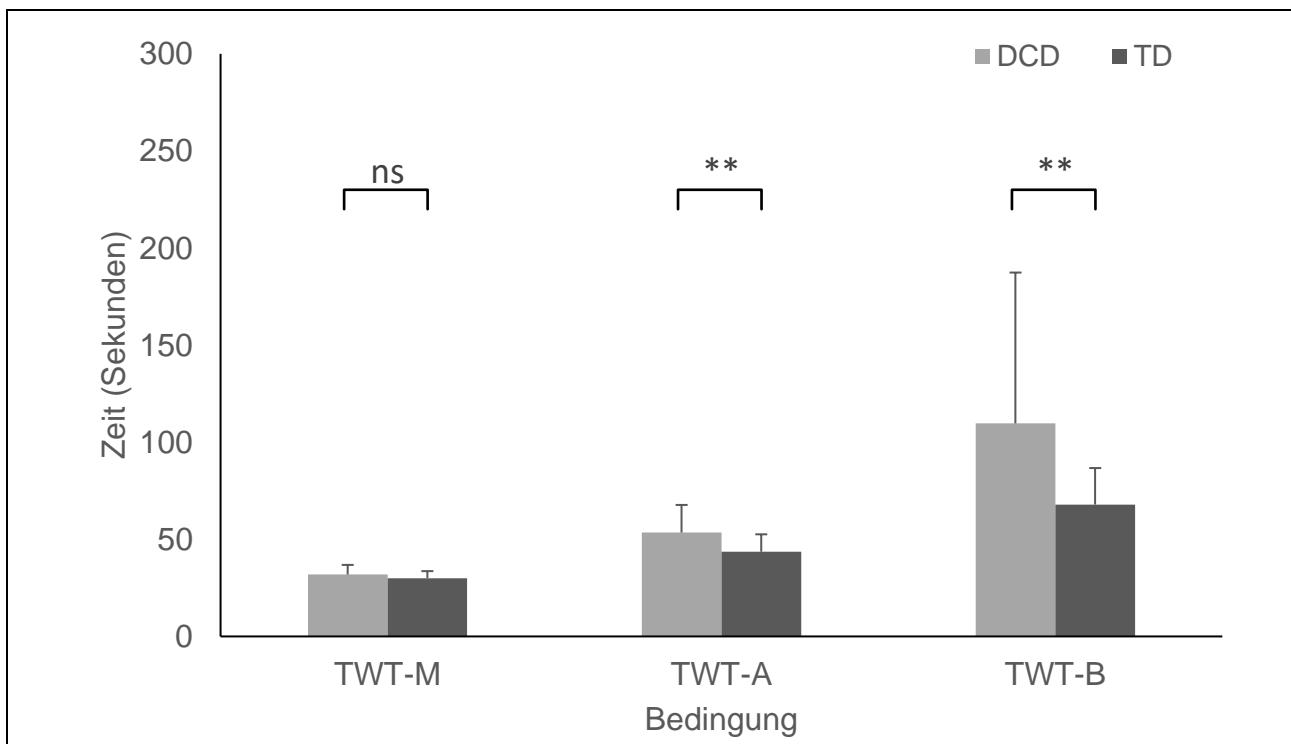


Abb. 29: Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (TD & DCD) und Bedingungen des TWT (TWT-M, TWT-A & TWT-B) auf Grundlage der Zeiten (** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$, T < .10).

Die Post-hoc Analyse ergab, dass die Zeiten bei Kindern mit und ohne DCD im TWT-B ($M = 88.8$, $SE = 4.59$) signifikant höher ausfallen als im TWT-A ($M = 48.6$, $SE = 1.51$) oder TWT-M ($M = 30.9$, $SE = 0.56$) ($p < .001$). Auch wird im Vergleich zum TWT-M signifikant mehr Zeit für den TWT-A benötigt ($p < .001$). Die ANOVA führt zu einer signifikanten Interaktion von Bedingung x Gruppe, $F(1.16, 66.1) = 18.5$, $p < .001$, $\eta^2_p = .245$. Diese Interaktion verdeutlicht, dass Kinder mit DCD im Vergleich zu TD bei der Bearbeitung des TWT und hoher kognitiver Belastung länger benötigen (siehe Abbildung 29). Im TWT-M gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen.

Kinder mit DCD machten insgesamt 107 motorische Fehler (Hütchen berührt; nicht in den Kreis getreten) und 76 Sequenz- bzw. Wechselfehler (z. B. falsches Hütchen angelaufen; keine Wechsel von Zahlen zu Buchstaben; übermäßig langes Suchen), während TD Kinder nur 75 motorische und 66 Sequenz- bzw. Wechselfehler machten. Eine 2 (Gruppe: DCD vs. TD) x 3 (Bedingung: rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) ANOVA mit Messwiederholung für die Anzahl der Fehler im TWT zeigte sowohl einen signifikanten Haupteffekt Bedingung, $F(2, 114) = 11.2$, $p < .001$, $\eta^2_p = .164$, als auch einen signifikanten Interaktionseffekt für Bedingung x Gruppe, $F(2, 114) = 3.52$, $p = .033$, $\eta^2_p = .058$. Diese Interaktion verdeutlicht, dass Kinder mit DCD im Vergleich zu TD bei der Bearbeitung des TWT und hoher kognitiver Belastung mehr Fehler machen (TWT-M: $M = 0.18$, $SE = 0.60$; TWT-A: $M = 0.67$, $SE = 0.93$; TWT-B: $M = 0.67$, $SE = 0.84$).

6.1.3.3.2 DAK

In Tabelle 19 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der berechneten DAK für die grobmotorische (TWT) Aufgabe dargestellt. Bezüglich der proportionalen DAK wurde eine 2 (Gruppe: DCD vs TD) x 2 (Bedingung: hohe vs. niedrige kognitive Belastung) x 2 (Interferenz: kognitiv vs. motorisch) ANOVA mit Messwiederholung für die Zeiten im TWT berechnet.

Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Haupteffekt Gruppe, $F(1, 57) = 4.09$, $p = .048$, $\eta^2_p = .067$, wobei TD Kinder aufgrund der erhöhten kognitiven Interferenzen (insbesondere im TWT-A; siehe Tabelle 19) insgesamt höhere Leistungseinbußen

unter Doppelaufgabenbedingung zeigen (DCD: $M = -76$, $SE = 28.2$; TD: $M = -146$, $SE = 20.2$) ($p = .048$).

Tab. 19: Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den grobmotorischen Doppelaufgaben (TWT-A, TWT-B) unterteilt in die Gruppen (TD: typisch entwickelte Kinder; DCD: developmental coordination disorder).

	TD (n = 39)	DCD (n = 20)	stat. Analyse
TWT DAK			
motor. DAK TWT-A	-46.4 (30.0)	-69.4 (44.9)	$F(1, 57) = 5.55$, $p < .022$, $\eta^2_p = .089$
motor. DAK TWT-B	-125 (54.4)	-241 (147)	$F(1, 57) = .19.4$, $p < .001$, $\eta^2_p = .254$
kogn. DAK TWT-A	-364 (460)	-137 (530)	$F(1, 57) = 14.2$, $p < .001$, $\eta^2_p = .199$
kogn. DAK TWT-B	-48.5 (68.1)	-131 (212)	$F(1, 57) = 4.99$, $p = .029$, $\eta^2_p = .081$

Anmerkung. DAK = Doppelaufgabenkosten; Dargestellt sind die empirischen Mittelwerte und Standardabweichungen.

Signifikante Interaktionseffekte können für Bedingung x Gruppe, $F(1, 57) = 24.1$, $p < .001$, $\eta^2_p = .297$, Interferenz x Gruppe, $F(1, 57) = 15.4$, $p < .001$, $\eta^2_p = .212$, Bedingung x Interferenz, $F(1, 57) = 4.22$, $p = .045$, $\eta^2_p = .069$, und für die Dreifachinteraktion Bedingung x Interferenz x Gruppe, $F(1, 57) = 11.4$, $p < .01$, $\eta^2_p = .167$, beobachtet werden. Höhere DAK wurden für die Aufgabe mit hoher kognitiver Belastung gefunden (TWT-A: $M = -85.8$, $SE = 33.6$, TWT-B: $M = -136$, $SE = 8.39$). Auch können im Vergleich zur kognitiven Aufgabe ($M = -101$, $SE = 34.2$) höhere Interferenzen in der motorischen Aufgabe ($M = -120$, $SE = 8.15$) berichtet werden. Die Interaktion Bedingung x Gruppe verdeutlicht, dass Kinder mit DCD größere Leistungseinbußen in der Aufgabe mit hoher kognitiver Belastung (TWT-A: $M = 34.1$, $SE = 54.6$; TWT-B: $M = -186$, $SE = 13.5$) und TD Kinder größere Leistungseinbußen in der Aufgabe mit niedriger kognitiver Belastung zeigen (TWT-A: $M = -205$, $SE = 39.1$; TWT-B: $M = -87.1$, $SE = 9.77$). Die Interaktion Gruppe x Interferenz zeigt, dass Kinder mit DCD größere Leistungseinbußen in der motorischen Aufgabe (motorisch: $M = -155$, $SE = 13.2$; kognitiv: $M = 3.02$, $SE = 55.6$) und TD Kinder größere Leistungseinbußen in der kognitiven Aufgabe (motorisch: $M = -86.0$, $SE = 9.49$; kognitiv: $M = -206$, $SE = 39.8$) haben. Die Interaktion Bedingung x Interferenz deutet darauf hin, dass mit hoher

kognitiver Belastung (TWT-B) im Vergleich zu geringer kognitiver Belastung (TWT-A) die motorischen Interferenzen größer ausfallen (motor. DAK im TWT-A: $M = -57.9$, $SE = 4.91$; motor. DAK im TWT-B: $M = -183$, $SE = 13.2$). Bei geringer kognitiver Belastung (TWT-A) sind demgegenüber höhere kognitive Interferenzen im Vergleich zu motorischen Interferenzen zu beobachten (kogn. DAK im TWT-A: $M = -113$, $SE = 66.7$; kogn. DAK im TWT-B: $M = -90.0$, $SE = 18.6$). Die Dreifachinteraktion verdeutlicht, dass Kinder mit DCD im Vergleich zur Kontrollgruppe (TD) größere motorische Interferenzen bei erhöhter kognitiver Belastung haben (DCD: $M = -241$, $SE = 21.4$; TD: $M = -125$, $SE = 15.3$).

6.1.3.3 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen

Abbildung 30 zeigt die Verteilung der motorischen und kognitiven Interferenzen im TWT-A bei Kindern mit DCD und TD Kindern. Ein Großteil der TD Kinder zeigt wechselseitige Interferenzen mit höheren DAK in der kognitiven Aufgabe im Vergleich zur motorischen Aufgabe.

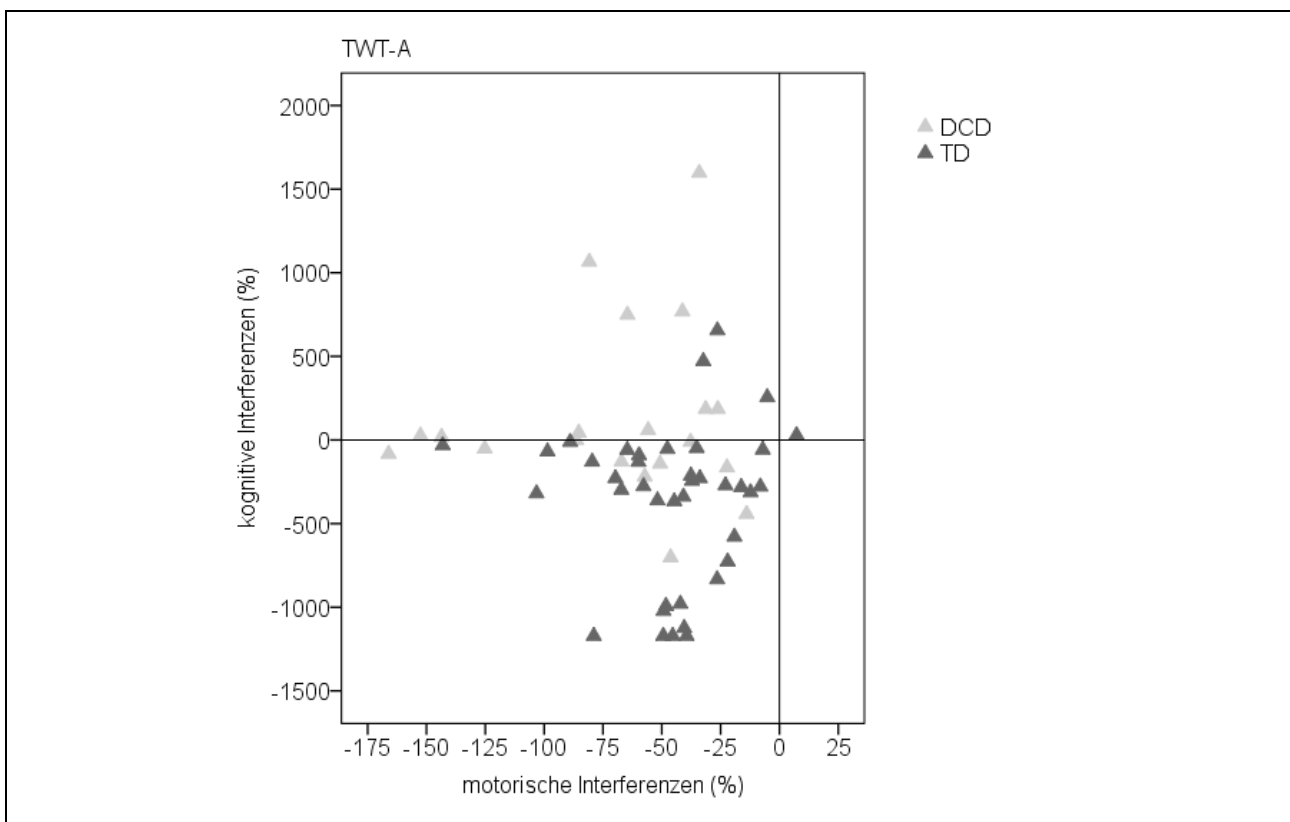


Abb. 30: Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-A auf Grundlage der Zeiten bei TD Kindern und Kindern mit DCD.

Die Muster der Kinder mit DCD sind deutlich variabler, mit kognitiv-bedingten motorischen Interferenzen und einer vereinzelt Priorisierung der kognitiven Aufgabe. In der Bedingung mit hoher kognitiver Zusatzbelastung (TWT-B, Abbildung 31) kann bei Kindern mit DCD eine deutlich breitere Verteilung mit hohen kognitiv-bedingten motorischen Interferenzen und einer Priorisierung der kognitiven Aufgabe beobachtet werden. Die Streuung ist bei TD Kindern sowohl in den motorischen als auch in den kognitiven DAK geringer.

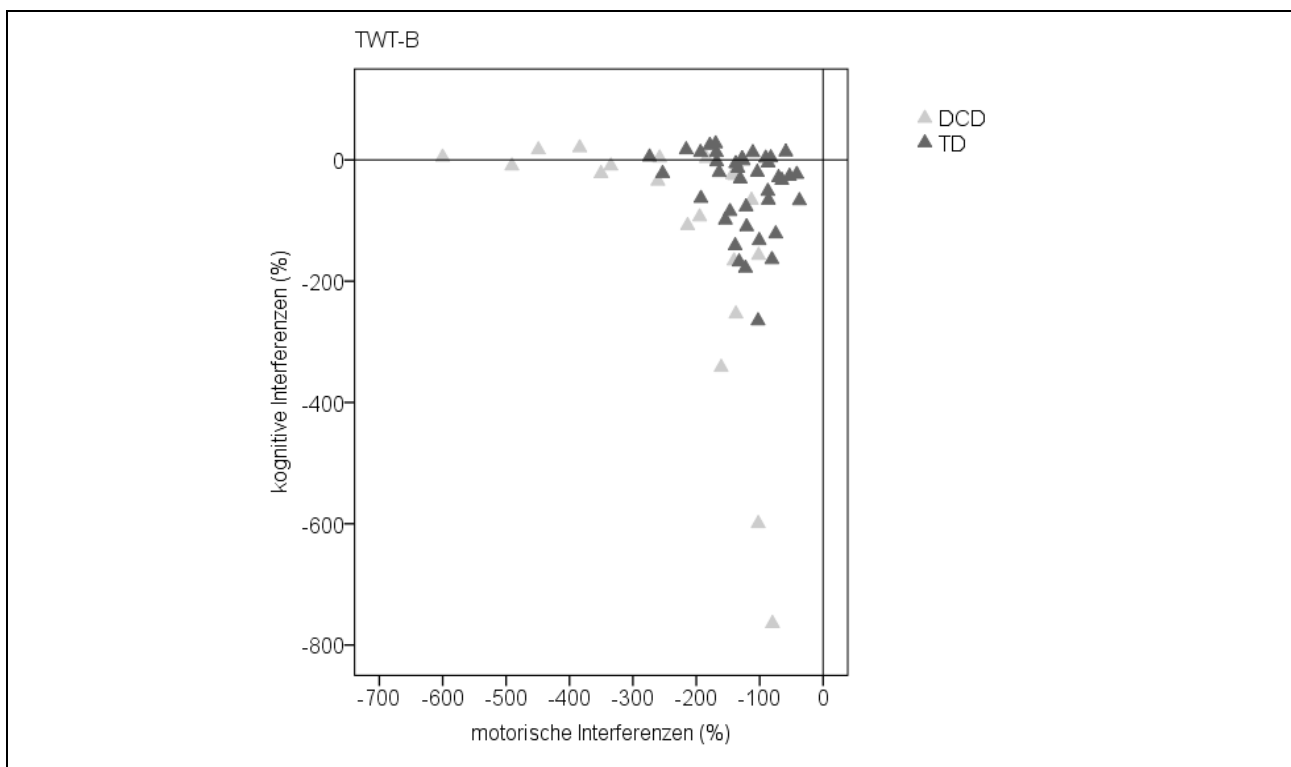


Abb. 31: Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-B auf Grundlage der Zeiten bei TD Kindern und Kindern mit DCD.

6.1.3.4 Vergleich der DAK bei fein- und grobmotorischer Fertigkeit

Bezüglich der Interferenzeffekte wurde eine 2 (Gruppe: DCD vs. TD) x 2 (Bedingung: hohe vs. niedrige kognitive Belastung) x 2 (Aufgabe: fein- vs. grobmotorisch) x 2 (Interferenz: motorisch vs. kognitiv) ANOVA mit Messwiederholung für die DAK berechnet.

Die Berechnung zeigt einen tendenziell signifikanten Haupteffekt für Aufgabe, $F(1, 57) = 3.16$, $p = .081$, $\eta^2_p = .053$, wobei tendenziell größere DAK in der feinmotorischen Aufgabe zu sehen sind. Signifikante Interaktionseffekte können für Bedingung

x Gruppe, $F(1, 57) = 15.0$, $p < .001$, $\eta^2_p = .209$, Interferenz x Gruppe, $F(1, 57) = 7.28$, $p = .009$, $\eta^2_p = .113$, und Bedingung x Interferenz, $F(1, 57) = 11.6$, $p = .03$, $\eta^2_p = .149$, berichtet werden. Kinder mit DCD zeigen im Vergleich zu TD Kindern größere Interferenzen bei hoher kognitiver Belastung (TMT-A: $M = -10$, $SE = 52.2$; TMT-B: $M = -173$, $SE = 16.7$). TD Kindern zeigen größere Interferenzen bei leichter kognitiver Belastung (TMT-A: $M = -198$, $SE = 37$; TMT-B: $M = -109$, $SE = 11.9$). Kinder mit DCD haben größere motorische Interferenzen und TD Kinder haben größere kognitive Interferenzen (motorisch: $M = -162$, $SE = 18.9$; kognitiv: $M = -21$, $SE = 56.6$, bei DCD und motorisch: $M = -120$, $SE = 13.6$; kognitiv: $M = -187$, $SE = 40.5$, bei TD). Die Interaktion Bedingung x Interferenz verdeutlicht, dass mit Zunahme der kognitiven Belastung die motorischen Interferenzen steigen (TMT-A: $M = -71$, $SE = 7.89$; TMT-B: $M = -211$, $SE = 16.4$). Für die Dreifachinteraktionen Bedingung x Aufgabe x Gruppe, $F(1, 57) = 13.3$, $p < .001$, $\eta^2_p = .189$, Bedingung x Interferenz x Gruppe, $F(1, 57) = 11.6$, $p < .001$, $\eta^2_p = .170$, Aufgabe x Interferenz x Gruppe, $F(1, 57) = 9.19$, $p = .004$, $\eta^2_p = .139$, und Bedingung x Aufgabe x Interferenz, $F(1, 57) = 6.99$, $p = .011$, $\eta^2_p = .109$, besteht ebenfalls ein signifikanter Effekt. Die Interaktion Bedingung x Aufgabe x Interferenz verdeutlicht, dass bei geringer kognitiver Belastung und unabhängig von der Aufgabe (fein- oder grobmotorisch) die kognitiven Einbußen größer ausfallen als die motorischen Einbußen. Bei Zunahme der kognitiven Belastung (Zahlen und Buchstaben) hingegen werden im TMT und TWT größere motorische DAK beobachtet. Die Interaktion Gruppe x Aufgabe x Interferenz zeigt, dass Kinder mit DCD sowohl in der fein(TMT)- als auch in der grobmotorischen(TWT) Aufgabe größere motorische Interferenzen zeigen. TD Kinder zeigen hingegen sowohl in der fein- als auch in der grobmotorischen Aufgabe größere kognitive Leistungseinbußen.

6.1.4 Diskussion

Im Rahmen dieser Studie wurde der Einfluss verschiedener motorischer und kognitiver Aufgaben auf die motorisch-kognitiven Interferenzen bei Kindern mit DCD untersucht.

Die Zeiten im TMT und TWT waren bei Kindern mit DCD im Vergleich zu TD erhöht. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen im TWT war größer, je höher die kognitive Belastung wurde. Kinder mit DCD zeigten im Vergleich zur Einzelaufgabenbedingung (TMT/TWT-M) in einer Doppelaufgabe mit zusätzlicher kognitiver Belastung sowohl in einer fein- als auch in einer grobmotorischen Aufgabe größere Veränderungen als Kinder ohne DCD. Somit können insbesondere bei Kindern mit DCD längere Zeiten in der manuellen Spurverfolgungsaufgabe (TMT) und längere Zeiten unter allen Doppelaufgabenbedingungen beobachtet werden.

6.1.4.1 Einfluss verschiedener motorischer Aufgaben auf die motorisch-kognitiven Interferenzen

Beim Gehen ohne zusätzliche kognitive Aufgabe gibt es keinen Unterschied in den Gehzeiten zwischen Kindern mit und ohne DCD. Dieses Ergebnis steht im Einklang zu den Ergebnissen von Cherng, Liang, Chen und Chen (2009), welche keine Unterschiede zwischen Kindern mit und ohne DCD in den Gehzeiten mit selbst gewählter Geschwindigkeit haben zeigen können. In der feinmotorischen Aufgabe ohne zusätzliche kognitive Belastung (TMT-M) konnte in der hier vorliegenden Untersuchung gezeigt werden, dass Kinder mit DCD im Vergleich zu typisch entwickelten Kindern schlechter abschneiden und mehr Zeit für die Bearbeitung benötigen. Ähnliche Ergebnisse berichten de Oliveira und Wann (2010), die zeigen konnten, dass junge Erwachsene – welche in ihrer Kindheit mit DCD diagnostiziert worden sind – in einer Spurverfolgungsaufgabe (Tracking-Aufgabe) deutlich langsamer und variabler abschneiden als eine Kontrollgruppe ohne DCD Diagnose. Dieses Ergebnis steht somit im Einklang mit der „Internal Modeling Deficit (IMD)“-Hypothese, wonach eine eingeschränkte Fähigkeit zur Nutzung interner Modelle (Repräsentationen) – welche die Input-Output-Eigenschaften des motorischen Systems vorhersagen – bei Kinder mit

DCD zu langsameren und reduzierten motorischen Leistungen führen kann (Adams, Lust, Wilson, & Steenbergen, 2014).

Der TWT ist im Gegensatz zum geradlinigen Gehen durch Richtungsänderungen gekennzeichnet. Diese Richtungsänderungen erfordern eine notwendige asymmetrische Platzierung der Füße und eine Steuerung des Körpers in verschiedene Richtungen (Schott, 2015). Die räumliche Navigation mit einer gezielten, geplanten Bewegung hin auf ein bestimmtes Ziel (Hütchen), ist in diesem Zusammenhang ein hoch komplexer und im TWT geforderter Prozess. Hierbei können zwei räumliche Referenzsysteme voneinander differenziert werden. In einem egozentrischen Referenzsystem werden Objekte in Relation zum sich bewegenden Individuum repräsentiert. Das Individuum ist das Zentrum des Referenzsystems, dessen Ausrichtung somit vom Individuum abhängt (hierbei werden Objekte relativ zum Körper kodiert: „Das Hütchen steht links von mir“). In einem allozentrischen Referenzsystem werden Objekte in Relation zu anderen objektiven Positionen in einem konstanten externen Bezugsrahmen repräsentiert (Objektpositionen werden somit unabhängig vom Betrachter kodiert: „Hütchen 1 steht neben Hütchen 5“). Verschiedene Autoren wählen verschiedene Paradigmen, die nicht immer sauber zwischen den Konstrukten Orientierung, Navigation und räumlichem Gedächtnis unterscheiden (vgl. Hinrichs, 2008).³⁹ Aufgaben wie der TWT können dazu beitragen, egozentrische Navigationsstrategien, aber auch allozentrische Strategien und Gedächtnisprozesse zu bewerten. Demgegenüber beanspruchen Aufgaben wie der TMT (mit konstantem externen Bezugsrahmen) wahrscheinlich in erster Linie egozentrische Prozesse der Navigation (Lavenex et al., 2015).

Kinder im Alter von 10 Jahren haben aufgrund der sich noch entwickelnden EF noch nicht ausgereifte räumliche Fähigkeiten (Bullens, Iglói, Berthoz, Postma, & Rondi-Reig, 2010). Sie sind im Vergleich zu Jugendlichen weniger gut in der Lage zwischen den Referenzsystemen und Quellen räumlicher Informationen zu wechseln oder diese gleichzeitig zu nutzen (Belmonti, Cioni, & Berthoz, 2013; Broadbent, Farran, &

³⁹ Hinrichs (2008) berichtet von einer Problematik bei der adäquaten Operationalisierung räumlicher Navigation in der Literatur

Tolmie, 2014). Diesbezüglich stimmen unsere Ergebnisse mit Befunden überein, welche bessere Navigationsfähigkeiten bei älteren Kindern im Vergleich zu jüngeren Kindern zeigen konnten. Kinder mit DCD zeigen mit zunehmendem Alter nur in der grobmotorischen Doppelaufgabe (Gehen im TWT) eine Abnahme der motorischen Interferenzen. Diese Beobachtung unterstützt die Hypothese, wonach Kinder mit DCD bei der Fertigkeit des Gehens Entwicklungsverzögerungen aufweisen und diese Einschränkungen sich mit dem Älterwerden der Kinder zunehmend vermindern, auch wenn geringere Defizite oft im Erwachsenenalter zurückbleiben. Dieser Umstand mag für die Gehgeschwindigkeit Geltung haben, allerdings nur für die Geschwindigkeit und nicht für die koordinierte Platzierung der Füße oder andere spezifische Körperbewegungen (Ausrichtung des Körpers bei einem Richtungswechsel; Rotation des Rumpfes; Armbewegungen beim Drehen etc.; Du, Wilmut, & Barnett, 2015), welche bei der Bearbeitung des TWT gleichermaßen wichtig erscheinen. Die subjektiven Eindrücke des Testleiters deuten darauf hin, dass ältere Kinder im Vergleich zu jüngeren Kindern sowie typisch entwickelte Kinder im Vergleich zu Kindern mit DCD sich früher dem Ziel (Hütchen) zuwenden und den Laufweg frühzeitig antizipieren, indem sie ihr Gangmuster und die Laufrichtung situativ anpassen (allozentrisches Referenzsystem). Auch scheinen typisch entwickelte Kinder besser in der Lage zu sein, unter Verwendung eines egozentrischen Referenzsystems ihr Gangverhalten zu kontrollieren und einen Handlungsplan für die nächsten Ziele (Hütchen) zu erstellen. Dies führt insgesamt zu weniger Sequenz- bzw. Wechselfehlern.

Eine zusätzliche kognitive Aufgabe hat sowohl bei fein- als auch bei grobmotorischer Aufgabe einen Einfluss auf die Bearbeitungszeit. Insgesamt sind erhöhte motorische Interferenzen in der feinmotorischen Aufgabe zu beobachten. Allerdings sind nur bei grobmotorischer Aufgabe signifikante Unterschiede zwischen Kindern mit und ohne DCD und erhöhten Einbußen bei Kindern mit DCD evident. Dies steht im Einklang zu den Ergebnissen der in Tabelle 2 zusammengefassten Untersuchungen bei Kindern mit DCD (Laufer et al., 2008; Tsai et al., 2009; Cherng et al., 2009; Chen et al., 2012). Unter Berücksichtigung der Einzelaufgabenbedingung im Sinne einer rein motorischen Spurverfolgungsaufgabe (TMT-M) in der hier vorliegenden Arbeit, ist die kognitive Leistung im TMT in beiden Gruppen (DCD vs. TD) vergleichbar. Ähnliche

Ergebnisse berichten Alloway, Rajendran und Archibald (2009) bei einer visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgabe (Klopfsequenz). Die Autoren konnten zeigen, dass Kinder mit DCD schlechter abschneiden, jedoch kein Unterschied verbleibt, wenn der IQ statistisch kontrolliert wird. In einem großformatigen Setting (TWT) hingegen bleiben Unterschiede in den kognitiven Leistungen zwischen Kindern mit und ohne DCD bestehen. Selbst nach Berücksichtigung und statistischen Kontrolle der motorischen Leistung beim Gehen, können Unterschiede in den kognitiven Leistungen berichtet werden. Die Leistung im TWT erfordert in erster Linie eine erhöhte visuelle Verarbeitung und ein gewisses Maß an aufmerksamer Kontrolle. Hierbei handelt es sich um Aspekte der EF, welche notwendig erscheinen, um mit den Anforderungen dieser Aufgabe fertig zu werden (Alexander et al., 2005). Ein möglicher Erklärungsansatz bezieht sich darauf, dass eine Reichbewegung oder das Zeigen mit dem Finger (ähnlich wie im TMT gefordert; peripersonaler Raum) anders verarbeitet wird als die Navigation durch einen zweidimensionalen Raum (wie im TWT gefordert; extrapersonaler Raum) (Brain, 1941). Diesbezüglich konnten Nemmi, Boccia, Piccardi, Galati und Guariglia (2013) zeigen, dass in Abhängigkeit des Settings (groß- vs. kleinformatig) dieselben Experimente neuronal unterschiedlich verarbeitet werden. Im Gegensatz zum TMT, bei welchem Bewegungen im peripersonalen Raum und das egozentrische Referenzsystem für zielgerichtete Bewegungen erforderlich sind, werden beim TWT Anforderungen in alltäglichen Umgebungen besser abgebildet. Im TWT ist eine Objektidentifikation in einem extrapersonalen Raum, und Bewegungen hin zu einem Objekt (allozentrisches Referenzsystem) gefordert.

6.1.4.2 Einfluss verschiedener kognitiver Aufgaben auf die motorisch-kognitiven Interferenzen

In beiden Doppelaufgaben (TMT und TWT), zeigen sich höhere motorische Interferenzen in der Bedingung mit Zahlen und Buchstaben (TMT-B und TWT-B). Demgegenüber sind in den Bedingungen mit niedriger kognitiver Belastung (TMT-A und TWT-A) geringere motorische Interferenzen zu beobachten. Kognitive Interferenzen waren insbesondere in der Bedingung mit einfacher kognitiver Belastung (TMT-A und

TWT-A) bei TD Kindern signifikant erhöht. Diese Ergebnisse zeigen, dass sowohl die Aufgabe Zahlen zu verbinden als auch Zahlen und Buchstaben in aufsteigender Reihenfolge zu verbinden in beiden motorischen Aufgaben anspruchsvoll und kognitiv herausfordernd ist. Bei DCD kann eine Priorisierung der motorischen Aufgabe gegenüber der kognitiven Aufgabe beobachtet werden, wenn lediglich Zahlen verbunden werden müssen. Bei hoher kognitiver Belastung (TWT-B) liegt der Fokus in erster Linie bei der kognitiven Aufgabe mit deutlichen DAK in der motorischen Aufgabe. In Situationen mit anspruchsvollen kognitiven Herausforderungen bzw. Anforderungen tendieren Kinder (DCD und TD) dazu die kognitive Aufgabe zu priorisieren und die motorische Aufgabe zu vernachlässigen (Patel, Lamar, & Bhatt, 2014). Insbesondere beim TWT-B waren die Fehlerzahlen bei Kindern mit DCD im Vergleich zu TD signifikant höher, was darauf hindeutet, dass Kinder mit DCD eine ungleiche Ressourcenallokation vornehmen. Obwohl die Kinder instruiert wurden ihre Aufmerksamkeit gleichermaßen auf beide Aufgaben zu richten, zeigen Kinder mit DCD vermehrt motorische Fehler (58%) verglichen mit Sequenz- bzw. Wechselfehlern (42%). Typisch entwickelte Kinder zeigen demgegenüber eine gleichmäßigere Verteilung der Fehlerwerte (motorische Fehler: 53% vs. Sequenz- bzw. Wechselfehler: 47%). Kinder mit DCD haben gegenüber TD Kindern geringere kognitive Interferenzen in der Doppelaufgabe mit niedriger kognitiver Belastung (TWT-A). Kinder mit geringeren motorischen Leistungen scheinen von einem externalen Aufmerksamkeitsfokus, induziert durch eine einfache kognitive Aufgabe, zu profitieren (Schaefer, 2014). Diesbezüglich scheinen insbesondere Kinder mit DCD unter Einzelaufgabenbedingung die motorische Aufgabe zu fokussieren, was dazu führen kann, dass die selbstorganisierte Dynamik der motorischen Kontrolle gestört wird. Ein bewusstes Eingreifen in die selbstorganisierte Koordination des Bewegungsverhaltens bei fein- und grobmotorischen Aufgaben ist somit ein möglicher Erklärungsansatz für die Gruppenunterschiede unter Einzelaufgabenbedingung im TMT-M (Schaefer, Jagenow, Verrel, & Lindenberger, 2015).

Weitere Ansätze, um die Ergebnisse zu motorisch-kognitiven Interferenzen aus dieser Studie mit fein- und grobmotorischen Aufgaben zu erklären, liefern die in Kapitel 3.2 genannten theoretischen Modellvorstellungen bezüglich der Aufmerksamkeit

(zentraler Ressourcenspeicher; Kahnemann, 1973; Modell multipler Ressourcen; Wickens, 2008) sowie die bereits erwähnten notwendigen neuronalen Aktivierungsmuster in peripersonalen und extrapersonalen Aufgaben. Ressourcentheorien gehen davon aus, dass die Aufmerksamkeit in ihrer Kapazität begrenzt ist (siehe Kapitel 3.2.1). Wenn zwei Aufgaben parallel durchgeführt werden müssen, kann die gemeinsame Nutzung der jeweiligen Verarbeitungsprozesse dazu führen, dass die Verarbeitung und dementsprechend die Leistung in den Aufgaben abnimmt. In Situationen in denen die motorische Aufgabe nicht automatisiert abläuft werden mehr Aufmerksamkeitsressourcen benötigt. Diese erhöhten Anforderungen an die Aufmerksamkeitsressourcen können somit dazu führen, dass die motorische Aufgabe – aufgrund der zusätzlichen kognitiven Aufgabe – beeinträchtigt wird (Tsai et al., 2009). Insbesondere Kinder mit motorischen und/oder kognitiven Einschränkungen haben im Vergleich zu typisch entwickelten Kindern, aufgrund der reduzierten Ressourcen in der jeweiligen Domäne, erhöhte Schwierigkeiten bei der parallelen Verarbeitung motorischer und kognitiver Aufgaben (Asonitou, Koutsouki, Kourtessis, & Charitou, 2012; Krampe et al., 2011; Schott & Holfelder, 2015).

Fein- und grobmotorische Fertigkeiten greifen auf unterschiedliche, entwicklungsunabhängige neuronale Strukturen zurück (Flatters et al., 2014). Die Kontrolle von feinmotorischen Fertigkeiten beinhaltet neuronale Regelkreise, deren wesentliche Bestandteile das Striatum (ein Teil der Basalganglien) und das Frontalhirn sind (Striatofrontaler Schaltkreis). Das Gehen als grobmotorische Fertigkeit hingegen wird für im Allgemeinen (wenn die Fertigkeit automatisiert abläuft) durch spezialisierte Schaltkreise im zentralen Nervensystem (hauptsächlich Rückenmark, Hirnstamm und Kleinhirn) ermöglicht (Clark, 2015). Bei der Bearbeitung des TMT werden Bereiche wie der linke dorsolaterale präfrontale Kortex, der Gyrus cinguli und der Gyrus frontalis medius beansprucht. Es wird postuliert, dass diese Bereiche in engem Zusammenhang zu den EF stehen (Zakzanis, Mraz, & Graham, 2005). In einer 2015 veröffentlichten Studie mit Kindern und Jugendlichen zwischen 9 und 14 Jahren konnte gezeigt werden, dass bessere Leistungen im TMT-B mit einer größeren anatomischen Kopplung der verschiedenen Bereiche des präfrontalen Kortex sowie mit einer

erhöhten neuronalen Vernetzung von Regionen des frontalen, temporalen und parietalen Lappens assoziiert sind (Lee, Wallace, Raznahan, Clasen, & Giedd, 2015). Rothbart und Posner (2015) verdeutlichen, dass die Fähigkeit, mehrere Aufgaben parallel durchzuführen in erster Linie von einem exekutiven Aufmerksamkeitsnetzwerk (engl.: Executive Attention Network; Posner & Petersen, 1990; Posner & Rothbart, 2007) abhängt. Dieses Netzwerk umfasst den anterioren cingulären Kortex (ACC), die anteriore Insula, das Striatum sowie präfrontale Bereiche des Gehirns. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sowohl peripersonale (hier der TMT) als auch extrapersonale Aufgaben (hier der TWT) ein weitläufiges neuronales Aktivierungsmuster voraussetzen, um effektiv bearbeitet werden zu können. Entwicklungsveränderungen in der funktionalen neuronalen Vernetzung des Gehirns bei Kindern beinhalten zwei allgemeine Prinzipien, welche die Bearbeitung anspruchsvoller motorischer und kognitiver Aufgaben erschweren: 1) Das Zusammenspiel neuronaler Strukturen verändert sich von einer überwiegend lokalen Interaktion bei Kindern hin zu einem ausgedehnten Zusammenspiel neuronaler Strukturen bei jungen Erwachsenen. 2) Diese entwicklungsabhängige Veränderung der funktionalen Konnektivität erfolgt über eine Segregation lokaler Verbindungen und Integration dieser Bereiche in bisher disparate Subnetzwerke (Vogel, Power, Petersen, & Schlaggar, 2010). Diesbezüglich zeigen Kinder mit DCD verbreitete, schlecht integrierte, diffuse und wenig spezifische Aktivierungsmuster, die folglich eine Vielzahl motorischer und kognitiver Beeinträchtigungen hervorrufen (Brown-Lum & Zwicker, 2015).

Diese Ergebnisse stehen ebenso im Einklang mit dem „U-Shaped Non-Linear Interaction Model“, welches besagt, dass die Art und Schwierigkeit der kognitiven Aufgabe die Leistung der motorischen Fertigkeit beeinflusst. Daher kann angenommen werden, dass bei Kindern mit und ohne DCD (allgemein) die motorische Aufgabe schlechter ausfällt, je höher die Anforderungen der kognitiven Aufgabe sind. Bezüglich der Art der motorischen Aufgabe fanden frühere Studien bei Kindern mit DCD und Doppelaufgabenparadigma höhere motorisch-kognitive Interferenzen in statischen, nicht aber in dynamischen Gleichgewichtsaufgaben (Laufer et al., 2008; Tsai et al., 2009; Cherng et al., 2009; Chen et al., 2012). Ein Vergleich der Ergebnisse ist

allerdings, aufgrund der geringen Anzahl an Studien, der unterschiedlichen Studienprotokolle, der verschiedenen Arten von kognitiven Aufgaben (teilweise nicht anspruchsvoll genug um DAK zu produzieren) oder durch das Nicht-Berechnen von DAK nur bedingt möglich. Auch scheinen die meisten der in diesem Kontext herangezogenen Aufgaben ökologisch nicht ausreichend valide und bedeutungslos bzw. nicht repräsentativ für alltägliche Aufgabenstellungen der Kinder. Im Gegensatz zu den bisher durchgeführten Paradigmen mit Doppelaufgaben sind im TMT und TWT die kognitiven Anforderungen in die motorische Aufgabe eingebettet. Dies erfordert von den Probanden, dass die limitierten Verarbeitungsressourcen zu einem gewissen Maß beiden Aufgaben zugeteilt werden muss. Laut Schott (2015) stellt ein solches Paradigma eine ökologisch relevante Aufgabe dar.

6.1.5 Limitationen der Studie

Eine zentrale Einschränkung betrifft das Querschnittsdesign der Studie. Es wird die Leistung in der fein- und grobmotorischen Aufgabe untersucht, jedoch keine Lernleistung (z.B. Fähigkeit Bewegungen zu automatisieren). Biotteau, Chaix und Albaret (2015) konnten zeigen, dass Kinder mit DCD eine Folge von Fingerbewegungen mit Übung weitgehend automatisieren können. Die Ergebnisse der Autoren sprechen gegen die im Rahmen dieser Arbeit diskutierte Automatisierungs-Defizit-Hypothese. Die Zeiten als Maß zu Quantifizierung der motorischen und kognitiven Leistung werden in Studien mit Doppelaufgabenparadigma häufig herangezogen. Allerdings scheinen räumlich-zeitliche Muster der Bewegungsaufgaben die motorischen Unterschiede zwischen DCD und TD sensitiver aufzeigen zu können. In den letzten Jahren haben Studien gezeigt, dass Kinder mit DCD andere räumlich-zeitliche Muster aufweisen als Kinder, die sich typisch entwickeln (z. B. Morrison, Ferrari, & Smillie, 2012).

6.1.6 Schlussfolgerung und Ausblick

Aufgrund der begrenzten Anzahl an Veröffentlichungen zu motorisch-kognitiven Interferenzen bei Kindern mit DCD war das Ziel der vorliegenden Studie, den Einfluss

einer kognitiven Aufgabe auf fein- und grobmotorische Fertigkeiten bei Kindern mit motorischen Entwicklungsstörungen zu untersuchen und diese mit typische entwickelten Kindern zu vergleichen. Die Ergebnisse dieser Studie weisen im Allgemeinen darauf hin, dass es sich bei fein- und grobmotorischen Fertigkeiten um nicht automatisierte Fertigkeiten handelt, die durch sekundäre kognitive Aufgabenbedingungen deutlich beeinflusst werden. Bei beiden Gruppen führte die gleichzeitige Ausführung einer konkurrierenden kognitiven Zweitaufgabe zu einer erhöhten Bearbeitungsdauer. Die Kinder mit DCD zeigten in beiden motorischen Aufgaben höhere motorische Interferenzen. Mit Zunahme der kognitiven Belastung steigen die motorischen DAK bei DCD und sinken bei TD Kindern. Bei einfacher kognitiver Belastung werden große kognitive Interferenzen für TD Kinder und geringe Interferenzen für DCD beobachtet. Die Ergebnisse geben Aufschluss darüber, welche Faktoren für Unterschiede in den Leistungen bei Doppelaufgaben zwischen Kindern mit und ohne motorische Beeinträchtigung verantwortlich gemacht werden können. Kinder mit DCD profitieren von einem externalen Aufmerksamkeitsfokus bei leichter kognitiver Aufgabe, scheinen ihre Ressourcen gegenüber TD anders zu verteilen, zeigen mit zunehmendem Alter reduziert DAK in der grobmotorischen Aufgabe und haben Schwierigkeiten motorische Fertigkeiten zu automatisieren. Letzteres ist konsistent mit der Annahme beeinträchtigter Kleinhirnfunktionen und der Automatisierungs-Defizit-Hypothese. Diese Hypothese besagt, dass Defizite im Automatisierungsprozess dadurch entstehen, dass durch ein Weglenken der Aufmerksamkeit von der motorischen Fertigkeit in Richtung kognitiver Zweitaufgabe, eine bewusste Überwachung der motorischen Fertigkeit nicht möglich ist (Fawcett & Nicholson, 1992).

Zukünftige Studien sollten in längsschnittlichen Untersuchungen Maße umfassen, die Parameter wie Schrittzeiten, Schrittlänge, Doppelstützphase, Kopf- und Körperbewegungen in Doppelaufgabenbedingung mit Fortbewegungsaufgaben bei Kindern mit DCD quantifizieren. Im Rahmen einer Interventionsstudie kann die Ressourcenallokation über die Zeit abgebildet werden, um dadurch detaillierte Aussagen über den Automatisierungsprozess von Fertigkeiten machen zu können.

6.2 Down Syndrom

6.2.1 Stichprobe

In der vorliegenden Studie wurden 36 Kinder aus den Regionen Stuttgart und der Ortenau untersucht. Die Erziehungsberechtigten der Kinder mit DS meldeten sich aufgrund einer Anfrage per E-Mail freiwillig beim Untersuchungsleiter und stimmten der Teilnahme ihres Kindes an der Studie zu ($n = 12$; 6 männlich; $M_{\text{Alter}} = 10$ Jahre, 6 Monate). Für die Kinder mit DS wurden folgende Einschlusskriterien definiert: (a) Alter zwischen 8-12 Jahren, (b) Diagnose von DS durch einen Facharzt, (c) Fähigkeit einfachen Instruktionen zu folgen, (d) Fähigkeit, ohne Unterstützung gehen zu können, (e) Zahlen bis 25 beherrschen, (f) Buchstaben des Alphabetes kennen und (g) normale/korrigierte Sehfähigkeit. Kinder mit Begleiterkrankungen wie Autismus-Spektrum-Störungen, Zerebralparese, Taubheit, Blindheit oder anderen neuromuskulären Erkrankungen wurden von der Studie ausgeschlossen. 24 typisch entwickelte Kinder wurden aus Schulen und Kindergärten in der Ortenau anhand ihres Alters und Geschlechts in 2 Kontrollgruppen eingeteilt. Kinder der ersten Kontrollgruppe ($n = 12$, 6 männlich; $M_{\text{Alter}} = 10$ Jahre, 5 Monate) haben das gleiche chronologische Alter wie die Kinder mit DS (im weiteren Verlauf mit TD-CA abgekürzt), wohingegen das chronologische Alter der zweiten Kontrollgruppe ($n = 12$, 6 männlich; $M_{\text{Alter}} = 6$ Jahre, 0 Monate) dem mentalen Alter der Kinder mit DS entspricht (im weiteren Verlauf mit TD-MA abgekürzt). Um das mentale Alter der DS Kinder zu bestimmen wurde eine deutsche Adaption des Peabody Picture Vocabulary Test-4 (PPVT-4; Lenhard, Lenhard, Segerer, & Suggate, 2015) eingesetzt.

6.2.1.1 Soziodemografische Informationen und körperliche Aktivität

Soziodemografische und gesundheitliche Merkmale umfassten Alter, Geschlecht, Körperzusammensetzung, Medikation, motorische Koordination und körperliche Aktivität. Größe, Gewicht, Handflächenlänge und Mittelfingerlänge der Kinder wurden gemessen und der Body-Mass-Index (BMI, kg/m^2) sowie das Handflächen-zu-Fingerlängen-Verhältnis berechnet.

Die Kinder wurden dazu befragt, an welchen formellen bzw. organisierten Aktivitäten (Teilnahme an Schulsport oder in einem Sportverein; max. 3 verschiedene Aktivitäten) sie in den letzten 12 Monaten teilgenommen hatten. Außerdem wurden die Kinder gefragt, wie viele Tage pro Woche und wie viele Minuten pro Einheit sie an dieser bestimmten Aktivität teilgenommen hatten. Die gesamte körperliche Aktivität (h/Woche) wurde daraufhin wie folgt berechnet: (Häufigkeit 1 × Dauer 1) + (Häufigkeit 2 × Dauer 2) + (Häufigkeit 3 × Dauer 3).

Zur Überprüfung der drei motorischen Entwicklungsdimensionen Handgeschicklichkeit, Ballfertigkeit und Fähigkeit zur statischen und dynamischen posturalen Kontrolle wurde die Movement Assessment Battery for Children-2 (MABC-2; Henderson, Sugden, & Barnett, 2007) eingesetzt. Werte unter dem 5. Perzentil gelten als Anzeichen für eine erhebliche Behinderung.

6.2.1.2 Peabody Picture Vocabulary Test-4 (PPVT-4)

Der Peabody Picture Vocabulary Test-4. Ausgabe (PPVT-4; Dunn & Dunn, 2007; Lenhard, Lenhard, Segerer, & Suggate, 2015) ist ein international eingesetztes Standardinstrument bei Untersuchungen zur sprachlich-kognitiven Entwicklung bei Kindern zwischen 3 und 16 Jahren. Die deutsche Fassung ist eng an die Originalfassung angelehnt (Lenhard et al., 2015). Der Test liegt als Papierversion vor und enthält 228 Items, die jeweils aus einem gesprochenen Wort und einem zugehörigen Set aus vier farbigen Bildern bestehen. Die Aufgabe der Testperson besteht darin, dasjenige Bild auszuwählen, welches am besten zum vom Testleiter vorgeschprochenen Wort passt. Die 228 Items des PPVT-4 sind in 19 Item Sets mit jeweils 12 Items gruppiert. Die Sets sind in aufsteigender Schwierigkeit gereiht und beinhalten jeweils altersspezifische Einstiegspunkte. Für die Kontrollgruppe wurden die vorgeschlagenen Einstiegspunkte herangezogen. Für Kinder mit DS wurde, auf Grundlage der hohen interindividuellen Variabilität im Grad der Intelligenzminderung (diese bewegt sich zwischen IQ Werten von 20-69; Dilling, 2014), mit der niedrigsten Schwierigkeitsstufe des Tests begonnen. Der Test wird abgebrochen, wenn die Anzahl an richtigen Antworten der Testperson innerhalb eines Blocks unter 50% (Zufallswahrscheinlichkeit)

liegt. Die Dauer des Verfahrens beträgt ca. 20min. Die Ergebnisse des PPVT-4 werden normiert als *T*-Werte (Standardskala: $M = 50$, $SD = 10$) mit 90%- oder 95%-Konfidenzintervall ausgegeben. Die Tabellen reichen von *T*-Wert 28 bis 72. Dies entspricht in etwa Prozentrang 1 bis 99.

Die Test-Retest Reliabilität liegt für die deutsche Stichprobe für einen Zeitraum von 6 bis 12 Monaten bei $r = .91$. Das Maß der internen Konsistenz über alle Untersuchungsblöcke hinweg wird mit einem Cronbachs Alpha von $.87$ angegeben. Darüber hinaus wird über alle Altersstufen hinweg eine Split-Half Korrelation von $.97$ ($N = 4532$) berichtet (Lenhard et al., 2015).

Auf Grundlage der Ergebnisse im PPVT-4 wurde die Zuteilung der TD Kinder in die Kontrollgruppen vorgenommen. Ein TD Kind wurde in die TD-MA Kontrollgruppe aufgenommen, wenn sein Rohwert im PPVT-4 weniger als 4 *SD*-Punkte vom entsprechenden Mittelwert der Kinder mit DS lag. Ein TD Kind wurde in die TD-CA aufgenommen, wenn sein chronologisches Alter in den Streuungsbereich von 4 Monaten der DS Kinder lag.

6.2.2 Datenanalyse

Um den Effekt der verschiedenen kognitiven Bedingungen und Schwierigkeitsstufen zu prüfen, wurde eine 3 (Gruppe) x 3 (Bedingung) ANOVA mit Messwiederholung für die Zeiten im TMT und im TWT durchgeführt. Zwischensubjektfaktor ist die Gruppe (TD-MA, TD-CA & DS) und Innersubjektfaktor ist die Bedingung (rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben). Gruppenunterschiede innerhalb der Bedingungen wurden mit einer einfaktoriellen ANOVA berechnet.

Für die Berechnung der motorisch-kognitiven Interferenzen wurde für den TMT und den TWT eine 3 (Gruppe: TD-MA, TD-CA, DS) x 2 (Bedingung: nur motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) x 2 (Interferenzen: motorische vs. kognitive) ANOVA mit Messwiederholung für die Zeiten berechnet.

6.2.3 Ergebnisse

6.2.3.1 Stichprobencharakteristik

In allen drei Gruppen liegt eine Geschlechtsverteilung von 50% vor, mit jeweils sechs Jungen und sechs Mädchen pro Gruppe. Keines der Kinder ist fettleibig oder übergewichtig und der Body-Mass-Index (BMI) ist bei den DS Kindern ($M = 18.0$, $SD = 2.76$) und den TD-CA Kindern ($M = 17.8$, $SD = 2.73$) nicht signifikant unterschiedlich.

Tab. 20: Stichprobencharakteristik der Kinder mit und ohne DS (angepasstes chronologisches Alter [CA]; angepasstes mentales Alter [MA]), einschließlich Mittelwerte (Standardabweichung) und Testwerte des PPVT-4 und der Movement ABC-2 (MABC-2)-Testbatterie für Kinder.

	Down Syndrom	TD-CA	TD-MA	stat. Analyse
	(n = 12)	(n = 12)	(n = 12)	
Alter (Jahre)	10.5 (1.08) [§]	10.5 (1.07)	5.98 (1.21) [#]	$F(2,33) = 65.8$, $p < .001$, $\eta^2_p = .799$
Geschlecht (% männlich)	50.0	50.0	50.0	$CHP^2(2) = 0.00$, $p = 1.00$
Gewicht (kg)	32.1 (7.76) ^{§, #}	40.1 (7.67)	19.4 (5.02) [#]	$F(2,33) = 27.1$, $p < .001$, $\eta^2_p = .621$
Größe (cm)	133 (8.05) ^{§, #}	150 (5.83)	115 (13.8) [#]	$F(2,33) = 37.9$, $p < .001$, $\eta^2_p = .697$
BMI (kg/m ²)	18.0 (2.76) [§]	17.8 (2.73)	14.6 (1.62) [#]	$F(2,33) = 7.27$, $p = .002$, $\eta^2_p = .306$
Medikation (n)	1.42 (0.79) ^{§, #}	0.00 (0.00)	0.08 (0.29)	$F(2,33) = 31.9$, $p < .001$, $\eta^2_p = .659$
Fingerlänge (cm)	5.48 (0.34) [#]	7.13 (0.53)	5.38 (0.70) [#]	$F(2,33) = 39.2$, $p < .001$, $\eta^2_p = .704$
Handflächenlänge (cm)	8.07 (0.93) [#]	9.54 (0.50)	7.46 (0.84) [#]	$F(2,33) = 22.8$, $p < .001$, $\eta^2_p = .580$
Handflächen-zu-Finger- längen-Verhältnis	0.69 (0.07)	0.75 (0.05)	0.72 (0.07)	$F(2,33) = 2.80$, $p = .075$, $\eta^2_p = .145$
PPVT-IV Rohwert	96.6 (19.7) [#]	172 (19.0)	105 (28.4) [#]	$F(2,33) = 38.9$, $p < .001$, $\eta^2_p = .702$
IQ Wert	66.6 (2.13)	98.0 (12.2)	92.0 (10.4)	$F(2,33) = 38.1$, $p < .001$, $\eta^2_p = .698$
Körperliche Aktivität (min/Woche)	138 (45.1) [§]	158 (71.4)	62.5 (71.4) [#]	$F(2,33) = 7.38$, $p = .002$, $\eta^2_p = .309$
MABC-2 (Perzentile)				
Handgeschicklichkeit	0.45 (0.36) ^{§, #}	62.3 (25.3)	56.3 (23.1)	$F(2,33) = 35.6$, $p < .001$, $\eta^2_p = .683$
Ballfertigkeiten	10.5 (19.4) ^{§, #}	73.3 (28.3)	43.8 (26.3) [#]	$F(2,33) = 19.3$, $p < .001$, $\eta^2_p = .535$
Gleichgewichtsfähigkeit	0.60 (0.85) ^{§, #}	78.5 (23.8)	54.6 (37.8)	$F(2,33) = 28.7$, $p < .001$, $\eta^2_p = .635$
Total Test Score (TTS = gesamter Testwert)	0.25 (0.27) ^{§, #}	83.1 (12.9)	53.5 (35.0)	$F(2,33) = 45.6$, $p < .001$, $\eta^2_p = .734$

Anmerkung. # Signifikanter Unterschied zur CA-angepassten Gruppe ($p < .05$); § Signifikanter Unterschied zur MA-angepassten Gruppe ($p < .05$)

Im Durchschnitt bewegen sich die DS Kinder 138 Minuten pro Woche ($SD = 45.1$), vergleichbar mit den Werten der TD-CA Kinder ($M = 158$, $SD = 71.4$) und signifikant unterschiedlich zu den TD-MA Kinder ($M = 62.5$, $SD = 71.4$). Die Charakteristiken für die Variablen BMI, körperliche Aktivität und motorische Koordination sind vergleichbar zu kürzlich veröffentlichten Daten bei gleichaltrigen Kindern mit DS (Hatch-Stein et al., 2016 für BMI; Moss & Czyz, 2018 für körperliche Aktivität und Marchal et al., 2016 für motorische Koordination). Bezüglich der Medikamenteneinnahme unterscheiden sich die DS Kinder ($M = 1.42$, $SD = 0.79$) signifikant von den TD-CA ($M = 0.00$, $SD = 0.00$) und den TD-MA Kindern ($M = 0.08$, $SD = 0.29$), $F(2, 33) = 31.9$, $p < .001$, $\eta^2_p = .659$. Die DS Kinder haben einen geringen Rohwert im PPVT-4 ($M = 96.6$, $SD = 19.7$), der sich zudem signifikant von den Werten der TD-CA Gruppe unterscheidet und einen großen Effekt aufweist, $F(2, 33) = 38.9$, $p < .001$, $\eta^2_p = .799$. Dies steht im Einklang mit den diagnostischen Kriterien und der internationalen Klassifikation psychischer Störungen nach Dilling et al. (1991), wonach die geistige Intelligenz der DS Kinder gemindert ist. Der PPVT-4 zeigt diesbezüglich einen IQ Wert von 66.6 ($SD = 2.13$) bei Kindern mit DS, 98.0 ($SD = 12.2$) bei TD-CA und 92.0 ($SD = 10.4$) bei TD-MA. Auch die Fingerlängen unterscheiden sich zwischen DS und TD-CA signifikant voneinander und stehen somit im Einklang mit den Kriterien und den Erwartungen bezüglich der physischen Besonderheiten von DS Kindern (Gupta & Kabra, 2014; van Allen, Fung, & Jurenka, 1999) (siehe Tabelle 20). Insgesamt ergaben sich nur moderate Zusammenhänge zwischen den demografischen Merkmalen, der Körperzusammensetzung und der Leistung in der MABC-2.

6.2.3.2 Trail-Making Test

6.2.3.2.1 Zeiten

Die Zeiten in allen drei Bedingungen des TMT und in allen Gruppen sind normalverteilt ($p < .05$). Das Alter ($r = -.335$, $p = .023$) korreliert signifikant mit den Zeiten im TMT-A. Das Geschlecht hat keinen Einfluss auf die Leistung im TMT.

Eine 3 (Bedingung: rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) x 3 (Gruppe: DS, TD-CA, TD-MA) ANOVA mit Messwiederholung der Zeiten für den TMT zeigt

signifikante Haupteffekte für Bedingung, $F(1.75, 57.9) = 71.4$, $p < .001$, $\eta^2_p = .684$, und Gruppe, $F(2, 33) = 33.9$, $p < .001$, $\eta^2_p = .673$. Die Post-hoc Analyse ergab, dass die Zeiten bei allen Kindern im TMT-B ($M = 189$, $SE = 10.7$) signifikant höher ausfallen als im TMT-A ($M = 128$, $SE = 11.4$) oder in der rein motorischen (TMT-M) Bedingung ($M = 63.5$, $SE = 4.44$) ($p < .001$). Darüber hinaus führt die ANOVA zu einer signifikanten Interaktion von Bedingung x Gruppe, $F(3.51, 57.9) = 14.9$, $p = .001$, $\eta^2_p = .475$, wobei Kinder mit DS in allen drei Bedingungen langsamer waren als die TD-CA Gruppe ($p < .001$), jedoch nicht langsamer als die TD-MA ($p = .533$) (siehe Abbildung 32).

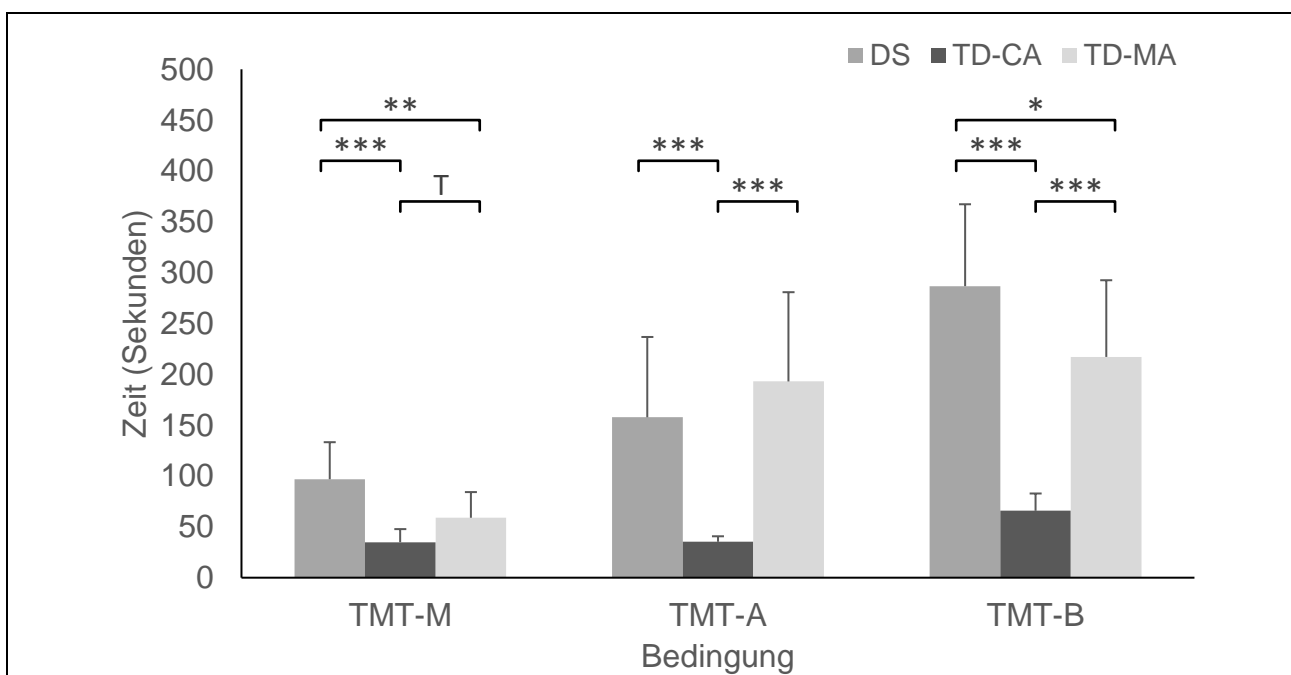


Abb. 32: Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (DS, TD-CA & TD-MA) und Bedingungen des modifizierten TMT (TMT-M, TMT-A & TMT-B) auf Grundlage der Zeiten ($***p < .001$, $**p < .01$, $*p < .05$, $T < .10$).

Besonders in der schwierigen Bedingung des TMT (TMT-B) machten die DS Kinder und die Kontrollgruppe mit gleichem mentalen Alter (TD-MA) ähnlich viele Fehler. Der Interaktionseffekt Bedingung x Gruppe wird signifikant, $F(2, 33) = 17.1$, $p < .003$, $\eta^2_p = .509$. Bezüglich der Fehler im TMT-B gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen der TD-CA Gruppe und den beiden anderen Gruppen (jeweils $p < .05$). Ein signifikanter Unterschied zwischen TD-MA und DS für die Fehler besteht allerdings nicht. Hierbei ist wichtig zu erwähnen, dass 4 Kinder mit DS weniger als 50% Fehler

und in der Vergleichsgruppe mit gleichem mentalem Alter (TD-MA) lediglich 2 Kinder weniger als 50% Fehler machten.

6.2.3.2.2 DAK

In Tabelle 21 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der berechneten DAK für die feinmotorische (TMT) Aufgabe dargestellt.

Tab. 21: Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den feinmotorischen Doppelaufgaben (TMT-A, TMT-B) unterteilt in die drei Gruppen (DS: Down Syndrom; TD-CA: typisch entwickelte Kinder mit angepasstem chronologischen Alter; TD-MA: typisch entwickelte Kinder mit angepasstem mentalem Alter).

	DS (n = 12)	TD-CA (n = 12)	TD-MA (n = 12)	stat. Analyse
TMT DAK				
motor. DAK TMT-A	-89.6 (118) [§]	-10.0 (32.0)	-236 (147) [#]	$F(1,35) = 12.9,$ $p < .001, \eta^2_p = .440$
motor. DAK TMT-B	-239 (148)	-109 (92.4)	-83.9 (111)	$F(2,33) = 5.48,$ $p = .009, \eta^2_p = .249$
kogn. DAK TMT-A	-89.6 (265) [#]	-176 (339) [§]	-249 (98.9)	$F(2,33) = 1.23,$ $p = .303, \eta^2_p = .070$
kogn. DAK TMT-B	-78.5 (78.8)	--36.6 (370)	-46.1 (35.5)	$F(2,33) = .120,$ $p = .887, \eta^2_p = .007$

Anmerkung. # Signifikanter Unterschied zu TD-CA ($p < .05$); § Signifikanter Unterschied zu TD-MA ($p < .05$); DAK = Doppelaufgabenkosten; Dargestellt sind die empirischen Mittelwerte und Standardabweichungen.

Bezüglich der proportionalen DAK wurde eine 3 (Gruppe: DS, TD-CA, TD-MA) x 2 (Bedingung: hohe vs. niedrige kognitive Belastung) x 2 (Interferenz: kognitiv vs. motorisch) ANOVA mit Messwiederholung für die Zeiten im TMT berechnet.

Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Haupteffekt Interferenz, $F(1, 33) = 5.66, p = .023, \eta^2_p = .183$, wobei größere Interferenzen für die motorische Aufgabe bestehen (motorisch: $M = -155, SE = 17.1$; kognitiv: $M = -72, SE = 30.8$) ($p = .023$). Einen tendenziell signifikanten Interaktionseffekt kann für Bedingung x Gruppe, $F(2, 33) = 2.62, p = .088, \eta^2_p = .137$, einen signifikanten Effekt für Interferenz x Gruppe, $F(1, 33) = 3.69, p = .036, \eta^2_p = .183$, und Bedingung x Interferenz, $F(1, 33) = 5.21, p = .029, \eta^2_p = .136$, beobachtet werden. Die Post-hoc Analyse ergab, dass Kinder mit DS höhere Leistungsbeinbußen in der Aufgabe mit hoher kognitiver Belastung (TMT-A: M

= -50.7, $SE = 41.1$; TMT-B: $M = -158$, $SE = 34.4$), TD-CA und TD-MA Kinder demgegenüber größere Leistungseinbußen mit geringer kognitiver Belastung (TMT-A: $M = -93.2$, $SE = 41.1$; TMT-B: $M = -72.8$, $SE = 34.4$, bei TD-CA und TMT-A: $M = -159$, $SE = 41.1$; TMT-B: $M = -147$, $SE = 34.4$, bei TD-MA) haben. Kinder mit DS und TD-MA Kinder zeigen höhere Interferenzen in der motorischen im Vergleich zur kognitiven Aufgabe (motorisch: $M = -164$, $SE = 29.6$; kognitiv: $M = -45.1$, $SE = 53.4$, bei DS und motorisch: $M = -242$, $SE = 29.6$; kognitiv: $M = -65.0$, $SE = 53.4$, bei TD-MA). TD-CA Kinder zeigen umgekehrt höhere kognitive im Vergleich zu motorischen Interferenzen (motorisch: $M = -59.5$, $SE = 29.6$; kognitiv: $M = -106$, $SE = 53.4$). Es zeigen sich deutlich höhere motorische Interferenzen bei hoher kognitiver Belastung ($M = -199$, $SE = 19.3$) im Vergleich zu niedriger kognitiver Belastung ($M = -111$, $SE = 18.4$). Demgegenüber wurden höhere kognitive Interferenzen bei leichter kognitiver Belastung und geringere kognitive Interferenzen bei hoher kognitiver Belastung beobachtet (TMT-A: $M = -90.7$, $SE = 42.8$; TMT-B: $M = -53.7$, $SE = 36.6$).

6.2.3.3 Trail-Walking Test

Die relativen und absoluten Reliabilitätsmaße (ICC , SEM , $MDC95$) werden in Tabelle 22 dargestellt. Die Reliabilität zwischen den Durchgängen war für alle Bedingungen und Gruppen mittel bis exzellent, mit ICC Werten zwischen 0.756 und 0.974. Insgesamt lag der SEM zwischen 0.19-7.72s. Der $SEM\%$ war bei allen Bedingungen und Gruppen gering (0.79-7.02%). In 100% der Beobachtungen wurde ein $SEM\% \leq 10\%$ gefunden. Der SEM schwankte bei TD-CA zwischen 0.19-2.68s und bei TD-MA zwischen 0.72-4.83s. Insgesamt lag der $MDC95$ bezüglich der absoluten Zeiten im TWT zwischen 0.54-18.6s. Die $MDC95\%$ schwankte für die gesamte Stichprobe zwischen 2.18-19.4% und lag damit unterhalb von $\leq 30\%$.

Tab. 22: Ergebnisse der Intra-Klassen-Korrelation (ICC) und der absoluten Inter-Trial-Reliabilität (SEM) für alle drei Bedingungen des TWT.

	DS			TD-CA			TD-MA		
	ICC (95% CI)	SEM/ SEM (%)	MDC95/ MDC95 %	ICC (95% CI)	SEM/ SEM (%)	MDC95/ MDC95 %	ICC (95% CI)	SEM/ SEM (%)	MDC95/ MDC95 %
TWT-M	0.933 (0.82- 0.98)	2.32/ 3.37	6.43/ 9.34	0.953 (0.88- 0.98)	0.19/ 0.79	0.54/ 2.18	0.95 (0.87- 0.98)	0.72/ 1.83	1.99/ 5.07
TWT-A	0.916 (0.78- 0.97)	7.72/ 7.02	21.4/ 19.4	0.861 (0.63- 0.96)	1.03/ 2.81	2.84/ 7.78	0.905 (0.75- 0.97)	4.83/ 5.09	13.4/ 14.1
TWT-B	0.897 (0.73- 0.97)	6.69/ 4.66	18.6/ 12.9	0.756 (0.36- 0.92)	2.68/ 5.25	7.43/ 14.8	0.974 (0.93- 0.99)	3.02/ 2.91	8.36/ 8.15

Anmerkung. Zur Berechnung der Reliabilitätsmaße wurden 3 Durchgänge (Beobachtungszeitpunkte) einbezogen; *CI* = confidence intervall (deutsch: Vertrauensintervall); *SEM* = standard error of measurement (deutsch: Standardmessfehler, Maß für die Genauigkeit von Testergebnissen); *MDC* = minimal detectable change (deutsch: minimalste nachweisbare Veränderung).

6.2.3.3.1 Zeiten

Die Zeiten der drei Bedingungen des TWT und in allen Gruppen sind normalverteilt ($p < .05$). Das Alter ($r = -.523$, $p = .01$) korreliert signifikant mit den Zeiten im TWT-A. Das Geschlecht hat keinen Einfluss auf die Leistung im TWT.

Eine 3 (Bedingung: rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) x 3 (Gruppe: DS, TD-CA, TD-MA) ANOVA mit Messwiederholung der Zeiten für den TWT zeigt signifikante Haupteffekte für Bedingung, $F(1.98, 65.3) = 105$, $p < .001$, $\eta^2_p = .762$, und Gruppe, $F(2, 33) = 22.0$, $p < .001$, $\eta^2_p = .572$. Die Post-hoc Analyse ergab, dass die Zeiten bei allen Kindern im TWT-B ($M = 109$, $SE = 5.88$) signifikant höher ausfallen als im TWT-A ($M = 73.4$, $SE = 5.76$) oder in der rein motorischen (TWT-M) Bedingung ($M = 42.8$, $SE = 3.13$) ($p < .001$). Darüber hinaus führt die ANOVA zu einer signifikanten Interaktion von Bedingung x Gruppe, $F(3.96, 65.3) = 11.8$, $p = .001$, $\eta^2_p = .417$, wobei Kinder mit DS in allen drei Bedingungen langsamer waren als die TD-CA Gruppe ($p < .001$), jedoch im TWT-A nicht langsamer als die TD-MA (DS: $M = 95.2$, $SE = 9.97$; TD-MA: $M = 89.8$, $SE = 9.97$; $p > .05$). Zwischen DS und TD-MA war nur ein Unterschied in der rein motorischen Bedingung zu beobachten ($p < .001$) (siehe Abbildung 33).

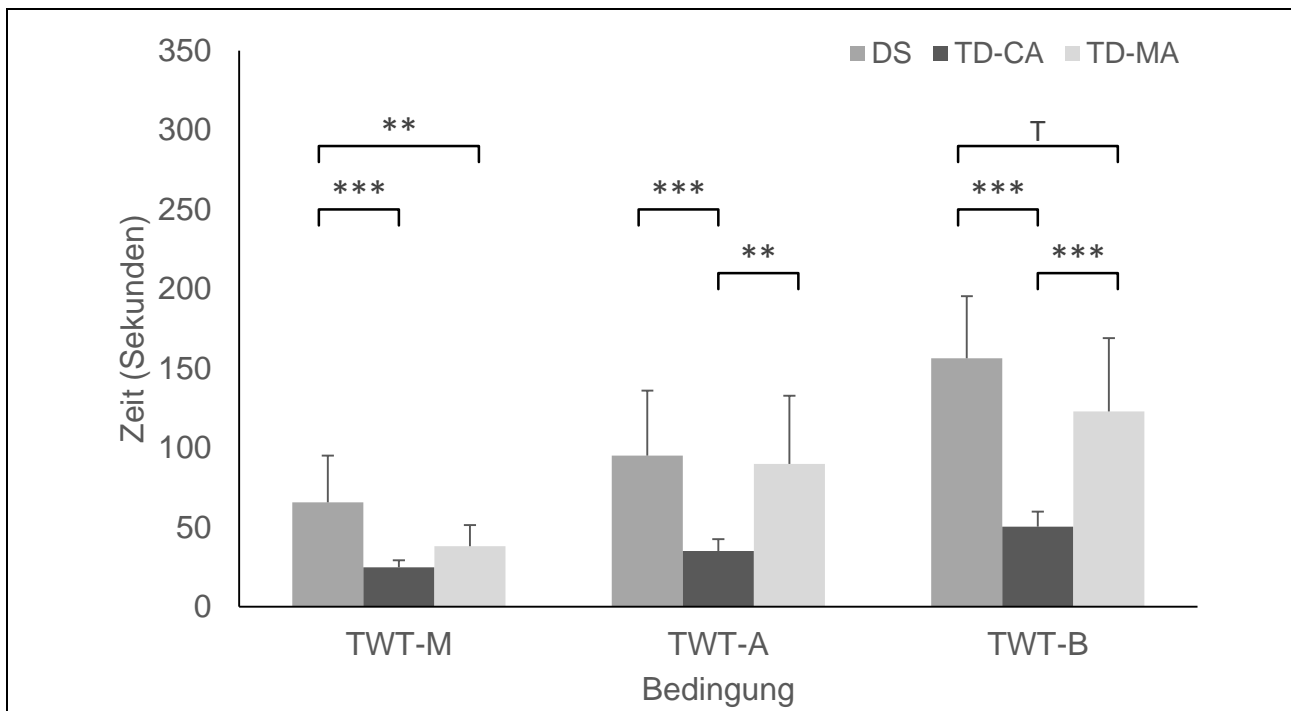


Abb. 33: Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (DS, TD-CA & TD-MA) und Bedingungen des TWT (TWT-M, TWT-A & TWT-B) auf Grundlage der Zeiten (***) $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$, T $< .10$).

Besonders in der schwersten Bedingung des TWT (TWT-B) machten die Kinder mit DS und die Kinder der TD-MA eine Vielzahl an Fehlern (DS: $M = 14.5$, $SD = 5.02$; TD-MA: $M = 16.7$, $SD = 11.4$) und unterschieden sich hierbei beide von der TD-CA Gruppe ($p < .05$). Es ist wichtig zu erwähnen, dass alle Kinder über die 3 Durchgänge hinweg schneller wurden, $F(3.25, 107) = 3.37$, $p = .018$, $\eta^2_p = .093$, sich die Fehlerquote über die 3 Durchgänge hinweg allerdings nicht reduzierte.

6.2.3.3.2 DAK

In Tabelle 23 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der berechneten DAK für die grobmotorische (TWT) Aufgabe dargestellt.

Bezüglich der proportionalen DAK wurde eine 3 (Gruppe: DS, TD-CA, TD-MA) x 2 (Bedingung: hohe vs. niedrige kognitive Belastung) x 2 (Interferenz: kognitiv vs. motorisch) ANOVA mit Messwiederholung der Zeiten im TWT berechnet. Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Haupteffekte. Signifikante Interaktionseffekte können für Bedingung x Gruppe, $F(2, 33) = 4.29$, $p = .022$, $\eta^2_p = .207$, Interferenz x Gruppe, $F(2, 33) = 4.77$, $p = .015$, $\eta^2_p = .224$, Bedingung x Interferenz, $F(2, 33) =$

8.35, $p = .007$, $\eta^2_p = .202$, und für die Dreifachinteraktion Bedingung x Interferenz x Gruppe, $F(2, 33) = 3.48$, $p = .043$, $\eta^2_p = .174$, beobachtet werden.

Tab. 23: Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den grobmotorischen Einzel- und Doppelaufgaben (TWT-A, TWT-B) unterteilt in die drei Gruppen (DS: Down Syndrom; TD-CA: typisch entwickelte Kinder mit angepasstem chronologischen Alter; TD-MA: typisch entwickelte Kinder mit angepasstem mentalen Alter).

	DS (n = 12)	TD-CA (n = 12)	TD-MA (n = 12)	Stat. Analyse
TWT DAK				
motor. DAK TWT-A	-57.3 (73.4) [§]	-42.6 (21.8)	-138 (103) [#]	$F(2,33) = 5.79$, $p = .007$, $\eta^2_p = .260$
motor. DAK TWT-B	-167 (100)	-108 (50.5) [§]	-221 (44.0)	$F(2,33) = 7.81$, $p = .002$, $\eta^2_p = .321$
kogn. DAK TWT-A	44.6 (179)	-490 (888)	-2.87 (83.3)	$F(2,33) = 3.86$, $p = .031$, $\eta^2_p = .189$
kogn. DAK TWT-B	-8.97 (35.6)	-16.4 (305)	12.7 (40.7)	$F(2,33) = .094$, $p = .911$, $\eta^2_p = .006$

Anmerkung. # Signifikanter Unterschied zu TD-CA ($p < .05$); § Signifikanter Unterschied zu TD-MA ($p < .05$); DAK = Doppelaufgabenkosten; Dargestellt sind die empirischen Mittelwerte und Standardabweichungen.

Die Post-hoc Analyse ergab, dass Kinder mit DS und TD-MA Kinder bei Aufgaben mit erhöhter kognitiver Belastung im Vergleich zur Aufgabe mit niedriger kognitiver Belastung insgesamt größere Leistungseinbußen haben (TWT-A: $M = -6.34$, $SE = 76.0$; TWT-B: $M = -79.5$, $SE = 29.2$, bei DS und TWT-A: $M = -67.8$, $SE = 76.0$, TWT-B: $M = -104$, $SE = 29.2$, bei TD-MA). TD-CA Kinder haben hingegen bei Aufgaben mit leichter kognitiver Belastung größere Leistungseinbußen (TWT-A: $M = -266$, $SE = 76$; TWT-B: $M = -62.6$, $SE = 29.2$). Sowohl Kinder mit DS als auch TD-MA Kinder haben erhöhte Leistungseinbußen in der motorischen Aufgabe im Vergleich zur kognitiven Aufgabe (motorisch: $M = -122$, $SE = 18.2$; kognitiv: $M = 26.8$, $SE = 88.3$, bei DS und motorisch: $M = -179$, $SE = 18.3$; kognitiv: $M = 7.78$, $SE = 88.3$, bei TD-MA). Demgegenüber zeigen TD-CA Kinder erhöhte Leistungseinbußen in der kognitiven Aufgabe (motorisch: $M = -75.7$, $SE = 18.2$; kognitiv: $M = -253$, $SE = 88.3$). Bei geringer kognitiver Belastung sind größere kognitive ($M = -147$, $SE = 87.6$) im Vergleich zu motorischen ($M = -79.2$, $SE = 12.4$) Leistungseinbußen zu beobachten. Bei hoher kognitiver Belastung sind demgegenüber größere motorische ($M = -166$, $SE = 11.6$) im Vergleich zu kognitiven ($M = 1.77$, $SE = 29.8$) Leistungseinbußen zu erkennen.

Es zeigen sich deutlich höhere kognitive Interferenzen bei leichter kognitiver Belastung ($M = -79.4$, $SE = 12.4$) im Vergleich zu hoher kognitiver Belastung ($M = -239$, $SE = 22.8$). Demgegenüber wurden höhere kognitive Interferenzen bei leichter kognitiver Belastung und geringere kognitive Interferenzen bei hoher kognitiver Belastung beobachtet (TMT-A: $M = -161$, $SE = 65.2$; TMT-B: $M = -52.7$, $SE = 29.2$). Die Dreifachinteraktion Bedingung x Interferenz x Gruppe zeigt, dass alle Kinder unter Doppelaufgabenbedingung sowohl mit geringer (TWT-A) als auch mit hoher (TWT-B) kognitiver Belastung größere motorische Interferenzen haben. Ausschließlich TD-CA Kinder zeigen bei einfacher kognitiver Belastung im TWT-A im Vergleich zur motorischen Aufgabe deutlich größere Einbußen in der kognitiven Aufgabe (motorisch: $M = -42.6$, $SE = 21.5$; kognitiv: $M = -490$, $SE = 151$).

6.2.3.3 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen

Die Abbildung 34 zeigt die Verteilung der motorischen und kognitiven Interferenzen im TWT-A bei Kindern mit DS und Kindern mit gleichem chronologischen (TD-CA) und gleichem mentalen Alter (TD-MA).

TD-CA Kinder zeigen großteils wechselseitige Interferenzen mit deutlich höheren kognitiven im Vergleich zu motorischen Interferenzen. Demgegenüber zeigen TD-MA Kinder erhöhte kognitiv-bedingte motorische Interferenzen und kaum motorisch-bedingte kognitive Interferenzen. Bei Kindern mit DS werden hingegen nur geringe Doppelaufgabeninterferenzen beobachtet.

In der Bedingung mit hoher kognitiver Zusatzbelastung (TWT-B, Abbildung 35) fallen die kognitiven Interferenzen gruppenübergreifend geringer aus als im TWT-A. Insbesondere bei Kindern mit DS und TD-MA Kindern kann eine Aufgabenpriorisierung mit Verbesserungen in der kognitiven Aufgabe beobachtet werden. Die motorischen Interferenzen fallen bei TD-MA Kindern im Vergleich zu DS und TD-CA Kindern höher aus. Bei DS Kindern ist die Streubreite der motorischen Interferenzen und bei TD-CA ist die Streubreite der kognitiven Interferenzen höher.

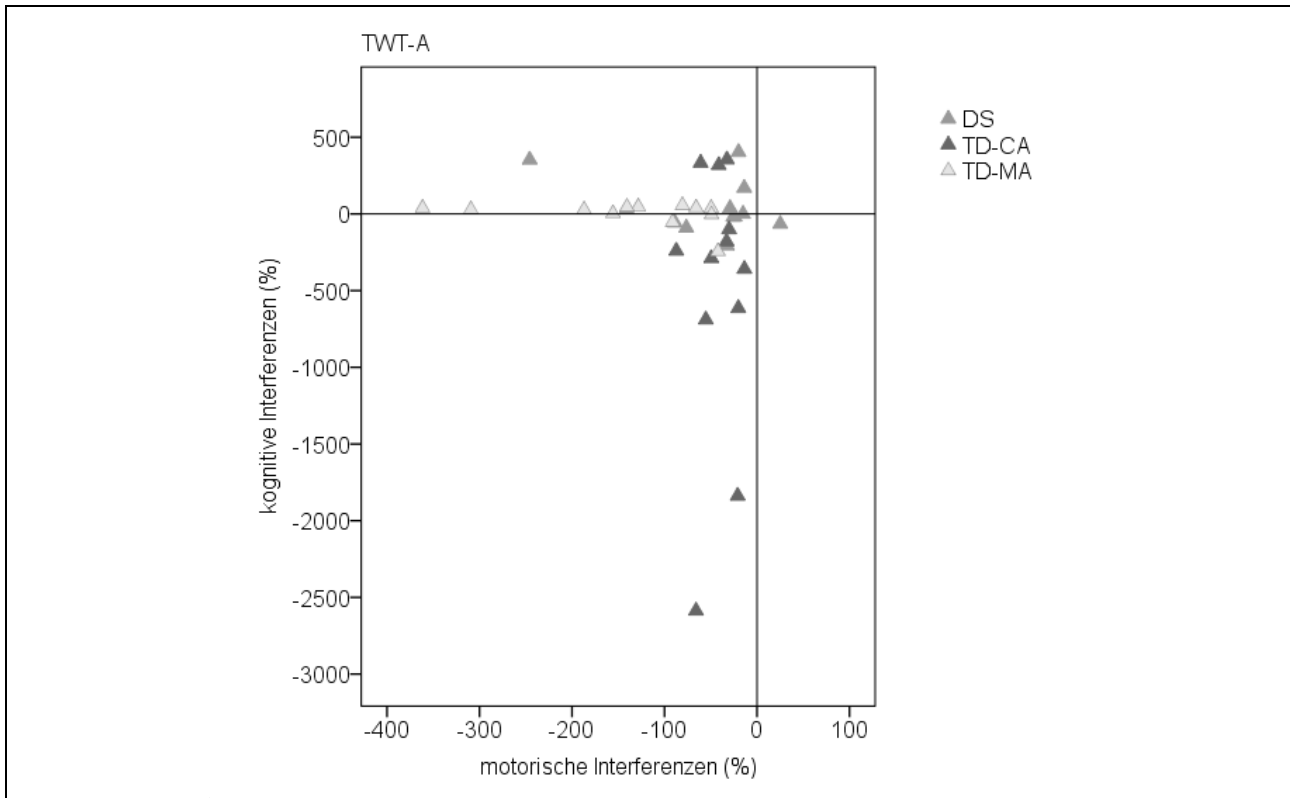


Abb. 34: Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-A auf Grundlage der Zeiten bei Kindern mit DS, TD-MA und TD-CA Kindern.

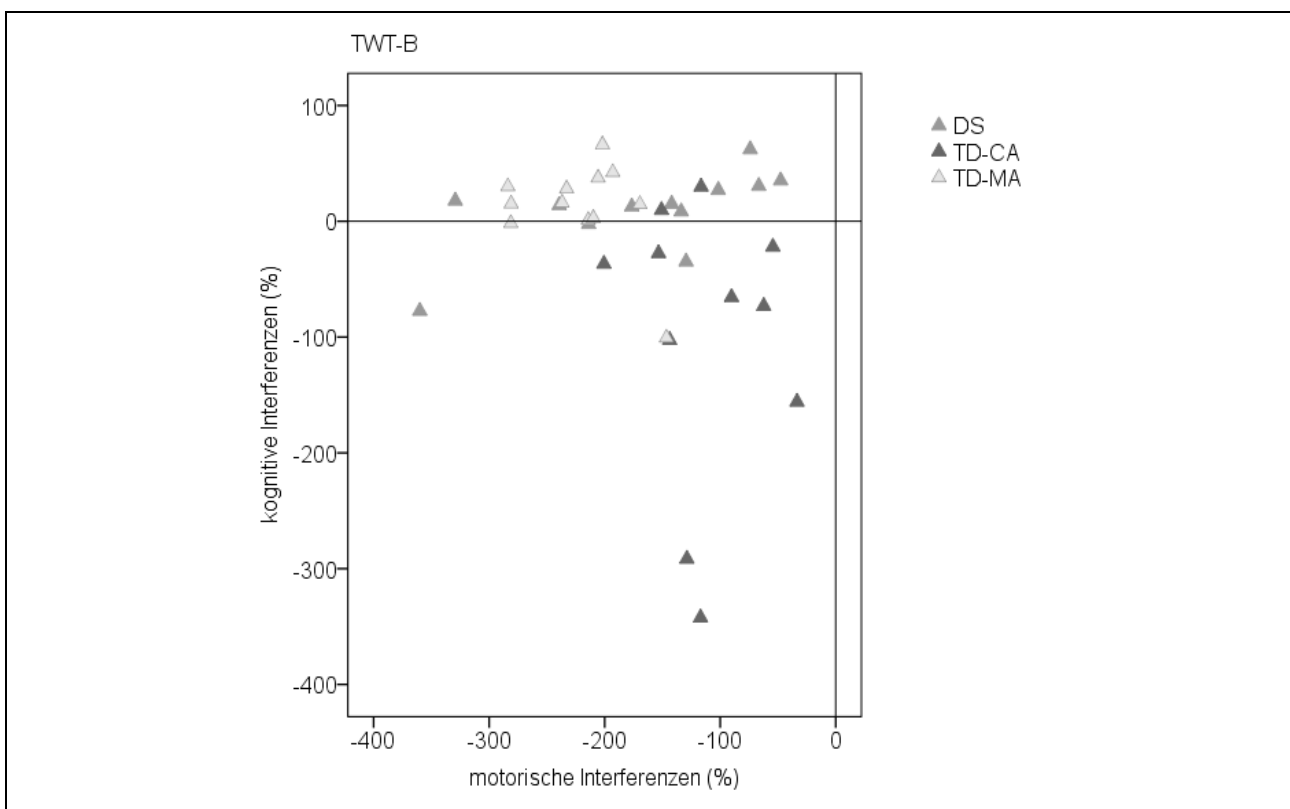


Abb. 35: Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-B auf Grundlage der Zeiten bei Kindern mit DS, TD-MA und TD-CA Kindern.

6.2.4 Diskussion

Im Rahmen dieser Studie wurde der Einfluss verschiedener motorischer und kognitiver Aufgaben auf die motorisch-kognitiven Interferenzen bei Kindern mit DS untersucht. Alle Kinder der Studie waren erwartungsgemäß langsamer unter Doppelaufgabenbedingung (Hollman, Kovash, Kubik, & Limbo, 2006; Plummer-D'Amato et al., 2008). Je größer die kognitive Belastung, desto größer der Einfluss auf die Bearbeitungsdauer des TMT bzw. TWT.

Die Zeiten im TMT und TWT waren bei TD-CA Kindern im Vergleich zu DS und TD-MA in allen drei Bedingungen geringer. Insbesondere bei Kindern mit DS können in allen Bedingungen höhere Zeiten in der manuellen Spurverfolgungsaufgabe (TMT) und im TWT beobachtet werden. Größere Unterschiede in den Zeiten im TMT und TWT zwischen DS und TD-MA lassen sich insbesondere bei rein motorischer Spurverfolgungsaufgabe beobachten.

6.2.4.1 Einfluss verschiedener motorischer Aufgaben auf die motorisch-kognitiven Interferenzen

Der Unterschied zwischen Kindern mit und ohne DS in den Zeiten beim Gehen im TWT (TWT-M) steht im Einklang mit den Untersuchungen von Hocking et al. (2014) und Horvat et al. (2013), welche Unterschiede in den Gehzeiten mit selbstgewählter Geschwindigkeit zwischen Personen mit DS und Personen ohne geistige Behinderung und gleichem chronologischem Alter haben zeigen können. Connolly und Michael (1986), Hasan, Abdullah und Suun (2012) sowie Schott und Holfelder (2015) berichten ebenfalls von signifikant geringeren Leistungen bei grobmotorischen Aufgaben (u.a. Laufgeschwindigkeit und Gleichgewichtsaufgaben) bei Kindern mit DS. Auch Malak, Kostiurow, Krawczyk-Wasielewska, Mojs und Samborski (2015) berichten von signifikanten Entwicklungsverzögerungen in großmotorischen Fertigkeiten (Stehen und Gehen operationalisiert durch den GMFM-88; Gross Motor Function Measure-88). Nach den Autoren ist das Gehen eine motorische Fertigkeit, die sich bei DS Kindern später entwickelt als bei typisch entwickelten Kindern. Laut Melyn und White (1973) sowie Palisano et al. (2001) entwickelt sich das Gehen mit dem 3.

Lebensjahr. Demgegenüber entwickelt sich das Gehen bei typisch entwickelten Kindern bereits während des ersten Lebensjahres (ebd.). Kinder mit DS beginnen im Durchschnitt etwa 1 Jahr später zu laufen als TD Kinder (Ulrich, Ulrich, Angulo-Kinzler, & Yun, 2001). Ein möglicher Grund für die Verzögerung bei der Entwicklung des Gehens ist die inhärente Gelenklaxität und eine Muskelhypotonie bei Personen mit DS (Kubo & Ulrich, 2006). Der niedrige Muskeltonus, der bei DS-Kindern beobachtet werden kann, kann zu Verzögerungen in der Entwicklung des Körpergleichgewichts führen, was die Fähigkeit zu Gehen vermutlich hinauszögert (Malak et al., 2015).

Ein interessanter Befund in der hier vorliegenden Studie ist, dass Kinder mit DS langsamer laufen und sich in den Gehzeiten von TD-MA unterscheiden. Somit kann nicht ausschließlich von einer Entwicklungsverzögerung beim Gehen ausgegangen werden. Dieser Befund kann vielmehr als Evidenz gegen die Entwicklungsverzögerungshypothese (Zigler, 1969) gesehen werden. Nach diesem Ansatz durchlaufen Kinder mit DS und TD Kinder identische Phasen der Entwicklung („Similar Sequence“-Hypothese; Zigler & Balla, 1982, 2013; Weisz, Yeates & Ziegler, 1981). Allerdings werden die einzelnen Entwicklungsphasen langsamer durchlaufen und die Leistungsgrenzen früher erreicht. TD-MA Kinder sollten sich demnach in ihrer Leistungsfähigkeit nicht von Kindern mit DS unterscheiden. DS Kinder, die eine Entwicklungsverzögerung aufweisen, können demnach in der kognitiven und motorischen Entwicklung mit jüngeren Kindern, die sich auf derselben Phase der kognitiven Entwicklung befinden (TD-MA), verglichen werden. Operationalisiert wird dieser Vergleich weitestgehend durch das „Mental Age“-Paradigma, wie es in der vorliegenden Studie zum Einsatz kommt.

Die Strukturdifferenzhypothese (Weisz & Yeates, 1981; Zigler & Bella, 2013) besagt demgegenüber, dass die Entwicklung der Kinder mit DS nicht an allgemeinen Entwicklungstrends der TD Kinder gemessen werden kann. Entsprechend ist neben einer langsameren Entwicklung und einem niedrigeren Entwicklungsniveau zusätzlich eine andere kognitive Struktur zu beobachten. Mental retardierte Kinder (hier DS) unterscheiden sich dieser Hypothese zufolge in den kognitiven und motorischen

Leistungen von chronologisch (CA) und mental gleichaltrigen (MA) TD Kindern.⁴⁰ Der Strukturbegriff in der Strukturdifferenzhypothese bleibt jedoch unklar. Wenn man die kognitive Struktur als Prozess der Informationsverarbeitung versteht, ist dieser bei Personen mit DS untrennbar mit neurologischen Dysfunktionen verschiedener kortikaler Regionen verbunden. So zeigen Kinder mit DS eine verminderte funktionale Integrität des Kleinhirns (Cratty, 1994), eine reduzierte Anzahl an neuronalen Verbindungen in den Basalganglien sowie im motorischen Kortex (ebd.). Im Verhältnis zur Hirngröße haben Erwachsene mit DS ein verkleinertes Frontal-, Temporal- und Kleinhirn (Wisniewski, 1990). Da diese Gehirnareale eine entscheidende Rolle bei der motorischen Kontrolle einnehmen, sind Einschränkungen auch im motorischen Verhalten zu erwarten. Das Gehen als grobmotorische Fertigkeit wird im Allgemeinen (wenn die Fertigkeit automatisiert abläuft) durch spezialisierte Schaltkreise im zentralen Nervensystem (hauptsächlich Rückenmark, Hirnstamm und Kleinhirn) ermöglicht (Clark, 2015). Somit spielt das Kleinhirn bei der Entwicklung des Gleichgewichts, der Koordination der unteren Extremitäten während Fortbewegungsaufgaben (Morton & Bastian, 2003) sowie bei motorischen Lernprozessen (Šveljo, Čulić, Koprivšek, & Lučić, 2014) eine entscheidende Rolle. Bei komplexen nicht automatisierten Fortbewegungsaufgaben (wie beim TWT-M mit Richtungsänderungen) ist außerdem der präfrontale Kortex und die damit assoziierten EF (Alvarez & Emory, 2006) von entscheidender Bedeutung (Yogev-Seligmann, Hausdorff, & Giladi, 2008). Auch in der feinmotorischen Aufgabe ohne zusätzliche kognitive Aufgabe (TMT-M) konnte in der hier vorliegenden Studie gezeigt werden, dass Kinder mit DS im Vergleich zu TD-CA und TD-MA schlechter abschneiden und mehr Zeit für die Bearbeitung benötigen (reduzierte Bearbeitungsgeschwindigkeit im TMT). Dies steht im Einklang zu den Ergebnissen von Shea (1987) sowie Connelly und Michael (1986), die signifikant geringere Leistungen in der motorischen Kontrolle verschiedener feinmotorischer Fertigkeiten bei Kindern und Erwachsenen mit DS berichten konnten. Auffallend sind dabei die reduzierte Geschwindigkeit der Bewegungsausführung und die

⁴⁰ Insgesamt bleibt festzuhalten, dass sich die Differenz-Entwicklungstheorie-Kontroverse auf die Analyse der kognitiven Entwicklungsbereiche beschränkt hat. Eine Erweiterung auf andere Entwicklungsfelder – speziell den Bereich der motorischen Entwicklung – scheint weitestgehend vernachlässigt worden zu sein.

reduzierte Präzision bei einer Vielzahl von Fertigkeiten (siehe Zeiten im TMT-M). Auch Spano und Kollegen (1999) konnten zeigen, dass verschiedene Aspekte der feinmotorischen Leistung bei Kindern mit DS reduziert sind. Fein- und grobmotorische Fertigkeiten greifen auf unterschiedliche, entwicklungsabhängige neuronale Strukturen zurück (Flatters et al., 2014). Die Kontrolle von feinmotorischen Fertigkeiten beinhaltet neuronale Regelkreise, deren wesentliche Bestandteile das Striatum (ein Teil der Basalganglien) und das Frontalhirn sind (Striatofrontaler Schaltkreis). Personen mit DS zeigen eine reduzierte Anzahl neuronaler Verbindungen in den Basalganglien (Pinter et al., 2001), was eine Einschränkung in den Leistungen bei feinmotorischen Aufgaben erklären kann. Da sich Kinder mit DS und TD-MA Kinder im TMT-M voneinander unterscheiden, kann dies – ähnlich zu der Entwicklung grobmotorischer Fertigkeiten – als Beleg gegen den Entwicklungsverzögerungsansatz und in Richtung der Strukturdifferenzhypothese motorischer Funktionen interpretiert werden.

Bezüglich der proportionalen DAK sind in der feinmotorischen Aufgabe (TMT) bei Kindern mit DS erhöhte motorische im Vergleich zu kognitiven Interferenzen und bei TD-MA Kindern vergleichbare motorische und kognitive Interferenzen zu beobachten. DS Kinder haben entsprechend unter feinmotorischer Doppelaufgabenbedingung größere Schwierigkeiten mit der motorischen Aufgabe. Dabei fällt die Streubreite der kognitiven Interferenzen bei Kindern mit DS viel größer aus als bei TD-MA (kogn. DAK TMT-A: $M = -89$, $SE = 265$; kogn. DAK TMT-B: $M = -78.5$, $SE = 78.8$, bei DS und kogn. DAK TMT-A: $M = -249$, $SE = 98.9$; kogn. DAK TMT-B: $M = -46.1$, $SE = 35.5$, bei TD-MA). Dieser Befund steht im Einklang zu Patterson, Rapsey und Glue (2013), die große interindividuelle Unterschiede in den kognitiven Einschränkungen bei Personen mit DS haben zeigen können. Ähnlich zu der feinmotorischen Aufgabe kann auch beim Gehen ein Unterschied zwischen DS und TD-MA in den motorischen Interferenzen beobachtet werden, wobei erneut TD-MA größere motorische Leistungseinbußen zeigen. Die Unterlegenheit von DS Kindern gegenüber TD-MA Kindern in den Doppelaufgaben (TMT-A & B; TWT-A & B) steht im Einklang mit der konventionellen Differenzposition nach Milgram (1969, 1973). Kinder mit DS unterscheiden sich demnach in der Abfolge kognitiver Entwicklung, die aufgrund von

früheren Entwicklungsstufen entstanden sind. Wenn die Kinder mit DS den TD-MA Kindern aufgrund ihres chronologischen Altersfortschritts und ihres damit verbundenen größeren Erfahrungsschatzes (Zeichnen mit einem Stift und Gehen als Fortbewegungsaufgabe) überlegen sind, wird dagegen von einer unkonventionellen Differenzposition gesprochen (Kohlberg, 1968; siehe auch Schlegel, 2006). Kinder mit DS (Alter: $M = 10.5$, $SD = 1.08$) haben trotz ihrer bereits angesprochenen motorischen Schwierigkeiten entsprechend mehr Erfahrung im motorischen Bereich als TD-MA (Alter: $M = 5.98$, $SD = 1.21$) Kinder. Dies wird bei den motorischen Leistungseinbußen im TMT und TWT beobachtet, wobei nur bei TMT-A und TWT-A ein signifikanter Unterschied zwischen DS und TD-MA, mit höheren Leistungseinbußen für TD-MA, zu finden ist.

6.2.4.2 Einfluss verschiedener kognitiver Aufgaben auf die motorisch-kognitiven Interferenzen

Eine zusätzliche kognitive Aufgabe hat somit sowohl bei fein- als auch bei grobmotorischer Aufgabe einen Einfluss auf die Bearbeitungszeit. Die Zeiten im TMT-A und TWT-A sind im Vergleich zum TMT-B und TWT-B deutlich geringer. Die Ergebnisse zeigen, dass die Aufgabe Zahlen in aufsteigender Reihenfolge zu verbinden weniger anspruchsvoll und kognitiv herausfordernd ist, als Zahlen und Buchstaben alternierend und in aufsteigender Reihenfolge zu verbinden. Gruppenunterschiede bezogen auf die Zeiten können erwartungsgemäß zwischen TD-CA und TD-MA sowie zwischen TD-CA und DS beobachtet werden. Demgegenüber zeigen sich nur marginale Unterschiede zwischen DS und TD-MA sowohl unter geringer (TMT-A bzw. TWT-A) als auch unter hoher kognitiver Belastung (TMT-B bzw. TWT-B).

In Hinblick auf die DAK lassen sich in beiden Doppelaufgaben (TMT und TWT) höhere motorische Interferenzen in der Bedingung mit Zahlen und Buchstaben (TMT-B und TWT-B) beobachten. Demgegenüber sind in der Bedingung mit geringer kognitiver Belastung (TMT-A und TWT-A) insgesamt geringere motorische Interferenzen zu beobachten. Gruppenübergreifend kann festgestellt werden, dass mit Zunahme

der kognitiven Belastung, der Einfluss auf die motorische Leistung zunimmt. Gruppenunterschiede in den motorischen Interferenzen lassen sich zwischen TD-CA und TD-MA sowie zwischen DS und TD-MA beobachten. Insbesondere junge Kinder (TD-MA) scheinen demnach Probleme mit der motorischen Aufgabe unter Doppelaufgabenbedingung zu haben. Dieser Befund steht im Einklang mit der unkonventionellen Differenzposition (Kohlberg, 1968) wonach TD-CA und DS Kinder im Vergleich zu jüngeren TD-MA Kindern altersbedingt mehr Erfahrungen im motorischen Bereich aufweisen und entsprechend bessere Leistungen zeigen. Kognitive Interferenzen sind insbesondere bei feinmotorischen Aufgaben erhöht. Hier zeigen Kinder mit DS hohe Leistungseinbußen und eine enorme Streubreite. Bei der feinmotorischen Aufgabe handelt es sich um eine relativ einfache motorische Spurverfolgungsaufgabe. Die kognitiven Zusatzaufgaben (Zahlen bzw. Zahlen und Buchstaben verbinden) können als deutlich anspruchsvoller interpretiert werden. TD-CA Kinder weisen der einfachen motorischen Aufgabe (manuelle Spurverfolgung) bei einfacher kognitiver Belastung mehr Aufmerksamkeitsressourcen zu als den relativ komplexen kognitiven Aufgaben (kogn. DAK TMT-A & B > motor. DAK TMT-A & B). Eine Zunahme der kognitiven Belastung führt bei TD-CA zu einer Verschiebung der Ressourcen in Richtung kognitiver Aufgabe. Die flexible Ressourcenallokation gelingt Kindern mit DS und TD-MA Kinder weniger gut, weshalb vergleichbare Interferenzen in der motorischen und kognitiven Aufgabe beobachtet werden können. Dies steht im Einklang zu den Untersuchungen von Merril und Peacock (1994), die bei mental retardierten jungen Erwachsene eine gleiche Verteilung der Aufmerksamkeitsressourcen in Richtung einfacher und komplexer Aufgabe zeigen konnten. Kittler et al. (2008) berichten von einer Ressourcenallokation in Richtung komplexer visuell-räumlicher Arbeitsgedächtnisaufgabe.

In der grobmotorischen Aufgabe hingegen waren die kognitiven Interferenzen in den drei Gruppen hoch variabel und zeigen kein deutliches Muster bezüglich einer Priorisierung. Deutlich wird allerdings, dass sich mit Zunahme der kognitiven Belastung die motorischen Interferenzen in allen Gruppen erhöhen. Die visuelle Suche zur seriellen Verbindung von Zahlen oder Zahlen und Buchstaben während des Gehens scheint für Kinder mit DS und TD-MA anspruchsvoll zu sein (siehe Zeiten im TWT).

Der Einfluss von visueller Information auf die posturale Stabilität wurde unter anderem in einer Studie von Butterworth und Cicchetti (1978) unter Verwendung eines „Moving Room“-Paradigmas untersucht. In einigen Fällen konnte ein vollständiger Verlust des Gleichgewichts beobachtet werden. Kinder mit DS zeigen unter diesen Bedingungen einen viel größeren Anstieg der Körperschwankungen, was darauf hindeutet, dass das posturale Kontrollsystem mehr auf visuellen Input angewiesen ist (ebd.). Mit dem Alter ist das Gleichgewicht und die posturale Stabilität weniger auf visuelles Feedback und mehr auf das propriozeptive und vestibuläre System angewiesen. Es wird angenommen, dass diese Verschiebung im Alter von 6 bis 7 Jahren bei typisch entwickelten Kindern auftritt (Shumway-Cook & Woolacott, 1985). Eine weitere, bereits vor 18 Jahren durchgeführte Studie mit dem „Moving Room“-Paradigma bei Kindern mit DS im Alter von 10 Jahren konnte allerdings zeigen, dass vermehrte posturale Reaktionen und eine erhöhte Körperschwankung fortbestehen (Wade, Van Emmerik, & Kernozek, 2000). Dies verdeutlicht, dass der Bedarf an visuellem Input zur Gleichgewichtskontrolle – bei der in dieser Studie untersuchten Stichprobe beeinträchtigter Kinder (DS) – bestehen bleibt und die Fortbewegungsaufgabe nicht durch automatisierte Prozesse realisiert wird.

6.2.4.3 Allgemeine Diskussion

Die Ergebnisse der Untersuchung bestätigen die Annahme eines engen Zusammenhangs zwischen motorischen und kognitiven Leistungen. In allen Gruppen können Leistungseinbußen (Zunahme der Zeiten) unter Doppelaufgabenbedingung, unabhängig davon ob es sich um eine fein(TMT)- oder großmotorische(TWT) Aufgabe handelt, beobachtet werden. Folglich sind Personen mit DS nicht nur in den motorischen Fähigkeiten beeinträchtigt, sondern auch in kognitiven Funktionen höherer Ordnung (EF) (Diamond, 2000; Hartman, Houwen, Scherder, & Visscher, 2010; Ridler et al., 2006; Wassenberg et al., 2005).

Zielgerichtete Bewegungen erfordern eine Interaktion von präfrontalem Kortex und Kleinhirn (Stoodley, Valera, & Schmahmann, 2012; Tirapu-Ustarooz, Luna-Lario,

Inglesias-Fernandez, & Hernaez- Goni, 2011), insbesondere unter Doppelaufgabenbedingung. Rothbart und Posner (2015) verdeutlichen, dass die Fähigkeit mehrere Aufgaben parallel durchzuführen in erster Linie von einem exekutiven Aufmerksamkeitsnetzwerk (exekutives Aufmerksamkeitsnetzwerk; engl.: Executive Attention Network; Posner & Petersen, 1990; Petersen & Posner, 2012) abhängt. Motorische Kontrolle und EF werden demnach durch gemeinsame grundlegende Prozesse gesteuert (Livesey, Keen, Rouse, & White, 2006; Roberts & Kauer, 2009; Wassenberg et al., 2005). Insbesondere die Inhibition irrelevanter Informationen, das Aufrechterhalten handlungsleitender Zielvorgaben – wenn Interferenzen durch konkurrierende Stimuli (Zahlen und Buchstaben) droht – und das beständige Ausrichten des Aufmerksamkeitsfokus (Wechsel zwischen Zahlen und Buchstaben; kognitive Flexibilität) sind Prozesse, die bei der Bearbeitung der Aufgaben (TMT und TWT) erforderlich erscheinen (Schott, 2015).

Da sich – in der hier vorliegenden Studie – Kinder mit DS und TD-MA in ihren kognitiven Interferenzen weder in der feinmotorischen noch in der grobmotorischen Aufgabe unter Doppelaufgabenbedingung signifikant unterscheiden, kann von einer allgemeinen Verzögerung (im Sinne der Entwicklungsverzögerungshypothese; Zigler, 1969) der kognitiven Fähigkeiten ausgegangen werden. Den Blick gerichtet auf die motorische Domäne verdeutlicht sowohl bei fein- als auch bei grobmotorischen Aufgaben bessere Leistungen von DS Kindern im Vergleich zu TD-MA Kindern unter Doppelaufgabenbedingung. Diese Befunde sprechen eher zugunsten der unkonventionellen Differenzposition (Kohlberg, 1968). In den rein motorischen Bedingungen ohne zusätzliche kognitive Belastung (TMT-M & TWT-M) kann eine bessere Leistung von Kindern mit DS im Vergleich zu TD-MA allerdings nicht beobachtet werden. Unter Berücksichtigung weiterer Faktoren wie der Körpergröße, welche statistisch nicht kontrolliert wurde, deuten die Unterschiede in den motorischen Interferenzen auf die unkonventionelle Differenzhypothese, wonach Kinder mit DS im Vergleich zu TD-MA aufgrund ihres chronologischen Altersfortschritts und größeren Erfahrungsschatz (Zeichnen und Gehen) überlegen sind (unkonventionelle Differenzposition; Dissimilar Sequence“-Hypothese; Kohlberg, 1968).

6.2.5 Limitationen der Studie

Eine zentrale Einschränkung betrifft die relativ geringe Anzahl an Teilnehmern innerhalb der Gruppen ($n=12$). Aufgrund der Faktorstufenkombinationen eines $3 \times 2 \times 2$ Designs wird eine Abweichung der Normalverteilungsannahme mit Zunahme der Faktorstufen wahrscheinlicher. Eine a-priori Fallzahlplanung wurde nicht durchgeführt.

Kinder mit DS zeigen im Allgemeinen große Aufmerksamkeitsdefizite (vgl. Feeley & Jones, 2006; sowie Costanzo et al., 2013), weshalb die Datenerhebung an zwei verschiedenen (aufeinanderfolgenden) Tagen durchgeführt werden musste.

Die Zeiten als Maß zu Quantifizierung der motorischen und kognitiven Leistung werden in Studien mit Doppelaufgabenparadigma häufig herangezogen. Allerdings scheinen räumlich-zeitliche Muster beim Gehen die motorischen Unterschiede bei jungen Erwachsenen mit DS und typisch entwickelten jungen Erwachsenen (vgl. Horvat et al., 2013; Hocking et al., 2014, bei jungen Erwachsenen mit DS) sensitiver aufzeigen zu können.

6.2.6 Schlussfolgerung und Ausblick

Rauh (2002) ist der Auffassung, dass die Entwicklung der motorischen und kognitiven Domäne zueinander schlecht abgestimmt sind und wenig integriert verlaufen, was ihrer Meinung nach zu einer allgemeinen Entwicklungsverzögerung kognitiver Fähigkeiten bei Kindern mit DS beiträgt. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Annahme einer Entwicklungsverzögerung insbesondere für den kognitiven Bereich bestätigt werden kann. Im Wesentlichen konnte gezeigt werden, dass Kinder mit DS und TD-MA sich in der kognitiven Leistung unter Doppelaufgaben nicht unterscheiden. Diese Beobachtung lässt somit einen gleichen, allerdings verzögerten Entwicklungsverlauf vermuten (Zigler, 1969).

Die kognitive Entwicklung und die Entwicklung der Motorik stehen in einem engen Zusammenhang und beeinflussen sich gegenseitig, verlaufen allerdings nicht parallel. Ein Fortschritt auf dem einen Gebiet beeinflusst die Fortschritte in dem anderen Bereich in dynamischer Hinsicht.

„[...] because gait maturation could be an ongoing process that is the outcome of the walking experience itself, it is going to be inherently vulnerable to delayed maturation of anthropomorphic structures, sensory disorders and/or delayed cognitive development, many of which are seen in children with neurodevelopmental disorders.” (Kraan, Tan, & Cornish, 2017, S.214).

Kinder mit DS haben diesbezüglich Probleme bei der sensorischen Integration unterschiedlicher Sinnesinformationen und -systeme (Carvalho & Vasconcelos, 2011), was die Schwierigkeiten in den Doppelaufgaben und die Ergebnisse der vorliegenden Studie zusätzlich erklären kann. Insbesondere die Unterschiede zwischen DS und TD-MA in den Zeiten der rein motorischen Aufgabe und in den prozentualen motorischen DAK sind starke Argumente, um bei Kindern mit DS nicht von einer verzögerten motorischen Entwicklung zu sprechen, sondern von einer „anderen“ motorischen Entwicklung.

In zukünftigen Untersuchungen kann längsschnittlich geprüft werden, inwiefern sich die Leistungen in der motorischen und kognitiven Aufgabe unter Doppelaufgabenbedingung bei Kindern mit DS entwickelt und, ob Interventionen mit dem Doppelaufgabenparadigma zu Verbesserungen des Zusammenspiels der sensorischen Sinnesinformationen (im Sinne der Sensorischen Integration; Ayres & Robbins, 2005) führen können. Darüber hinaus sollten zukünftige Studien Maße umfassen, die Parameter wie Schrittzeiten, Schrittlänge, Doppelstützphase, Kopf- und Körperbewegungen in Doppelaufgabenbedingung mit Fortbewegungsaufgaben bei Kindern mit DS quantifizieren.

6.3 Idiopathisches Parkinson-Syndrom

6.3.1 Stichprobe

Insgesamt nahmen 20 gesunde ältere Erwachsene (13 Frauen; $M = 72.4$, $SD = 5.53$, Altersbereich: 62-82) und 45 ältere Erwachsene mit PD freiwillig an der Studie teil. Dabei wurden auf Grundlage der UPDRS Scores (Unified Parkinson Disease Rating Scale - Teil 2 & 3; siehe Tabelle 24; MDS; Goetz et al., 2007) zwei motorische Phänotypen von PD-Patienten unterschieden: Der Tremor-dominante (TD; engl.: Tremor-Dominant, $n = 16$; 5 Frauen; $M = 68.2$, $SD = 8.94$, Altersbereich: 54-83) sowie

der Postural-instabile (PIGD; engl.: Postural Instability/Gait Difficulty, $n = 27$; 4 Frauen; $M = 69.7$, $SD = 8.68$, Altersbereich: 52-90) Motorsubtyp (Klassifikation nach Jankovic et al., 1990; siehe Tabelle 24). Bei zwei Versuchspersonen konnte keine eindeutige Zuordnung in die Phänotypen vorgenommen werden, weshalb diese bei der Analyse nicht berücksichtigt wurden. Die Teilnehmer wurden schriftlich oder mündlich (per Telefonakquise) in das Sun Life Financial Forschungs- und Rehabilitationszentrum für Bewegungsstörungen (MDRC) der Wilfried Laurier University in Waterloo, Ontario eingeladen.

Die Probanden mit PD wurden gebeten, ihre Medikamenteneinnahme vor dem Besuch in der Klinik um 12 Stunden zu verschieben, um ohne Medikation an der Studie teilzunehmen („Off-Zustand“). Bei der Rekrutierung der Probanden wurden folgende Einschlusskriterien angewendet: Teilnehmer berichten normales Sehen und Hören ohne Seh- bzw. Hörfehler (korrigierte Seh- bzw. Hörfehler wurden ebenfalls eingeschlossen), selbstständige Gehfähigkeit und die Fähigkeit den Instruktionen des Testleiters zu folgen. Teilnehmer mit orthopädischen Beschwerden wurden ausgeschlossen, da diese den Gang und das Gleichgewicht negativ beeinflussen können.

6.3.1.1 Soziodemografische Informationen, körperliche Aktivität, sturzassoziierte Selbstwirksamkeit und depressive Stimmungslage

Grundlegende demografische Angaben und Informationen zur Krankheitsgeschichte (z.B. Erkrankungsjahre, Dopa-Dosis) wurden durch Befragung der Teilnehmer erhoben. Informationen zum Alter und Geschlecht, der Ausbildung, der Medikamenteneinnahme sowie der körperlichen Aktivität wurden erfragt. Die Größe und das Gewicht der Teilnehmer wurden gemessen und der Body-Mass-Index (BMI, kg/m^2) wurde berechnet.

Zur Einschätzung der körperlichen Aktivität wurden die Probanden gebeten den CHAMPS (Community Healthy Activities Model Program for Seniors) Activities Questionnaire for Older Adults (Stewart, Mills, King, Haskell, Gillis, & Ritter, 2001) auszufüllen. Hierbei handelt es sich um einen Aktivitätsfragebogen für das höhere Erwach-

senenalter. Der CHAMPS beinhaltet entsprechend der Zielgruppe angemessene Aktivitäten und besteht aus 41 Fragen mit einem Betrachtungszeitraum von 7 Tagen. Es wird pro Aktivität nach der Häufigkeit und Dauer pro Woche gefragt. Die Erfassung der Fragen im CHAMPS dauert etwa 20 Minuten. Die Test-Retest-Reliabilität (Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient, *ICC*; nach 6 Monaten) reicht von .58 bis .67 (Stewart et al., 2001). Auf Grundlage der bewegungsbezogenen Aktivitäten des CHAMPS wird der Kalorienverbrauch pro Woche mit der Formel: $\text{kcal/minute} = \text{MET} * 3.5 * (\text{Körpergewicht in kg}/200)$ berechnet (American College of Sports Medicine, 2013). Um den Energieverbrauch der verschiedenen Aktivitäten zu bestimmen wurde ein altersangepasster *MET*-Wert herangezogen. Das metabolische Äquivalent (*MET*) gibt die Leistung (= den Kalorienverbrauch) von Aktivitäten als ein Vielfaches des Ruheumsatzes an. Da der Ruheumsatz von Person zu Person schwankt ist auch das *MET* abhängig von der individuellen Person (z.B. Körpergewicht).

Zur Beurteilung der sturzassozierten Selbstwirksamkeit wurde die Activities Specific Balance Confidence (ABC) Scale (Powell & Myers, 1995) herangezogen. Diese Skala wird zur Ermittlung der subjektiven Einschätzung des Vertrauens in das eigene Gleichgewicht bei selbständig lebenden älteren Erwachsenen herangezogen. Es werden 16 verschiedene Situationen bzw. Aktivitäten abgefragt (z.B. Treppen steigen, Rolltreppe benutzen, auf vereisten Gehwegen gehen), welche für eine selbstständige Lebensführung von enormer Bedeutung sind. Dabei sollen die Teilnehmer auf einer Skala von 0-100% abschätzen, wie zuversichtlich sie sind, diese Aktivitäten jeweils durchführen zu können, ohne dabei aus dem Gleichgewicht zu geraten.

Die Prozentwerte der 16 Aktivitäten werden zusammengerechnet (möglicher Bereich 0-1600%) und durch die Anzahl der Fragen (16) dividiert. Hohe Prozentwerte stehen für eine hohe sturzassozierte Selbstwirksamkeit. Die ABC-Skala besitzt eine hohe Test-Reliabilität sowie eine gute konvergente und diskriminante Validität (Myers, Fletcher, Myers, & Sherk, 1998; Powell & Myers, 1995).

Zur Überprüfung der allgemeinen kognitiven Leistungsfähigkeit wurde der Montreal Cognitive Assessment (MoCA; Punktebereich: 0-30; Nasreddine et al., 2005) eingesetzt. Dieses Instrument scheint bei kognitiv intakten, älteren Erwachsenen sensitiv auf leichte kognitive Einbußen zu reagieren (Duffin et al., 2012; Kenny et al., 2013).

Der Test verwendet eine Reihe von Fragen, um die verschiedenen Aspekte der kognitiven Leistungsfähigkeit (Aufmerksamkeit und Konzentration, Exekutivfunktionen, Gedächtnis, Sprache, visuokonstruktive Fähigkeiten, konzeptuelles Denken, Rechnen und Orientierung) zu prüfen. Der höchstmögliche zu erzielende Wert beträgt 30 Punkte, ein Ergebnis von 26 oder mehr Punkten wird als normal betrachtet. Dieser Wert erwies sich als optimaler Trennwert für das Screening einer leichten kognitiven Einschränkung (MCI) mit hoher Spezifität und hoher Reliabilität (Nasreddine et al., 2005).

Die Geriatrische Depressionsskala (GDS, engl.: Geriatric Depression Scale; Sheikh & Yesavage, 1986) umfasst in der Kurzform 15 Fragen und eignet sich für gesunde, medizinisch kranke und leicht bis moderat kognitiv eingeschränkte ältere Menschen. Der Fragebogen kann entweder in Interviewform oder auch durch den Patienten selbst ausgefüllt werden. Wichtig ist es, den Patienten darauf hinzuweisen, dass sich die Fragen auf die letzte Woche beziehen und es keine richtigen oder falschen Antworten gibt. Für Antwort "NEIN" auf die Fragen 1, 5, 7, 11, 13 sowie für Antwort "JA" auf die übrigen Fragen gibt es je einen Punkt. Mehr als 5 Punkte legen den Verdacht auf das Bestehen einer Depression nahe, bei 11 und mehr Punkten muss von einer manifesten Depression ausgegangen werden (0-5 Punkte: normal; 5-10 Punkte: leichte bis mäßige Depression; 11-15 Punkte: manifeste Depression). Die GDS erlaubt die frühzeitige Erkennung einer möglichen Altersdepression. Sie dient allerdings lediglich als Screeningtool des psychischen Zustandes und der depressiven Stimmungslage alternder Menschen und kann eine fachärztliche Diagnose nicht ersetzen.

6.3.1.2 Unified Parkinson Disease Rating Scale (UPDRS)

Die UPDRS (Movement Disorder Society, MDS; Goetz et al., 2007) ist das meist genutzte Instrument zur Beurteilung der Krankheitsschwere im Verlauf einer Parkinson Erkrankung (Ramaker, Marinus, Stiggelbout, & Van Hilten, 2002). Sie ist unterteilt in die Bereiche (1) Kognitive Funktionen, Verhalten und Stimmung, (2) Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL), (3) motorische Untersuchung und (4) Komplikationen

der Behandlung. Die Beurteilung erfolgt durch Befragung (Interview) und Untersuchung durch einen Kliniker. Im Rahmen dieser Studie wurde der UPDRS von Dr. Quincy Almeida, dem Direktor des Sun Life Financial Forschungs- und Rehabilitationszentrums für Bewegungsstörungen (MDRC), durchgeführt. Eine Ratingskala von 0-4 wird durch Einschätzung der Beschwerdestärke herangezogen. Je höher der Punktwert ist, desto stärker ist die Einschränkung des Betroffenen.

Tab. 24: Items der UPDRS zur Klassifikation der Motorsubtypen Tremor-Dominant (TD; Tremor Dominant) und Posturale Instabilität (PIGD; Postural Instability/Gait Difficulty) bei PD-Patienten.

UPDRS			
N Items	Tremor-Dominant (TD)	N Items	Posturale Instabilität und Gangstörung (PIGD)
Teil 2 - Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL)			
1	2.16 Tremor	3	2.13 Fallen (unabhängig von Starre) 2.14 Erstarren beim Gehen 2.15 Laufen
Teil 3 - Motorische Untersuchung			
7	3.20 Ruhetremor, G 3.20 Ruhetremor, RH 3.20 Ruhetremor, LH 3.20 Ruhetremor, RF 3.20 Ruhetremor, LF 3.21 Aktions- oder Haltungstremor der Hände, L 3.21 Aktions- oder Haltungstremor der Hände, R	2	3.29 Gang 3.30 Haltungsstabilität*

Anmerkung. G = Gesicht; RH = rechte Hand; LH = linke Hand; RF = rechter Fuß; LF = linker Fuß; R = rechts; L = links; *Reaktion auf plötzliches Verlagern nach hinten durch Ziehen an den Schultern des Patienten, der mit geöffneten Augen und leicht auseinanderstehenden Füßen geradesteht (der Patient ist darauf vorbereitet). Zur Klassifizierung der Motorsubtypen wurde das Verhältnis der mittleren TD-Scores (8 Items) zu dem mittleren PIGD-Scores (5 Items) herangezogen: PD-TD (Verhältnis ≤ 1.5), PD-PIGD (Verhältnis ≥ 1).

Die motorische Dimension des UPDRS wurde für die Bestimmung der PD-Kardinalsymptome Tremor, Rigor, Bradykinese und posturale Instabilität herangezogen. Diese Skala erlaubt auf Grundlage der Bewertung und des Klassifizierungsalgorithmus nach Jankovic et al. (1990) eine Einteilung in die genannten PD-Motorsubtypen: Tremor-dominanter Typ (Mittelwerte der Punktzahl für Tremor / Mittelwert der Punktzahl für PIGD ≤ 1.5) und Motorsubtyp mit posturaler Instabilität und Gangstörung (Mittelwert der Punktzahl für Tremor / Mittelwert der Punktzahl für PIGD ≥ 1.0). Zur Bewertung der beiden Motorsubtypen wurden die Items aus Tabelle 24 herangezogen.

6.3.2 Datenanalyse

Um den Effekt der verschiedenen kognitiven Bedingungen und Schwierigkeitsstufen zu prüfen, wurde eine 3 (Gruppe) x 3 (Bedingung) ANOVA mit Messwiederholung für die Zeiten im TMT und im TWT durchgeführt. Zwischensubjektfaktor ist die Gruppe (Kontrollgruppe, PD-TD & PD-PIGD) und Innersubjektfaktor ist die Bedingung (rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben). Gruppenunterschiede innerhalb der Bedingungen wurden mit einer einfaktoriellen ANOVA berechnet.

Für die Berechnung der motorisch-kognitiven Interferenzen wurde für den TMT und den TWT eine 3 (Gruppe: Kontrollgruppe, PD-TD & PD-PIGD) x 2 (Bedingung: Zahlen vs. Zahlen und Buchstaben) x 2 (Interferenzen: motorische vs. kognitive) ANOVA mit Messwiederholung berechnet.

6.3.3 Ergebnisse

6.3.3.1 Stichprobencharakteristik

Im MoCA sind keine Unterschiede zwischen den Gruppen zu beobachten, $F(2, 60) = .854, p = .524, \eta^2_p = .028$. Im Vergleich zu PD-TD ($M = 1.12, SD = 0.41$) und in der Kontrollgruppe ohne PD ($M = 1.00, SD = 0.00$) ist eine erhöhte Häufigkeit von Stürzen bei Personen mit PD-PIGD ($M = 4.11, SD = 4.43$) zu beobachten. Die Unterschiede werden allerdings aufgrund der hohen Standardabweichung nicht signifikant (eine Person in der PIGD-Gruppe berichtete von 15 Sturzerfahrungen im letzten Jahr). Entsprechend ist die sturzassoziierte Selbstwirksamkeit bei PD-PIGD signifikant geringer, $F(2, 59) = 8.05, p = .001, \eta^2_p = .214$. Der Anteil der leicht bis mäßigen depressiven Stimmungslage ist bei PD-PIGD, im Vergleich zu beiden anderen Gruppen höher (siehe Tabelle 25). Dies deutet darauf hin, dass Einschränkungen in der Mobilität einen Einfluss auf die Lebensqualität haben könnten. PD-PIGD haben in den bewegungsbezogenen Aktivitäten des CHAMPS Fragebogens einen geringeren Kalorienverbrauch pro Woche was wiederum auf die reduzierte Mobilität hindeutet. Die Unterschiede werden zwischen den Gruppen allerdings nicht signifikant, $F(2, 57) = .309, p = .735, \eta^2_p = .011$.

Tab. 25: Stichprobencharakteristik der PD-Patienten differenziert in die Motorsubtypen PD-TD und PD-PIGD, einschließlich Mittelwerte (Standardabweichung) und Testwerte der UPDRS-III.

	Kontrolle	PD-TD Verhältnis ≤ 1.5	PD-PIGD Verhältnis ≥ 1.0	stat. Analyse
	(n = 20)	(n = 16)	(n = 27)	
Geschlecht	7 Männer, 13 Frauen	11 Männer, 5 Frauen	23 Männer, 4 Frauen	$CHI^2(2) = 14.2^{**}$
Alter (Jahre)	72.4 (5.53)	68.2 (8.94)	69.7 (8.68)	$F(2,60) = 1.32$, $\eta^2_p = .042$
BMI (kg/m²) Unter-, Normal-, Übergewicht & Adipositas (n)	27.9 (4.73); 0, 6, 6 & 5	24.2 (4.40) [†] ; 2, 6, 6 & 1	27.4 (4.07); 0, 8, 12 & 5	$F(2,57) = 3.79^*$, $\eta^2_p = .117$
UPDRS-III (Punktzahl; max = 108)	-	22.53 (7.47)	23.7 (7.97)	$t(41) = .646$, $d = .147$
Dauer der Erkrankung (Jahre)	-	6.19 (4.92)	4.93 (4.37)	$t(41) = .388$, $d = .275$
CHAMPS (kcal/Woche)	8735.3 (4904.6)	9170.3 (5963.8)	7991.7 (5353.8)	$F(2,57) = .309$, $\eta^2_p = .011$
ABC-Skala (%)	95.3 (3.77)	89.7 (8.24)	79.3 (19.9) [†]	$F(2,59) = 8.05^{**}$, $\eta^2_p = .214$
Sturzerfahrung im letzten Jahr (n Personen; n in %; n Stürze)	3 Personen; (15%); 3 Stürze	4 Personen; (26.7%); 6 Stürze	9 Personen; (33%); 31 Stürze	$F(2,14) = 1.68$, $\eta^2_p = .222$
MoCA	27.9 (1.48)	26.9 (3.23)	27.6 (1.95)	$F(2,60) = .854$, $\eta^2_p = .028$
Depression (GDS), n	20 normal 0 leicht bis mäßig 0 schwer	15 normal 2 leicht bis mäßig 0 schwer	22 normal 4 leicht bis mäßig 0 schwer	$CHI^2(2) = 3.21$

Anmerkung. $^{***}p < .001$, $^{**}p < .01$, $^*p < .05$; † Signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe ($p < .05$).

6.3.3.2 Trail-Making Test

6.3.3.2.1 Zeiten

Die Zeiten im TMT-M und TMT-B sind in allen Gruppen normalverteilt ($p < .05$). Die Zeiten im TMT-A sind tendenziell normalverteilt ($p = .059$). Das Alter ($r = 305$, $p = .007$) korreliert signifikant mit den Zeiten im TWT-A. Das Geschlecht hat keinen Einfluss auf die Leistung im TMT.

Eine 3 (Gruppe: PD-PIGD, PD-TD & Kontrollgruppe) x 3 (Bedingung: rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) ANOVA mit Messwiederholung der Zeiten für den TMT zeigt signifikante Haupteffekte für Bedingung, $F(1.19, 71.4) = 90.3$, $p < .001$, $\eta^2_p = .601$, und Gruppe $F(2, 60) = 6.77$, $p < .05$, $\eta^2_p = .184$. Die Post-hoc Analyse ergab, dass sich die Zeiten in allen drei Bedingungen signifikant voneinander unterscheiden

($p < .001$). Insgesamt sind die Zeiten bei der Bearbeitung des TMT-B länger ($M = 74.6$, $SE = 4.91$) als beim TMT-A ($M = 38.0$, $SE = 1.47$) und TMT-M ($M = 25.9$, $SE = 1.26$). Bei den Gruppen unterscheiden sich die Kontrollgruppe von der Gruppe mit PD-PIGD signifikant voneinander ($p < .05$).

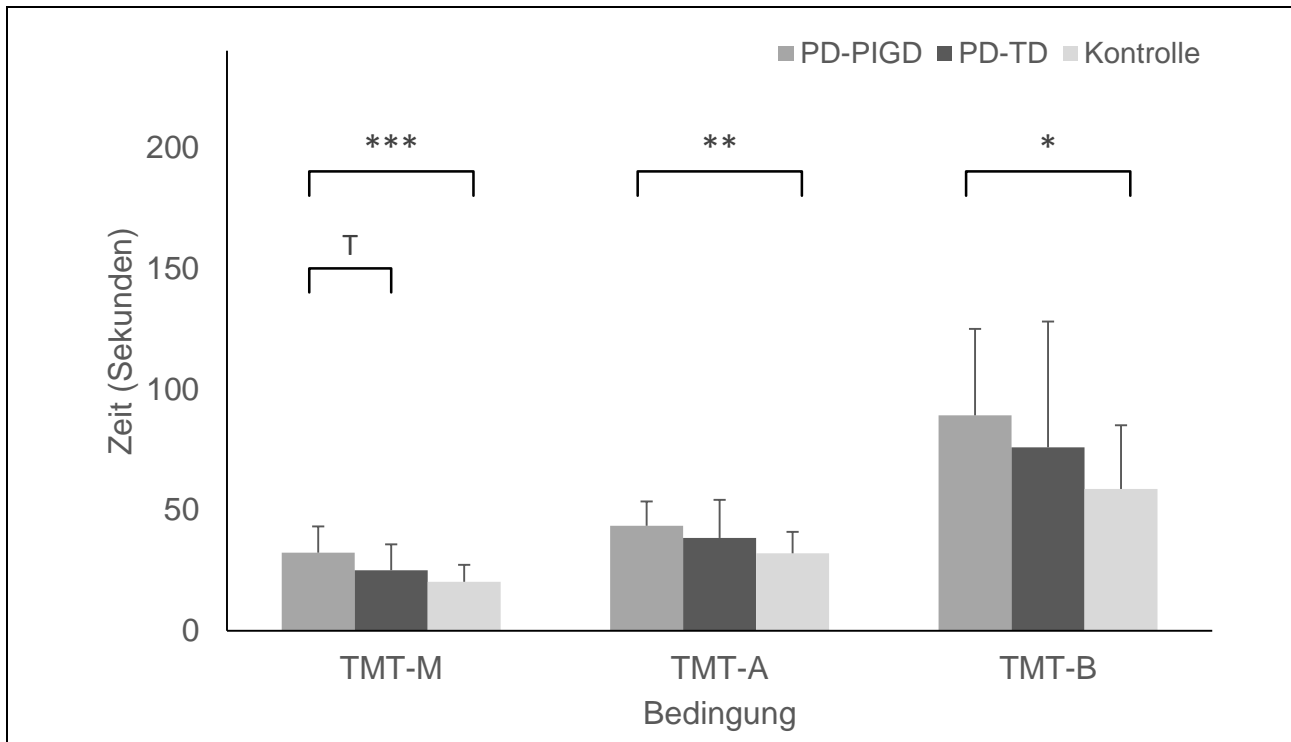


Abb. 36: Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (PD-PIGD, PD-TD & Kontrolle) und Bedingungen des TMT (TMT-M, TMT-A & TMT-B) auf Grundlage der Zeiten (** $p < .001$, ** $p < .01$, * $p < .05$, T $< .10$).

Die Gruppe mit dem Motorsubtypen PI GD benötigt in allen Bedingungen des TMT länger (PD-PIGD: $M = 55.0$, $SE = 3.19$; PD-TD: $M = 46.5$, $SE = 4.14$; Kontrolle: $M = 37.0$, $SE = 3.19$). Die Interaktion Bedingung x Gruppe wird nicht signifikant, $F(2, 60) = .627$, $p = .538$, $\eta^2_p = .020$. Ein Vergleich zwischen den Gruppen innerhalb der einzelnen Bedingungen zeigt in Bedingung TMT-M einen tendenziell signifikanten Unterschied zwischen PD-PIGD und PD-TD ($p = .068$) und zwischen PD-PIGD und der Kontrollgruppe einen hoch signifikanten Unterschied ($p < .001$). Für den TMT-A zeigt sich ein stark signifikanter Unterschied zwischen PD-PIGD und der Kontrollgruppe ($p < .01$) und für den TMT-B zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen PD-PIGD und der Kontrollgruppe ($p < .05$) (siehe Abbildung 36). Wie erwartet schnitten die Teilnehmer mit PD verglichen mit gesunden älteren Erwachsenen in allen Bedin-

gungen des TMT schlechter ab, wobei in der rein motorischen Bedingung die Unterschiede am größten sind. Auch eine Unterscheidung zwischen beiden motorischen Phänotypen wird mit zusätzlicher kognitiver Aufgabe schwieriger (TMT-M: $p = .068$; TMT-A: $p = .493$; TMT-B: $p = .827$). Die Gruppenunterschiede sind bei der rein motorischen Aufgabe am deutlichsten.

6.3.3.2.2 DAK

In Tabelle 26 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der berechneten DAK für die feinmotorische (TMT) Aufgabe dargestellt.

Bezüglich der proportionalen DAK wurde eine 3 (Gruppe: PD-PIGD, PD-TD & Kontrollgruppe) x 2 (Bedingung: hohe vs. niedrige kognitive Belastung) x 2 (Interferenz: kognitiv vs. motorisch) ANOVA mit Messwiederholung für die Zeiten im TMT berechnet.

Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Haupteffekte. Der Interaktionseffekt für Bedingung x Interferenz wird signifikant, $F(1, 60) = 60.4$, $p < .001$, $\eta^2_p = .502$, wobei mit geringer kognitiver Belastung größere kognitive im Vergleich zu motorischen Interferenzen (TMT-A: $M = -56.0$, $SE = 6.48$; TMT-B: $M = -222$, $SE = 30.5$) und bei hoher kognitiver Belastung größere Interferenzen in der motorischen Aufgabe (TMT-A: $M = -72.3$, $SE = 5.99$; TMT-B: $M = -194$, $SE = 15.1$) beobachtet werden.

Tab. 26: Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den feinmotorischen Doppelaufgaben (TMT-A, TMT-B) unterteilt in die drei Gruppen (PD-PIGD: Parkinson-Postural Instability and Gait Difficulty; PD-TD: Parkinson-Tremor Dominant; Kontrolle: ältere Erwachsene ohne Parkinsondiagnose).

	PD-PIGD (n = 27)	PD-TD (n = 16)	Kontrolle (n = 20)	stat. Analyse
TMT DAK				
motor. DAK TMT-A	-38.8 (36.2)	-60.8 (59.7)	-68.4 (58.1)	$F(2,60) = 2.20$, $p = .119$, $\eta^2_p = .068$
motor. DAK TMT-B	-174 (69.6)	-214 (177)	-195 (109)	$F(2,33) = .572$, $p = .567$, $\eta^2_p = .019$
kogn. DAK TMT-A	-287 (291)	-215 (223)	-163 (142)	$F(2,33) = 1.62$, $p = .206$, $\eta^2_p = .051$
kogn. DAK TMT-B	-62.6 (27.5)	-85.4 (72.9)	-68.9 (39.9)	$F(2,33) = 1.23$, $p = .301$, $\eta^2_p = .039$

Anmerkung. DAK = Doppelaufgabenkosten; Dargestellt sind die empirischen Mittelwerte und Standardabweichungen.

6.3.3.3 Trail-Walking Test

Die relativen und absoluten Reliabilitätsmaße (*ICC*, *SEM*, *MDC95*) werden in Tabelle 27 dargestellt.

Tab. 27: Ergebnisse der Intra-Klassen-Korrelation (*ICC*) und der absoluten Inter-Trial-Reliabilität (*SEM*) für alle drei Bedingungen des TWT der Untersuchung mit PD-Patienten.

	Kontrollgruppe			PD-TD			PD-PIGD		
	ICC (95% CI)	SEM/ SEM (%)	MDC95/ MDC95 %	ICC (95% CI)	SEM/ SEM (%)	MDC95/ MDC95 %	ICC (95% CI)	SEM/ SEM (%)	MDC95/ MDC95 %
TWT-M	0.974 (0.95- 0.99)	0.26/ 0.68	0.76/ 1.89	0.987 (0.97- 0.99)	0.22/ 0.51	0.62/ 1.41	0.959 (0.92- 0.98)	0.43/ 0.74	1.18/ 2.05
TWT-A	0.894 (0.78- 0.96)	1.15/ 2.31	3.19/ 6.39	0.959 (0.90- 0.98)	0.72/ 1.33	1.99/ 3.68	0.939 (0.88- 0.97)	1.03/ 1.63	2.86/ 4.54
TWT-B	0.870 (0.72- 0.94)	2.68/ 4.05	7.43/ 11.21	0.886 (0.74- 0.96)	3.20/ 4.14	8.88/ 11.48	0.918 (0.84- 0.96)	2.18/ 2.59	6.02/ 7.17

Anmerkung. Zur Berechnung der Reliabilitätsmaße wurden 3 Durchgänge (Beobachtungszeitpunkte) einbezogen; *CI* = confidence intervall (deutsch: Vertrauensintervall); *SEM* = standard error of measurement (deutsch: Standardmessfehler, Maß für die Genauigkeit von Testergebnissen); *MDC* = minimal detectable change (deutsch: minimalste nachweisbare Veränderung).

Die Reliabilität zwischen den Durchgängen war für alle Bedingungen und Gruppen mittel bis exzellent, mit *ICC* Werten zwischen 0.87 und 0.98. Insgesamt lag der *SEM* zwischen 0.22-3.20s. Der *SEM%* war bei allen Bedingungen und Gruppen gering (0.51-4.05%). In 100% der Beobachtungen wurde ein *SEM%* \leq 10% gefunden. Der *SEM* schwankte bei der Kontrollgruppe zwischen 0.26-2.68s, bei PD-TD zwischen 0.22-3.20s und bei PD-PIGD zwischen 0.43-2.18s. Insgesamt lag der *MDC95* bezüglich der absoluten Zeiten im TWT zwischen 0.62-88.8s. Die *MDC95%* schwankte für die gesamte Stichprobe zwischen 1.41-11.5% und lag damit unterhalb von \leq 30%.

6.3.3.3.1 Zeiten

Die Zeiten im TWT-M und TWT-A sind in allen Gruppen normalverteilt ($p < .05$). Die Zeiten im TWT-B sind tendenziell normalverteilt ($p = .069$). Das Alter ($r = 215$, $p =$

.043) korreliert signifikant mit den Zeiten im TWT-B. Das Geschlecht hat einen tendenziell signifikanten Einfluss auf die Leistung im TWT-B ($p = .093$), wobei für Frauen höhere Zeiten beobachtet werden können (Frauen: $M = 79.4$, $SE = 3.74$; Männer: $M = 68.7$, $SE = 5.02$).

Eine 3 (Bedingung: rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) x 3 (Gruppe: Gruppe: PD-PIGD, PD-TD & Kontrollgruppe) ANOVA mit Messwiederholung der Zeiten für den TWT zeigt signifikante Haupteffekt für Bedingung, $F(1.23, 73.5) = 121$, $p < .001$, $\eta^2_p = .670$, und Gruppe, $F(2, 60) = 8.15$, $p < .001$, $\eta^2_p = .214$.

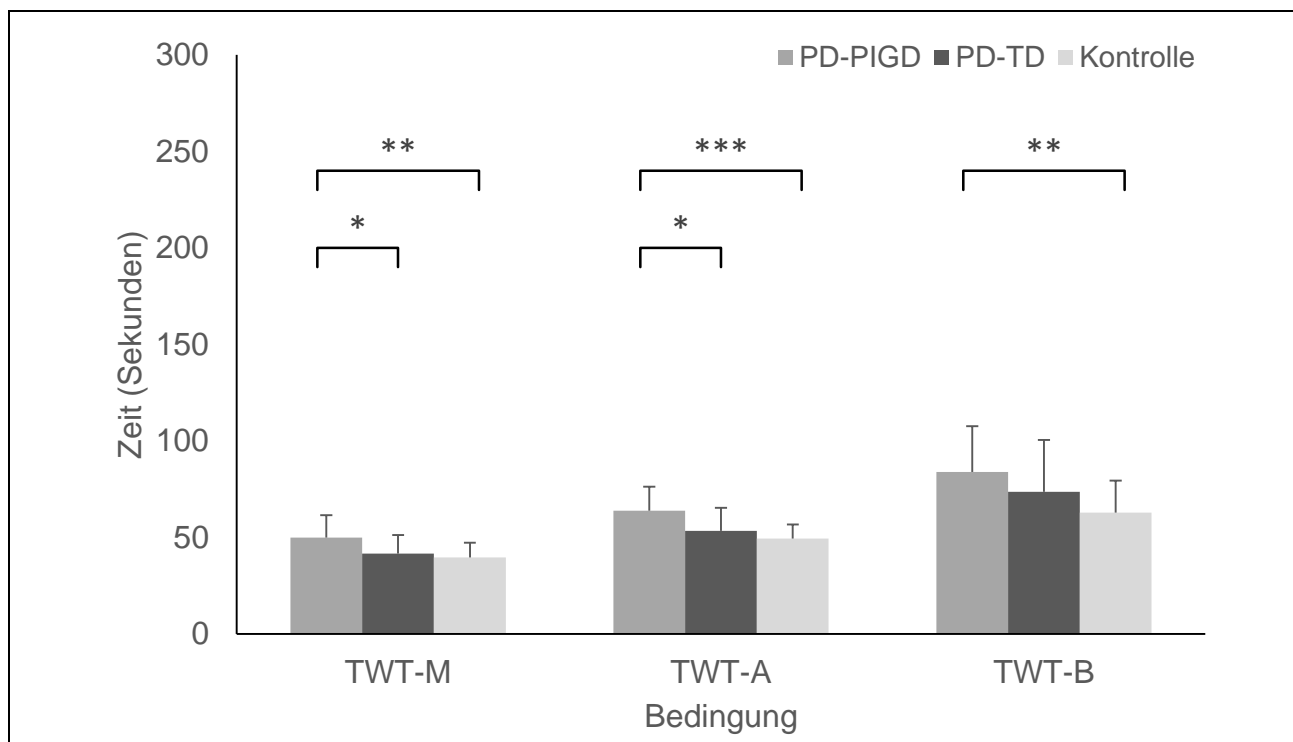


Abb. 37: Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (PD-PIGD, PD-TD & Kontrolle) und Bedingungen des TWT (TWT-M, TWT-A & TWT-B) auf Grundlage der Zeiten ($***p < .001$, $**p < .01$, $*p < .05$).

Die Post-hoc Analyse ergab, dass die Zeiten bei allen Probanden im TWT-B ($M = 73.5$, $SE = 2.92$) signifikant höher ausfallen als im TWT-A ($M = 55.6$, $SE = 1.41$) oder in der rein motorischen Bedingung TWT-M ($M = 43.7$, $SE = 1,29$) ($p < .001$). Eine signifikante Interaktion von Bedingung x Gruppe besteht nicht, $F(2.45, 73.5) = 1.74$, $p = .175$, $\eta^2_p = .055$). Dies verdeutlicht, dass alle Gruppen mit zunehmender kognitiver Belastung langsamer laufen und demnach länger benötigen (siehe Abbildung 37). Ein Vergleich zwischen den Gruppen innerhalb der einzelnen Bedingungen zeigt in Bedingung TWT-M einen signifikanten Unterschied zwischen PD-PIGD und PD-

TD ($p = .034$) und einen stark signifikanten Unterschied zwischen PD-PIGD und der Kontrollgruppe ($p = .003$). Für den TWT-A besteht ein signifikanter Unterschied zwischen PD-PIGD und PD-TD ($p < .011$) und ein hoch signifikanter Unterschied zwischen PD-PIGD und der Kontrollgruppe. Für den TWT-B wird ebenfalls ein stark signifikanter Unterschied zwischen PD-PIGD und der Kontrollgruppe ($p = .007$) beobachtet. Einen Unterschied in den Zeiten im TWT ist somit insbesondere zwischen PD-PIGD und der Kontrollgruppe zu sehen.

6.3.3.3.2 DAK

In Tabelle 28 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der berechneten DAK für die grobmotorische (TWT) Aufgabe dargestellt.

Bezüglich der proportionalen DAK wurde eine 3 (Gruppe: Kontrollgruppe, PD-TD & PD-PIGD) x 2 (Bedingung: hohe vs. niedrige kognitive Belastung) x 2 (Interferenz: kognitiv vs. motorisch) ANOVA mit Messwiederholung für die Zeiten im TWT berechnet.

Die Ergebnisse zeigen signifikante Haupteffekte für Bedingung, $F(1, 60) = 19.5$, $p < .001$, $\eta^2_p = .245$, und Interferenz, $F(1, 60) = 44.6$, $p < .001$, $\eta^2_p = .426$. Ein signifikanter Interaktionseffekt kann für Bedingung x Interferenz beobachtet werden, $F(1, 60) = 32.9$, $p < .001$, $\eta^2_p = .354$.

Tab. 28: Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den grobmotorischen Doppelaufgaben (TWT-A, TWT-B) unterteilt in die drei Gruppen (PD-PIGD: Parkinson-Postural Instability and Gait Difficulty; PD-TD: Parkinson-Tremor Dominant; Kontrolle: ältere Erwachsene ohne Parkinsondiagnose).

	PD-PIGD (n = 27)	PD-TD (n = 16)	Kontrolle (n = 20)	stat. Analyse
TMT DAK				
motor. DAK TWT-A	-29.9 (18.4)	-29.7 (18.7)	-26.6 (17.6)	$F(2,60) = .220$, $p = .803$, $\eta^2_p = .007$
motor. DAK TWT-B	-65.4 (31.9)	-75.4 (43.1)	-58.1 (26.8)	$F(2,33) = 1.16$, $p = .320$, $\eta^2_p = .037$
kogn. DAK TWT-A	-431 (543)	-430 (417)	-317 (284)	$F(2,33) = .445$, $p = .643$, $\eta^2_p = .015$
kogn. DAK TWT-B	-61.2 (62.2)	-118 (126)	-103 (90.8)	$F(2,33) = 2.33$, $p = .106$, $\eta^2_p = .072$

Anmerkung. DAK = Doppelaufgabenkosten; Dargestellt sind die empirischen Mittelwerte und Standardabweichungen.

Die Post-hoc Analyse ergab, dass mit geringer kognitiver Belastung die Leistungseinbußen größer ausfallen als mit hoher kognitiver Belastung (TWT-A: $M = -211$, $SE = 28.7$; TWT-B: $M = -80.3$, $SE = 5.52$) ($p < .001$). Die Leistungseinbußen in der kognitiven Aufgabe fallen insgesamt größer aus als in der motorischen Aufgabe (motorisch: $M = -47.5$, $SE = 2.98$; kognitiv: $M = -243$, $SE = 28.9$) ($p < .001$), was in erster Linie an den hohen kognitiven DAK ($M = -393$, $SE = 57.2$) im Vergleich zu den motorischen DAK ($M = -28.8$, $SE = 2.35$) in Bedingung TWT-A liegt.

6.3.3.3 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen

Die Abbildung 38 zeigt die Verteilung der motorischen und kognitiven Interferenzen im TWT-A bei Personen mit PD (PIGD & TD) und gesunden gleichaltrigen Personen (Kontrolle).

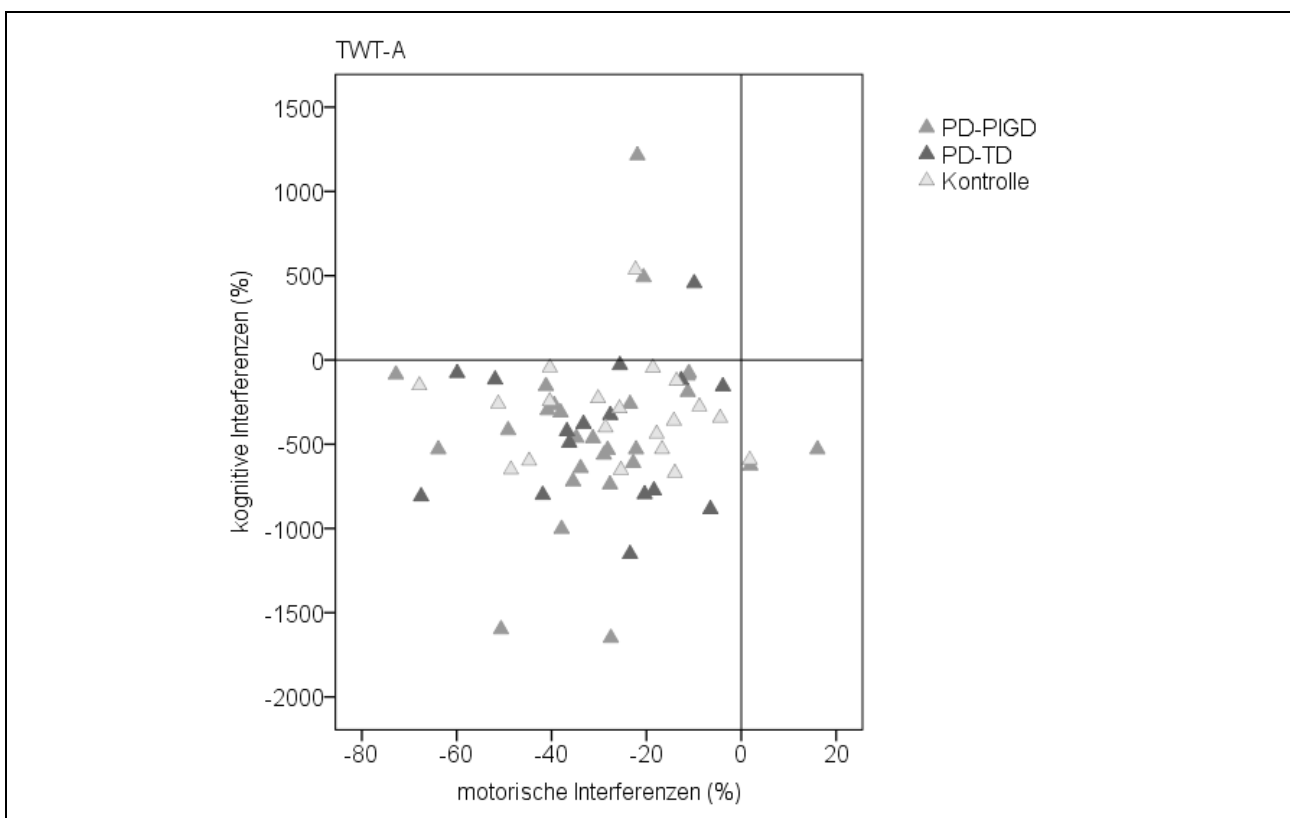


Abb. 38: Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-A auf Grundlage der Zeiten bei PD-PIGD, PD-TD und der Kontrollgruppe.

Die meisten Personen zeigen wechselseitige Interferenzen mit Leistungseinbußen insbesondere in der kognitiven Aufgabe. Die Interferenzen in der motorischen Auf-

gabe fallen gruppenübergreifend gering aus. Die Höhe der motorischen und kognitiven Interferenzen und die Streubreite sind in allen Gruppen vergleichbar. Einige wenige Teilnehmer zeigen geringe Interferenzen in der motorischen, jedoch Verbesserungen in der Leistung der kognitiven Aufgabe. Gruppenspezifische Muster lassen sich jedoch nicht feststellen.

In der Bedingung mit hoher kognitiver Zusatzbelastung (TWT-B) fallen die kognitiven Interferenzen geringer aus als im TWT-A mit geringer kognitiver Zusatzbelastung (vgl. Abbildung 38 & 39). Gruppenübergreifend kann auch im TWT-B eine wechselseitige Interferenz beobachtet werden. Einige wenige Teilnehmer zeigen geringe oder positive Interferenzen in der kognitiven, jedoch Verschlechterungen in der Leistung der motorischen Aufgabe (kognitiv-bedingte motorische Interferenzen bzw. kognitive Aufgabenpriorisierung). Gruppenspezifische Muster lassen sich jedoch nicht feststellen.

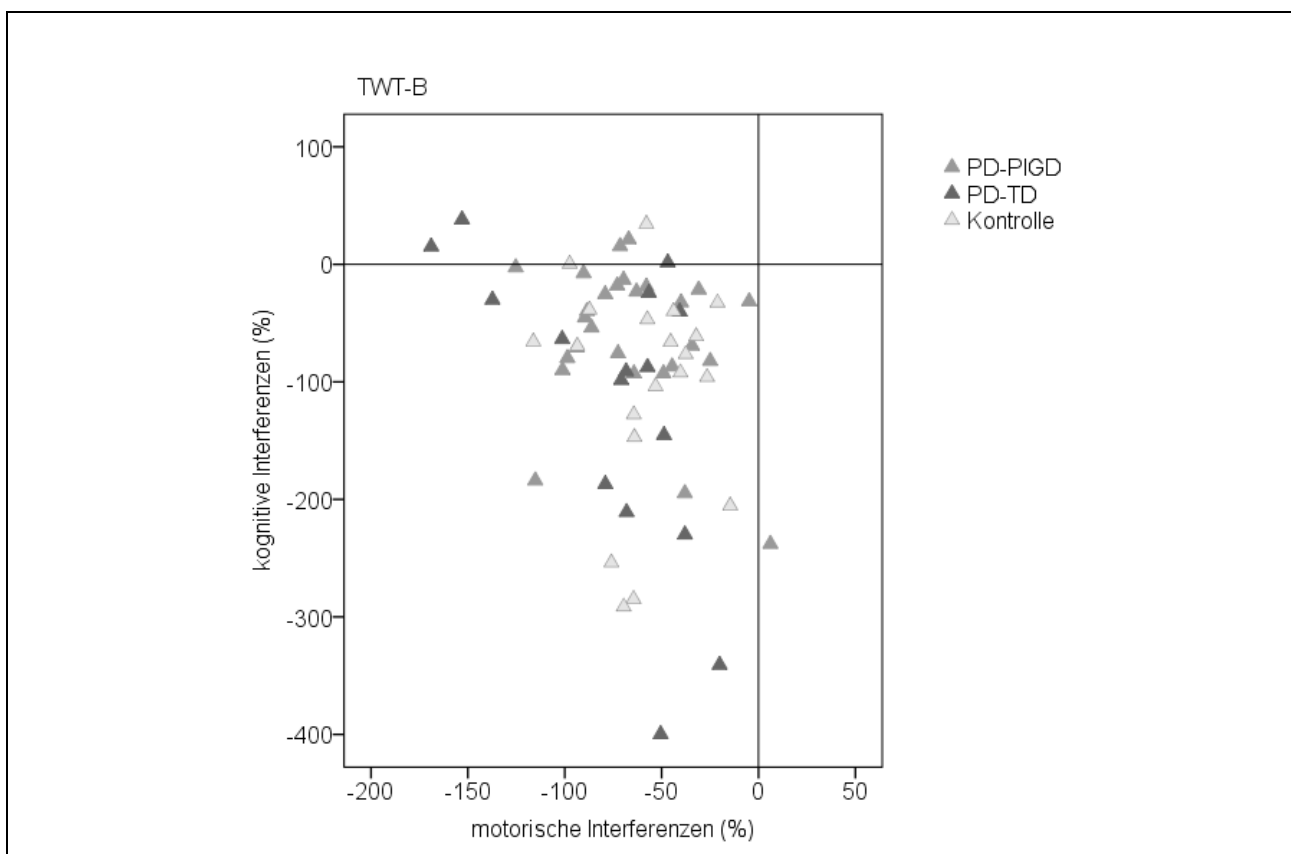


Abb. 39: Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-B auf Grundlage der Zeiten bei PD-PIGD, PD-TD und der Kontrolle.

6.3.3.4 ROC Analysen

Die drei Bedingungen des TWT erlauben, auf Grundlage der berechneten Geschwindigkeiten, eine angemessene Differenzierung zwischen dem motorischen Phänotyp PD-PIGD und der Kontrollgruppe ($AUC > .8$; siehe Tabelle 29; grau markierte Zellen) vorzunehmen. Insbesondere der TWT-A erlaubt eine gute Differenzierung ($AUC = .831$; $Sensitivität = .852$; $Spezifität = .800$). Abbildung 40 verdeutlicht die große Fläche unter der Kurve bei der Differenzierung zwischen diesen Gruppen.

Eine Differenzierung zwischen beiden Phänotypen PD-PIGD und PD-TD ist allerdings durch keine der Bedingungen des TWT befriedigend ($AUC < .7$). Lediglich die Bedingung TWT-M zeigt hier ein signifikantes Ergebnis als Beleg für die Genauigkeit des Testverfahrens (siehe Tabelle 29; Wert fettgedruckt). Der TWT-A wird tendenziell signifikant (siehe Tabelle 29; Wert fettgedruckt). Auch eine Unterscheidung zwischen PD-TD und der Kontrollgruppe ist mit keinem der TWT Bedingungen möglich ($AUC < .7$).

Tab. 29: Statistiken und Schwellenwerte der Receiver-Operating-Characteristic-Kurven für den TWT (Geschwindigkeiten im TWT; motorische und kognitive DAK) zur Differenzierung zwischen PD-PIGD, PD-TD und der Kontrollgruppe.

Bedingung	Gruppe	<i>n</i>	Youden Index	Sensitivität	Spezifität	Schwellenwert	<i>AUC</i>	<i>p</i>
TWT-M	PD-PIGD vs. PD-TD	27/ 16	.326	.889	.438	1.05	.685	.044
	PD-PIGD vs. Kontrolle	27/ 20	.530	.630	.900	.891	.791	< .001
	PD-TD vs. Kontrolle	16/ 20	.288	.436	.850	.914	.553	.588
TWT-A	PD-PIGD vs. PD-TD	27/ 16	.352	.852	.500	.778	.662	.079
	PD-PIGD vs. Kontrolle	27/ 20	.652	.852	.800	.776	.831	< .001
	PD-TD vs. Kontrolle	16/ 20	.400	.500	.900	.711	.638	.161
TWT-B	PD-PIGD vs. PD-TD	27/ 16	.303	.741	.563	.593	.623	.183
	PD-PIGD vs. Kontrolle	27/ 20	.541	.741	.800	.567	.783	< .001
	PD-TD vs. Kontrolle	16/ 20	.325	.375	.950	.503	.613	.252
motor. DAK TWT-A	PD-PIGD vs. PD-TD	27/ 16	.234	.296	.938	-16.52	.588	.340
	PD-PIGD vs. Kontrolle	27/ 20	.356	.556	.800	-37.81	.659	.064
	PD-TD vs. Kontrolle	16/ 20	.300	.500	.800	-38.13	.597	.324

Bedingung	Gruppe	<i>n</i>	Youden Index	Sensitivität	Spezifität	Schwellenwert	AUC	<i>p</i>
motor. DAK TWT-B	PD-PIGD vs. PD-TD	27/16	-.093	.407	.500	-241.1	.479	.821
	PD-PIGD vs. Kontrolle	27/20	-.089	.111	.800	-133.7	.513	.880
	PD-TD vs. Kontrolle	16/20	.188	.938	.250	-378.7	.541	.679
kogn. DAK TWT-A	PD-PIGD vs. PD-TD	27/16	.264	.889	.625	-823.6	.528	.763
	PD-PIGD vs. Kontrolle	27/20	-.219	.481	.300	-493.3	.431	.426
	PD-TD vs. Kontrolle	16/20	-.375	.625	.000	-786.5	.413	.373
kogn. DAK TWT-B	PD-PIGD vs. PD-TD	27/16	.215	.778	.438	-35.53	.567	.466
	PD-PIGD vs. Kontrolle	27/20	.344	.444	.900	2.65	.615	.182
	PD-TD vs. Kontrolle	16/20	.225	.375	.850	-3.94	.544	.656

Anmerkung. *n* = Fallzahl; *p* = Signifikanzwert; PD = Parkinson Disease; PIGD = Postural Instability/Gait Difficulty; TD = Tremor Dominant; DAK = Doppelaufgabenkosten; TWT = Trail-Walking Test; AUC (AUROC) = Area Under the Receiver-Operating-Characteristic-Curve; Für kontinuierliche Variablen wurden Grenzwerte aus der optimalen Kombination aus Sensitivität und Spezifität anhand des Youden-Index ermittelt; Die relevanten und im Text erwähnten Daten werden in der Tabelle durch die grau markierten Zellen und in Fettschrift hervorgehoben.

Die motorischen und kognitiven DAK lassen hingegen eine Differenzierung der Gruppen nicht zu. Hier ist sowohl die Sensitivität als auch die Spezifität nicht ausreichend gegeben um die Gruppen voneinander zu unterscheiden.

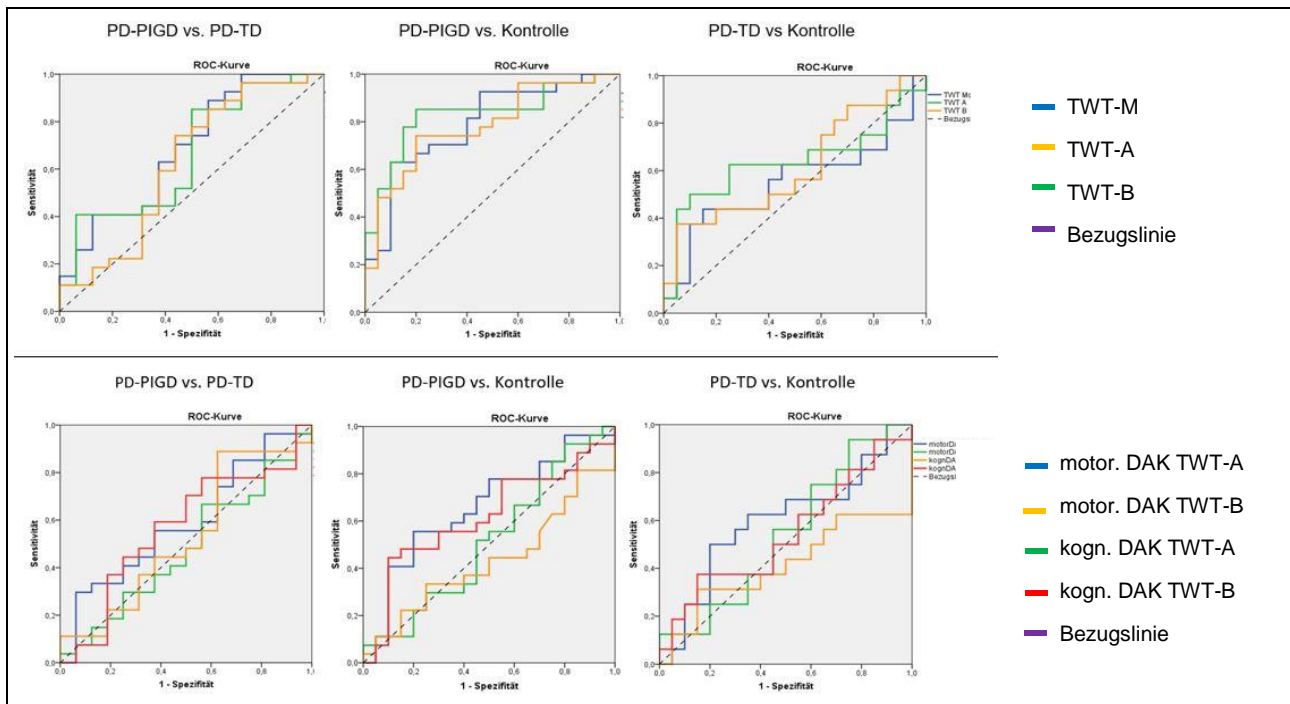


Abb. 40: Receiver-Operating-Characteristic-Kurven (ROC-Kurven) zur visuellen Darstellung der Fläche unter der Kurve (engl.: Area Under the Curve; AUC).

Wie aus Abbildung 40 zu entnehmen ist, sind die Flächen unter der Kurve der ROC Analysen – als Maß für die Genauigkeit – zu gering. Die Werte sind nahe der Diagonalen (Bezugslinie), was der zu erwartenden Trefferhäufigkeit eines Zufallsprozesses entspricht.

6.3.4 Diskussion

Ziel der Studie war, den TWT als potenzielles Verfahren zur Quantifizierung der posturalen Instabilität und der Gangstörungen bei PD-Patienten zu bewerten und die PD-Motorsubtypen voneinander zu unterscheiden. Der TWT gilt als reliables, valides Instrument um den Zusammenhang zwischen den kognitiven Funktionen und dem Gehen im Rahmen einer ökologisch validen Doppelaufgabe zu prüfen (Schott, 2015). Der Einfluss verschiedener kognitiver Aufgaben mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad auf die motorisch-kognitiven Interferenzen bei PD-Patienten stand hierbei im Fokus. Darüber hinaus war das Ziel eine von Bloem postulierte „Posture Second“-Strategie zu verifizieren (Bloem et al., 2006).

Alle Teilnehmer der Studie waren erwartungsgemäß langsamer unter Doppelaufgabenbedingung (Lord, Rochester, Hetherington, Allcock, & Burn, 2010). Der Effekt war bei PD-Patienten mit dem Motorsubtyp PIGD, im Vergleich zur Kontrollgruppe und zur Gruppe mit dominantem Tremor (PD-TD) größer. Je größer die kognitive Belastung, desto größer der Einfluss auf die Gehleistung (Campbell, Rowse, Ciol, & Shumway-Cook, 2003; LaPointe, Stierwalt, & Maitland, 2010; Yogev, Plotnik, Peretz, Giladi, & Hausdorff, 2007). Allerdings wurde der Unterschied zwischen den Gruppen mit zunehmender kognitiver Belastung und Schwierigkeitsstufe geringer. In den rein motorischen Bedingungen (TMT-M bzw. TWT-M) konnten die größten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden.

6.3.4.1 Gruppenunterschiede auf Grundlage der Zeiten im TWT

Die Leistung (Zeiten) in den einzelnen Bedingungen des TWT (TWT-M, TWT-A & TWT-B) unterscheiden sich sowohl insgesamt, als auch innerhalb der drei Gruppen wie erwartet voneinander. Mit zunehmender kognitiver Belastung nehmen die Zeiten

zu. Dies steht im Einklang zu den Untersuchungen von Spildooren, Vercruysse, Desloovere, Vandenberghe, Kerckhofs und Nieuwboer (2010), Wild und Kollegen (2013) sowie Kelly et al. (2012), die erhöhte Schwierigkeiten und Gleichgewichtsprobleme bei Fortbewegungsaufgaben unter Doppelaufgabenbedingung bei PD haben nachweisen können. Insbesondere die Gehgeschwindigkeit wird in den genannten Studien deutlich beeinflusst (Kelly et al., 2012).

Die Gruppenunterschiede werden mit zunehmender kognitiver Belastung geringer. Der erwähnte Interaktionseffekt (Gruppe x Bedingung) verdeutlicht dies. So kann ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Phänotypen PD-PIGD und PD-TD nur in der rein motorischen Aufgabe (TWT-M) und in der Aufgabe mit geringer kognitiver Belastung (TWT-A) beobachtet werden. Eine Unterscheidung zwischen PD-PIGD und der Kontrollgruppe wird in allen Bedingungen signifikant. Der Unterschied zwischen PD-TD und der Kontrollgruppe wird dagegen in keiner Bedingung signifikant. Dies kann dadurch erklärt werden, dass der TWT in erster Linie Aspekte der Mobilität und den Zusammenhang zwischen den kognitiven Funktionen und dem Gehen beansprucht (Schott, 2015). Aspekte also, welche zum neuropathologischen Profil der Gruppe PD-PIGD passen und wonach gerade PD-Patienten mit posturaler Instabilität Probleme haben sollten (Morris, Iansek, Smithson, & Huxham, 2000). In der Bedingung mit hoher kognitiver Belastung reichen die Aufmerksamkeitsressourcen in keiner der Gruppen aus. Hier zeigen nun auch die Teilnehmer der Kontrollgruppe Probleme bei der automatischen Durchführung des Gehens und erhöhte Gehzeiten, weshalb die Unterschiede zwischen den Gruppen geringer werden.

Basierend auf den berechneten *AUC*-Werten zeigt sich eine gute (TWT-M, *AUC* = .791; TWT-A, *AUC* = .831; TWT-B, *AUC* = .783) Trennschärfe, um PD-PIGD und Personen ohne PD (Kontrollgruppe) zu unterscheiden, wobei nur bei TWT-A eine ausreichend große Sensitivität (85,2%) und Spezifität (80%) zu beobachten ist. Für eine Differenzierung zwischen beiden PD-Gruppen lassen sich nur mittelmäßige bis schwache *AUC*-Werte finden (TWT-M, *AUC* = .685; TWT-A, *AUC* = .662; TWT-B, *AUC* = .623).

Auf Grundlage der berichteten Ergebnisse und der ausschließlichen Berücksichtigung der Zeiten im TWT erscheint eine Unterscheidung der beiden PD-Motorsubtypen nur durch den TWT ohne kognitiver Belastung (TWT-M) angemessen. Für eine Unterscheidung zwischen PD-PIGD und der Kontrollgruppe ist dagegen der TWT mit leichter kognitiver Belastung (TWT-A) deutlich sensitiver.

6.3.4.2 Gruppenunterschiede auf Grundlage der Interferenzeffekte im TWT

Die motorischen und kognitiven DAK in den einzelnen Bedingungen des TWT (TWT-A & TWT-B) unterscheiden sich insgesamt voneinander, wobei die kognitiven Interferenzen insgesamt höher ausfallen. Höhere motorische DAK (-66.3%) können in der Bedingung TWT-B beobachtet werden (im Vergleich dazu -28.7% beim TWT-A, $p < .001$). Dagegen lassen sich in der Bedingung TWT-A höhere kognitive DAK beobachten (-39.2%; im Vergleich dazu -94.1% beim TWT-B, $p < .001$). Auch zwischen den Bedingungen des TWT gibt es einen Unterschied in den motorischen und kognitiven DAK. So zeigen alle Gruppen in der Bedingung mit hoher kognitiver Belastung (TWT-B) größere motorisch-bedingte kognitive DAK im Vergleich zu kognitiv-bedingten motorischen DAK ($p < .001$). In der Bedingung mit leichter kognitiver Belastung (TWT-A) lassen sich über alle Gruppen hinweg ebenfalls größere motorisch-bedingte kognitive DAK beobachten ($p < .001$). Die Größenordnung der motorischen Leistungseinbußen ist im Vergleich zu den in dem Überblicksbeitrag von Kelly et al. (2012) zusammengefassten Studien größer. In den von Kelly und Kollegen eingeschlossen Studien wird ein Bereich zwischen -1% bis -59% kognitiv-bedingter motorischer DAK berichtet. Dies deutet darauf hin, dass der TWT deutlich anspruchsvoller ist und vermehrt kognitive Ressourcen beansprucht als das Gehen auf gerader Strecke (Bond & Morris, 2000; Galletly & Brauer, 2005; Hausdorff, Balash, & Giladi, 2003; LaPointe, Stierwalt, & Maitland, 2010; Yogev, Giladi, Peretz, Springer, Simon, & Hausdorff, 2005; Yogev, Plotnik, Peretz, Giladi, & Hausdorff, 2007) oder beim Gehen mit nur einer 180 Grad Drehung (Camicioli, Oken, Sexton, Kaye, & Nutt, 1998; Campbell, Rowse, Ciol, & Shumway-Cook, 2003; Lord, Baker, Nieuwboer, Burn, & Rochester, 2011; Rochester et al. 2008; Spildooren et al. 2010). Im Vergleich zu den wenigen

Studien, die DAK auch für die kognitive Zweitaufgabe berechnen (Galletly & Brauer, 2005, mit +31% und +72%, deutet auf eine Verbesserung und eine Priorisierung der kognitiven Aufgabe; O'Shea, Morris, & Iansek, 2002, mit -5%; Yogev et al., 2005, mit -42%), lassen sich in der hier vorliegenden Studie ebenfalls um ein Vielfaches größere kognitive Interferenzen finden. Mit -392% (TWT-A) und -28.7% (TWT-B) motorisch-bedingten kognitiven DAK lassen sich insbesondere bei leichter kognitiver Belastung hohe kognitive Leistungseinbußen beobachten.

Eine mögliche Erklärung für die enormen kognitiven DAK im TWT-A ist, dass das relativ einfache Zählen in aufsteigender Reihenfolge trotz Ressourcenallokation in Richtung motorischer Aufgabe möglich ist, um die Aufgabenstellung zu erfüllen. Beim TWT-B erfordert die kognitive Aufgabe (Zahlen und Buchstaben alternierend und in aufsteigender Reihenfolge anlaufen) hingegen vermehrt kognitive Ressourcen, was dazu führt, dass die limitierten Aufmerksamkeitsressourcen (Tombu & Jolicœur, 2003) in Richtung der kognitiven Aufgabe verlagert werden müssen um den TWT-B zu absolvieren. Um die Aufgabenstellung des TWT also möglichst erfolgreich zu bearbeiten ist eine strategische Zuteilung von Aufmerksamkeitsressourcen erforderlich. Entgegen den theoretischen Erwartungen lassen sich in der hier vorliegenden Studie keine gruppenspezifischen Muster dieser Zuteilung beobachten. Es scheint als haben PD-Patienten und die Kontrollgruppe bei komplexen Fortbewegungsaufgaben vergleichbare Muster motorisch-kognitiver Interferenzen. Zwischen den Gruppen lassen sich weder in den motorischen noch in den kognitiven DAK Unterschiede finden. Beide PD-Gruppen und die Kontrollgruppe zeigen bei kognitiven Aufgaben mit erhöhtem Schwierigkeitsgrad (TWT-B) eine riskante Ressourcenallokation in Richtung kognitiver Aufgabe („Posture Second“-Strategie) (Bloem et al., 2006). Bei leichter kognitiver Zusatzaufgabe (TWT-A) hingegen kann eine Ressourcenallokation in Richtung motorische Aufgabe beobachtet werden („Posture First“-Strategie) (siehe Wild et al., 2013).

Die berechneten *AUC*-Werte für die motorischen DAK des TWT zeigen eine nur schwache bis nicht informative Diskriminationsfähigkeit (TWT-A, *AUC* = .588 bis .659 und für TWT-B, *AUC* = .479 bis .541) zwischen den Gruppen. Auch auf Grundlage der kognitiven DAK zeigen die *AUC*-Werte eine nur schwache bis nicht informative

diagnostische Differenzierungsfähigkeit zwischen den Gruppen (TWT-A, $AUC = .413$ bis $.528$; TWT-B, $AUC = .544$ bis $.615$; siehe Tabelle 29).

Da PD-Patienten in der vorliegenden Studie keine Unterschiede zur Kontrollgruppe in den Leistungen im MoCA zeigen (siehe Tabelle 25), kann davon ausgegangen werden, dass ausreichend mentale Kapazität zur Verfügung steht um den Verlust der automatisierten Bewegung durch eine spezifische Ressourcenallokation in Richtung motorischer Aufgabe weitestgehend zu kompensieren und dabei die Leistung in der kognitiven Aufgabe aufrechtzuerhalten (vgl. Maidan, Rosenberg-Katz, Jacob, Giladi, Deutsch, Hausdorff, & Mirelman, 2016). Bei Personen mit kognitiver Einschränkung können größere Interferenzeffekte (Klotzbier & Schott, 2017) im TWT beobachtet werden. Bei PD-Patienten mit kognitiven Defiziten wird demnach aufgrund der reduzierten mentalen Ressourcen erwarten, dass eine Kompensation des Automatisierungsdefizits nicht möglich ist und DAK deutlicher ausfallen.

6.3.4.3 Allgemeine Diskussion

Da mehrere Faktoren zu den Defiziten unter Doppelaufgaben bei PD beitragen, ist es wahrscheinlich, dass eine Reihe verschiedener Mechanismen zu diesen Defiziten führen (Kelly et al., 2012). Zu den unspezifischen Mechanismen gehören theoretische Rahmenmodelle der Informationsverarbeitung wie die Ressourcentheorien (Kahneman, 1979; Wickens, 1992). PD spezifische Erklärungsansätze umfassen eine reduzierte Automatisierung von Bewegungen, welche in einer Dopamin-vermittelten Dysfunktion der Basalganglien begründet liegt. Bei hoch automatisierten Bewegungen wird angenommen, dass diese von den Basalganglien gesteuert werden (Ashby, Turner, & Horvitz, 2010). Dadurch ist es einer Person theoretisch möglich ihre Aufmerksamkeit auf die Kontrolle einer kognitiven Zweitaufgabe zu richten (Bond & Morris, 2000). Durch eine aufmerksame Kontrolle automatisierter Bewegungen (Gehen) können die Basalganglien hypothetisch auch umgangen werden. Bei PD können normale Bewegungsmuster erzeugt werden, wenn die Aufmerksamkeit auf die Bewegung gerichtet wird. Die Strategien der Ressourcenzuteilung sind allerdings

von einer Vielzahl an Faktoren abhängig (Sturzangst, sturzassoziierte Selbstwirksamkeit, Relevanz der kognitiven Aufgabe, Aufgabenschwierigkeit und Expertise, Motivation, etc.). Die Muster motorisch-kognitiver Interferenzen in den Gruppen sind jedenfalls unerwartet. Aufgrund der Probleme mit der posturalen Kontrolle (Mancini et al., 2011) und Beeinträchtigungen verschiedener Aspekte der kognitiven Fähigkeiten (u.a. Kehagia, Barker, & Robbins, 2010) bei PD-Patienten wären erhöhte DAK bei PD zu erwarten gewesen (vgl. Amboni et al., 2012; Marchese et al., 2003; Kelly et al., 2012).

Dieses Ergebnis kann auch damit begründet werden, dass die Pathologie bei PD, die für Defizite unter Doppelaufgaben verantwortlich gemacht wird, nicht allein auf die Basalganglien und das Fehlen von Dopamin begrenzt ist (Kelly et al., 2012). Auch nicht dopaminerge Pathologien anderer Neurotransmittersysteme, die sowohl das Gehen als auch das Gleichgewicht beeinflussen können, werden als Erklärungsmechanismen herangezogen. Sie umfassen weitere Neurotransmittersysteme wie Serotonin, Noradrenalin oder Acetylcholin (Kehagia et al., 2010; Barone, 2010; Levenez, Quinn, Zabetian, Zhang, Montine, & Montine, 2009). Funktionsstörungen in verschiedenen Neurotransmittersystemen können zu Gangstörungen und kognitiven Beeinträchtigungen beitragen. Laut Kelly und Kollegen (2012) sind demnach auch nicht dopaminerge Schaltkreise für Defizite beim Gehen unter Doppelaufgabenbedingung verantwortlich.

Ein weiterer Erklärungsansatz einer unzureichenden Differenzierung zwischen den Gruppen ist, dass die Einteilung in die genannten Motorsubtypen durch den Klassifizierungsalgorithmus nach Jankovic et al. (1990) nur das Verhältnis zwischen den Kardinalssymptomen (Tremor und posturale Instabilität) widerspiegelt. So konnten auch bei PD-TD mit starkem Tremor große Einschränkungen in der Gleichgewichtskontrolle beobachtet werden. Wenn mit dem UPDRS also eine Einteilung in die Motorsubtypen vorgenommen wird, stellt dies die Skala (hier insbesondere der UPDRS III; motorische Untersuchung) grundsätzlich in Frage. Während einige Neurologen

und Forscher die Skala verteidigen, sehen andere in ihr eine nur wenig repräsentative Momentaufnahme des aktuellen körperlichen Zustandes von PD-Patienten.⁴¹ Der Test beruht auf der subjektiven Bewertung durch einen Neurologen und ist hochgradig von der Expertise des Untersuchers abhängig. Die Zahlen können in Abhängigkeit der Tageszeit oder dem Zeitpunkt der Medikamenteneinnahme erheblich schwanken. All diese Faktoren erschweren die Prognose der Progression, machen die UPDRS Skala im Zeitverlauf zu einem wenig reliablen Messverfahren und erlaubt keine sichere Erfassung der Motorsubtypen bei PD.

6.3.5 Limitationen der Studie

Die Studie ist querschnittlich angelegt. Mit längsschnittlichen Untersuchungen können Veränderungen im Zeitverlauf abgebildet und Prognosen verbessert werden. Die Dauer der Erkrankung wurde nicht berücksichtigt, wobei die kognitiven Einschränkungen mit dem Krankheitsverlauf zunehmen (Aarsland et al., 2010; Aarsland & Kurz, 2010).

Neben den genannten Schwierigkeiten einer Zuteilung in die Motorsubtypen mit Hilfe der UPDRS und der geringen Objektivität des Messverfahrens wurden im Rahmen dieser Studie die DAK auf Grundlage der benötigten Zeiten berechnet. Wahrscheinlich sind andere Maße nötig, um Unterschiede zwischen beiden PD-Motorsubtypen zu zeigen. Gangparameter und deren Veränderungen unter Doppelaufgaben könnten eine differenziertere Aussage der motorischen Unterschiede zwischen diesen Phänotypen ermöglichen (Maetzler & Hausdorff, 2012; Belghali et al., 2017) und die Prognose der Progression verbessern.

Nach dem von McIsaac, Lamberg und Muratori (2015) konzeptualisierten Klassifikationsschema handelt es sich beim TWT nicht um eine Doppelaufgabe. Zentraler Aspekt ihres Ansatzes ist, dass die Leistungen beider Aufgaben in einem Doppelaufgabenparadigma unabhängig voneinander sind, getrennt gemessen werden können

⁴¹ Einer dieser Forscher war der frühere Intel-Chef Andy Grove, der 1999 an PD erkrankte. In einem Artikel in einer der weltweit erfolgreichsten Wirtschaftsmagazine (Forbes) lehnte er die UDPRS als ein „Stück Scheiße“ ab. (Zugriff am 12.09.2018 unter <https://www.forbes.com/forbes/2008/0128/070.html#772e-2491641e>)

und beide Aufgaben zwei distinkte Zielstellungen haben. Nach diesem Klassifikationssystem handelt es sich beim TWT eher um eine komplexe Einzelaufgabe als um eine Doppelaufgabe. Ungeachtet dieser Klassifikation kann die Leistung beider Aufgaben einzeln berechnet werden, auch wenn beide Aufgaben nicht unabhängig voneinander sind. So können die Bedingungen des TWT nur erfolgreich beendet werden, wenn beiden Aufgaben ein gewisses Maß an Aufmerksamkeit geschenkt wird. Man kommt nur an das Ziel und kann den TWT beenden, wenn man die Zahlen bzw. Buchstaben nacheinander richtig anläuft bzw. verbindet und dabei nicht stehen bleibt. Aus dieser Perspektive ist, um den TWT möglichst effektiv zu bearbeiten, eine strategische Ressourcenallokation erforderlich. Aufgaben mit einer spezifischen Zielstellung und der Integration von motorischer und kognitiver Aufgabe scheinen den alltäglichen Anforderungen von PD-Patienten zu entsprechen. So muss im Supermarkt gelaufen und dabei die Einkaufsliste berücksichtigt werden, mit dem Ziel die Zutaten für die Rezepte zu finden. Auch in solchen Situationen kann keine der Aufgaben vernachlässigt werden, weshalb der TWT eine ökologisch valide Doppelaufgabe darstellt.

6.3.6 Schlussfolgerung und Ausblick

Da PD zurzeit noch nicht heilbar ist, sind die Ziele der Behandlung hauptsächlich im Bereich der allgemeinen Verbesserung der Lebensqualität zu finden. Die Therapie von PD beruht in erster Linie auf einer frühzeitigen Erkennung und Behandlung der Symptome. Es wird dabei versucht die Selbstständigkeit der Betroffenen so lange wie möglich aufrechtzuerhalten. Wenn ältere Menschen nicht mehr flüssig und raumgreifend gehen können, so hat dies gravierende Auswirkungen auf ihren Mobilitätsgrad und ihre Selbstständigkeit (Ellis, Cavanaugh, Earhart, Ford, Foreman, & Dibble, 2011; Soh, Morris, & McGinley, 2011).

Die Ursachen für Gangstörungen bei PD sind wie bereits beschrieben multifaktoriell (Boonstra, Van Der Kooij, Munneke, & Bloem, 2008; bezüglich Stürze bei PD siehe Grimbergen, Munneke, & Bloem, 2004) und können durch Funktionsstörungen in verschiedenen Neurotransmittersystemen verursacht sein (Bohnen & Cham, 2006).

Derzeit gibt es keinen Goldstandard zur Bewertung der posturalen Instabilität und Gangstörungen, der alle Aspekte der kognitiven und physischen Merkmale bei PD umfasst (Bridenbaugh & Kressig, 2015). Doppelaufgaben sind im Vergleich zu Einzelaufgaben häufig sensitiver bei der Beurteilung dieser Gangstörungen (Vance, Healy, Galvin, & French, 2015; Klotzbier & Schott, 2017). Probleme, die unter Einzelaufgabenbedingung unerkannt bleiben, können mithilfe von Doppelaufgabenparadigmen zum Vorschein kommen. Der TWT beansprucht verschiedene Aspekte der Mobilität und prüft den Zusammenhang zwischen den kognitiven Funktionen und dem Gehen (Schott, 2015). Es ist eine ökologisch valide Doppelaufgabe und auf Grundlage der Ergebnisse der Intra-Klassen-Korrelation und der absoluten Inter-Trail-Reliabilität (drei Durchgänge pro Bedingung) ein geeignetes und zuverlässiges Verfahren. Insbesondere die rein motorische Bedingung zeigt hohe *ICC*-Werte und einen *SEM%* unter 1.

Basierend auf den Ergebnissen und in Bezug auf die Sensitivität und Spezifität des Verfahrens kann erwartungsgemäß mit der rein motorischen Bedingung des TWT (TWT-M) und auf Grundlage der Zeiten eine Differenzierung in die PD-Motorsubtypen vorgenommen werden. Heinzl, Maechtel, Hasmann, Hobert, Heger, Berg und Maetzler (2016) konnten zeigen, dass eine motorisch-motorische Doppelaufgaben (Gehen und Box-Checking Task) ein guter Prädiktor für zukünftige Stürze bei Patienten mit PD darstellt und eine motorisch-kognitive Doppelaufgabe (Gehen und in 7er Schritten rückwärts zählen) keine gute Vorhersage erlaubt. Die Autoren empfehlen entsprechend eine Kombination der DAK bei motorisch-motorischen Doppelaufgaben. In zukünftigen Studien wäre interessant zu prüfen, ob das Gehen mit Richtungsänderungen (TWT) und einer zusätzlichen motorischen Aufgabe (z.B. Box-Checking Task; analog zu den Untersuchungen von Heinzl et al. (2016) deutlichere Unterschiede in den DAK zwischen PD und einer Kontrollgruppe produziert.

6.4 Leichte kognitive Beeinträchtigung (Mild Cognitive Impairment; MCI)

6.4.1 Stichprobe

42 junge Erwachsene (18 Frauen; $M = 23.9$, $SD = 1.98$, Altersbereich: 20-28) und 43 ältere Erwachsene (21 Frauen; $M = 68.2$, $SD = 6.42$, Altersbereich: 60-81) nahmen freiwillig an der Studie teil (siehe Tabelle 30). Die jungen Teilnehmer waren Studierende der Universität Stuttgart. Die älteren Teilnehmer wurden schriftlich oder mündlich in Sozial- oder Sportvereinen rekrutiert. Bei der Rekrutierung älterer Teilnehmer wurden folgende Einschlusskriterien angewendet: 60 Jahre oder älter, Teilnehmer berichten normales Sehen und Hören ohne Seh- bzw. Hörfehler (korrigierte Seh- bzw. Hörfehler wurden ebenfalls eingeschlossen), selbstständige Gehfähigkeit und die Fähigkeit den Instruktionen des Testleiters zu folgen. Teilnehmer mit Arthrose wurden ausgeschlossen, da diese den Gang und das Gleichgewicht negativ beeinflussen kann. Personen mit neurologischen Störungen (z.B. zurückliegender Schlaganfall oder Morbus Parkinson), akuten Erkrankungen, psychischen Störungen oder die Einnahme von Psychopharmaka, welche die kognitive Leistungsfähigkeit beeinflussen können (Nascimbeni et al., 2015), wurden ebenfalls als Ausschlusskriterien definiert.

6.4.1.1 Soziodemografische Informationen, körperliche Aktivität und sturzassoziierte Selbstwirksamkeit

Grundlegende demografische Angaben sowie Informationen zur Krankheitsgeschichte wurden durch Befragung der Teilnehmer erhoben. Die Angaben beinhalten Informationen zum Alter und Geschlecht, der Ausbildung, der Medikamenteneinnahme sowie der körperlichen Aktivität. Die Größe und das Gewicht der Teilnehmer wurden gemessen und der Body-Mass-Index (BMI, kg/m^2) wurde berechnet.

Zur Einschätzung der körperlichen Aktivität wurden die Teilnehmer gebeten den German Physical Activity Questionnaire 50+ (German-PAQ-50+; Huy & Schneider, 2008), einem Fragebogen zur Erfassung der körperlichen Aktivität bei Personen im mittleren und höheren Erwachsenenalter, auszufüllen.

Zur Beurteilung der sturzassozierten Selbstwirksamkeit wurde die deutsche Kurzversion der ABC-Skala (ABC-D6; Schott, 2014) eingesetzt. Hierbei handelt es sich um ein Selbstbeurteilungsverfahren bestehend aus 6 Items, das einfache Aufgaben des täglichen Lebens (z.B. auf den Zehenspitzen oder auf einem Stuhl stehen, um nach einem Gegenstand zu greifen), ebenso wie komplexere Aufgaben (z.B. auf eine Rolltreppe bzw. von einer Rolltreppe steigen oder auf vereisten Gehwegen gehen) beinhaltet. Die Teilnehmer sollen beurteilen wie zuversichtlich sie sind, die aufgeführten 6 Aktivitäten durchführen zu können ohne dabei aus dem Gleichgewicht zu geraten. Die 6 Items werden mit einer Skala von 0% (überhaupt nicht zuversichtlich) bis 100% (absolut zuversichtlich) abgefragt. Durchschnittliche ABC-Werte unter 50% deuten auf eine niedrige sturzassozierte Selbstwirksamkeit hin. Werte zwischen 50 und 80% finden sich bei Personen mit einer moderaten sturzassozierten Selbstwirksamkeit. Gesunde, sportlich-aktive Erwachsene erzielen durchschnittlich $\geq 80\%$ (absolut zuversichtlich) (Myers et al., 1998). Darüber hinaus wurden die Teilnehmer nach ihren Sturzerfahrungen in den letzten 6 Monaten gefragt. Ein Sturz wird hierbei definiert als Unfallereignis, das durch den Verlust des Gleichgewichts im Stehen oder aus der Bewegung heraus resultiert. Ein Ereignis, bei welchem die betreffende Person unbeabsichtigt auf dem Boden oder einer anderen niedrigeren Fläche aufkommt. Stürze, die durch Gewalteinwirkung von außen, plötzlichem Bewusstseinsverlust, plötzlicher Lähmung oder durch Krampfanfälle bedingt sind, werden dabei ausgeschlossen (Finlayson & Peterson, 2010)

6.4.1.2 Montreal Cognitive Assessment (MoCA)

Leichte kognitive Einschränkung (engl.: Mild Cognitive Impairment; MCI) ist definiert durch eine objektive Beeinträchtigung in einem oder mehreren kognitiven Bereichen, typischerweise in den Gedächtnisleistungen (Albert et al., 2011). Im Rahmen dieser Studie wurde die kognitive Leistungsfähigkeit anhand des MoCA's (Montreal Cognitive Assessment; Punktebereich: 0-30; Nasreddine et al., 2005) überprüft. Dieses Instrument scheint bei kognitiv intakten älteren Erwachsenen sensitiv auf leichte kog-

nitiv Einbußen zu reagieren (Duffin et al., 2012; Kenny et al., 2013). Der Test verwendet eine Reihe von Fragen und Aufgaben, um die verschiedenen Aspekte der kognitiven Leistungsfähigkeit zu testen. Er berücksichtigt unterschiedliche kognitive Bereiche: Aufmerksamkeit und Konzentration, Exekutivfunktionen, Gedächtnis, Sprache, visuokonstruktive Fähigkeiten, konzeptuelles Denken, Rechnen und Orientierung. Der zeitliche Rahmen der Durchführung beträgt ungefähr 10 Minuten. Das höchstmögliche Auswertungsergebnis ist 30 Punkte, ein Ergebnis von 26 oder mehr Punkten wird als normal betrachtet. Dieser Wert erwies sich als optimaler Trennwert für das Screening von pMCI mit hoher Spezifität und hoher Reliabilität (Nasreddine et al., 2005). Auf Grundlage des alters- und bildungsbereinigten⁴² MoCA-Ergebnisses wurden die 43 älteren Erwachsenen in zwei Gruppen unterteilt: ältere Personen ohne pMCI⁴³ ($\text{MoCA} > 25$; $n = 24$) und Personen mit pMCI ($\text{MoCA} \leq 25$; $n = 19$). Während Lonie, Tierney und Ebmeier (2009) den Einsatz des MoCA's zur Überprüfung des globalen kognitiven Status empfehlen, weisen Lister, Bush, Ansel, Matthews, Morgan und Edwards (2016) darauf hin, dass Teilnehmer mit niedrigen Werten im MoCA zusätzlich andere neurologische Störungen – welche in der Voruntersuchung nicht berichtet wurden – haben könnten.

6.4.2 Datenanalyse

Der Zusammenhang zwischen dem TMT, TWT, den DAK und den Stichprobencharakteristiken wurde anhand des Pearson-Korrelationskoeffizienten (r) berechnet. Um den Effekt der verschiedenen kognitiven Bedingungen und Schwierigkeitsstufen zu prüfen, wurde eine 3 (Gruppe) x 3 (Bedingung) ANOVA mit Messwiederholung für die Zeiten im TMT und TWT berechnet. Zwischensubjektfaktor ist die Gruppe (junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI) und Innersubjektfaktor ist die Bedingung (rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben).

⁴² Angepasster MoCA Score = Rohwert im MoCa – $4.228 \times [\log_{10}(100 - \text{Alter}) - 1.58]$ – $3.201 \times [\text{Quadratwurzel}(\text{Ausbildungsjahre}) - 3.25]$ (Santangelo et al., 2015)

⁴³ Da es sich beim MoCA nicht um ein diagnostisches Instrument, sondern ein Screeningtool handelt, wird der Begriff pMCI gewählt.

Gruppenunterschiede innerhalb der Bedingungen wurden mit einer einfaktoriellen ANOVA berechnet.

Für die Berechnung der motorisch-kognitiven Interferenzen wurde sowohl für den TMT (feinmotorische Aufgabe) als auch für den TWT (grobmotorische Aufgaben) eine 3 (Gruppe: junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI und ältere Erwachsene mit pMCI) x 2 (Bedingung: Zahlen vs. Zahlen und Buchstaben) x 2 (Interferenzen: motorische vs. kognitive) ANOVA mit Messwiederholung berechnet.

6.4.3 Ergebnisse

6.4.3.1 Stichprobencharakteristik

Erwartungsgemäß schnitten die Teilnehmer mit pMCI verglichen mit jungen Erwachsenen schlechter ab im BMI, Ausbildungsstatus, Medikation, körperliche Aktivität, Gehgeschwindigkeit, sturzassoziierte Selbstwirksamkeit. Einen Unterschied zwischen älteren Teilnehmern mit (MoCA < 25) und ohne (MoCA > 25) pMCI konnte nur für den Body-Mass-Index beobachtet werden, $\chi^2(4) = 9.64$, $p = .047$, wobei in der Gruppe mit pMCI 52.6%, in der Gruppe mit jungen Erwachsenen 19.0% und bei älteren Erwachsenen ohne pMCI 43.5% übergewichtige Personen teilgenommen haben.

Tab. 30: Stichprobencharakteristik der jungen Erwachsenen, älteren Erwachsenen ohne pMCI und älteren Erwachsenen mit pMCI, einschließlich Mittelwerte (Standardabweichung) und Testwerte des MoCA.

	Junge Erwachsene (n = 42)	Ältere Erwachsene ohne pMCI MoCA > 25 (n = 24)	Ältere Erwachsene mit pMCI MoCA ≤ 25 (n = 19)	stat. Analyse
Geschlecht	24 M, 18 F	11M, 13 F	11 M, 8 F	$CHI^2(2) = 0.93$
Alter (Jahre)	23.9 (1.98)	67.5 (6.88) [†]	69.1 (5.86) [†]	$F(2,82) = 914^{**}$, $\eta^2_p = .957$
BMI (kg/m ²)	22.9 (2.18)	24.6 (3.83)	26.0 (4.09) ^{†, #}	$F(2,81) = 6.62^{**}$, $\eta^2_p = .140$
MoCA angepasst	NA	27.0 (1.76)	23.5 (2.35)	$t(41) = 5.69^{**}$, $d = 1.78$
Ausbildung (Jahre)	13.2 (2.02)	11.3 (2.64) [†]	12.2 (3.14)	$F(2,82) = 5.01^{**}$, $\eta^2_p = .109$
Medikation (n)	0.10 (0.30)	0.71 (0.81) [†]	1.16 (0.96) [†]	$F(2,82) = 18.9^{**}$, $\eta^2_p = .315$
PAQ50+ (h/Woche)	43.7 (21.8)	47.9 (22.5)	53.5 (30.3)	$F(2,82) = 1.11$, $\eta^2_p = .026$

	Junge Erwachsene (n = 42)	Ältere Erwachsene ohne pMCI MoCA > 25 (n = 24)	Ältere Erwachsene mit pMCI MoCA ≤ 25 (n = 19)	stat. Analyse
Bewegung im Verein (min/Woche)	289 (218)	118 (205) [†]	109 (102) [†]	$F(2,82) = 8.67^{**}$, $\eta^2_p = .174$
10m-Gehen				$F(2,82) = 3.49^*$, $\eta^2_p = .078$
Geschw. (m/s)	2.16 (0.40)	1.95 (0.42)	1.87 (0.56)	$F(2,81) = 4.59^*$, $\eta^2_p = .102$
Schritte (n)	11.9 (1.40)	13.1 (1.96) [†]	13.0 (2.05)	
ABC-D6 (%)	92.4 (7.46)	85.0 (16.2)	80.0 (15.7) [†]	$F(2,82) = 4.88^{**}$, $\eta^2_p = .106$
≥ 1 Sturz in den letzten 6 Monaten (n)	0.17 (0.38)	0.25 (0.44)	0.37 (0.50)	$F(2,82) = 1.50$, $\eta^2_p = .035$

Anmerkung. pMCI = probable mild cognitive impairment; n = Fallzahl; ** $p < .01$; * $p < .05$; † Signifikanter Unterschied zu jüngeren Erwachsenen ($p < .05$); # Signifikanter Unterschied zu älteren Erwachsenen mit einem MoCA > 25 ($p < .05$).

6.4.3.2 Trail-Making Test

6.4.3.2.1 Zeiten

Die Zeiten in allen drei Bedingungen des TMT und in allen Gruppen sind normalverteilt ($p < .05$). Das Alter ($r = -.705 - -.743$, $p < .001$), der Bildungsstatus ($r = .267 - .271$, $p < .05$), und der MoCA ($r = .370 - .427$, $p < .05$) korreliert signifikant mit den Zeiten im TMT-M, TMT-A und TMT-B. Das Geschlecht hat keinen Einfluss auf die Leistung im TMT.

Eine 3 (Gruppe: junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI) x 3 (Bedingung: rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) ANOVA mit Messwiederholung der Zeiten für den TMT zeigt signifikante Haupteffekte für Bedingung, $F(1.24, 101) = 352$, $p < .001$, $\eta^2_p = .811$, und Gruppe, $F(2, 82) = 73.7$, $p < .001$, $\eta^2_p = .642$. Die Post-hoc Analyse ergab, dass alle drei Bedingungen des TMT sich sowohl insgesamt, als auch innerhalb der Gruppen voneinander unterscheiden (TMT-M: $M = 17.7$, $SE = .578$; TMT-A: $M = 29.7$, $SE = .789$; TMT-B: $M = 59.1$, $SE = 2.19$) ($p < .001$). Darüber hinaus führt die ANOVA zu einer signifikanten Interaktion von Bedingung x Gruppe, $F(2.47, 101) = 33.9$, $p < .001$, $\eta^2_p = .417$, wobei die Gruppenunterschiede mit zunehmender kognitiver Belastung größer werden (siehe Abbildung 41).

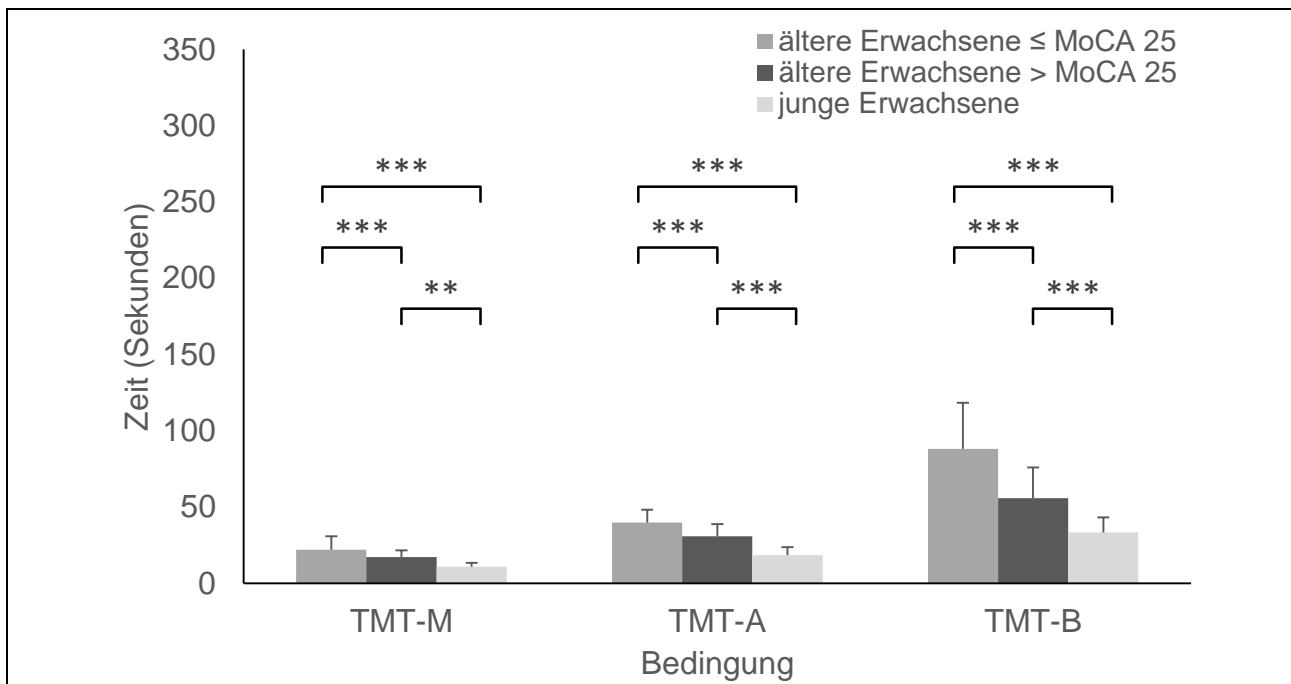


Abb. 41: Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI) und Bedingungen des TMT (TMT-M, TMT-A & TMT-B) auf Grundlage der Zeiten (***) $p < .001$, ** $p < .01$).

6.4.3.2.2 DAK

In Tabelle 31 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der berechneten DAK für die feinmotorische (TMT) Aufgabe dargestellt.

Tab. 31: Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den feinmotorischen Doppelaufgaben (TMT-A, TMT-B) unterteilt in die drei Gruppen (junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI).

	Junge Erwachsene (n = 27)	Ältere Erwachsene ohne pMCI (n = 16)	Ältere Erwachsene mit pMCI (n = 20)	stat. Analyse
TMT DAK				
motor. DAK TMT-A	-68.5 (44.8)	-88.4 (54.4)	-97.8 (60.2)	$F(2,82) = 2.52$, $p = .087$, $\eta^2_p = .058$
motor. DAK TMT-B	-217 (112) [#]	-220 (94.9) [#]	-324 (112)	$F(2,82) = 7.09$, $p = .001$, $\eta^2_p = .147$
kogn. DAK TMT-A	-202 (142)	-176 (144)	-36 (92.6)	$F(2,82) = 1.86$, $p = .163$, $\eta^2_p = .043$
kogn. DAK TMT-B	-58.8 (32.6) [#]	-52.8 (24.8) [#]	-32.4 (9.53)	$F(2,82) = 6.24$, $p = .003$, $\eta^2_p = .132$

Anmerkung. DAK = Doppelaufgabenkosten; # Signifikanter Unterschied zu ältere Erwachsene mit pMCI ($p < .05$); Dargestellt sind die empirischen Mittelwerte und Standardabweichungen.

Bezüglich der proportionalen DAK wurde eine 3 (Gruppe: junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI) x 2 (Bedingung: hohe vs. niedrige kognitive Belastung) x 2 (Interferenzen: kognitive vs. motorische) ANOVA mit Messwiederholung für die Zeiten im TMT berechnet.

Die Ergebnisse zeigen signifikante Haupteffekte für Bedingung, $F(1, 82) = 5.89, p < .017, \eta^2_p = .067$, und Interferenz, $F(1, 82) = 13.7, p < .001, \eta^2_p = .144$. Signifikante Interaktionseffekte können für Bedingung x Gruppe, $F(1, 82) = 4.29, p = .017, \eta^2_p = .095$, Interferenz x Gruppe, $F(1, 82) = 4.68, p < .012, \eta^2_p = .102$, und Bedingung x Interferenz, $F(1, 82) = 333, p < .001, \eta^2_p = .802$, berichtet werden.

Die Post-hoc Analyse zeigt signifikant größere DAK bei der Aufgabe mit hoher kognitiver Belastung (TMT-A: $M = -129, SE = 5.69$; TMT-B: $M = -150, SE = 5.08$) ($p = .017$). Die motorischen Interferenzen fallen im Vergleich zu den kognitiven Interferenzen insgesamt größer aus (motorisch: $M = -169, SE = 8.19$; kognitiv: $M = -110, SE = 8.73$) ($p < .001$). Die Interaktion Bedingung x Gruppe zeigt, dass ältere Erwachsene mit pMCI insbesondere unter hoher kognitiven Belastung größere Leistungseinbußen haben (TMT-A: $M = -117, SE = 11.4$; TMT-B: $M = -178, SE = 10.2$). Die Interaktion Interferenz x Gruppe verdeutlicht, dass insbesondere ältere Erwachsene mit pMCI verglichen mit den kognitiven DAK deutlich größere motorische DAK haben (motorisch: $M = -210, SE = 16.4$; kognitiv: $M = -84.3, SE = 17.5$). Der Interaktionseffekt Bedingung x Interferenz zeigt, dass bei geringer kognitiver Belastung die kognitiven Interferenzen (motorisch: $M = -84.9, SE = 5.87$; kognitiv: $M = -173, SE = 15.3$) und bei hoher kognitiver Belastung die motorischen Interferenzen (motorisch: $M = -253, SE = 12.4$; kognitiv: $M = -47.9, SE = 3.08$) größer ausfallen.

6.4.3.3 Trail-Walking Test

Die relativen und absoluten Reliabilitätsmaße ($ICC, SEM, MDC95$) werden in Tabelle 32 dargestellt. Die Reliabilität zwischen den Durchgängen war für alle Bedingungen und Gruppen gut bis exzellent, mit ICC Werten zwischen 0.83 und 0.97. Insgesamt lag der SEM zwischen 1.06-7.76s. Der $SEM\%$ war bei allen Bedingungen und Grup-

pen gering (4.2-10.8%). In 98% der Beobachtungen wurde ein $SEM\% \leq 10\%$ gefunden. Der SEM schwankte bei jungen Erwachsenen zwischen 1.06-3.18s, bei älteren Erwachsenen ohne pMCI zwischen 1.28-3.95s und bei älteren Erwachsenen mit pMCI zwischen 1.44-7.76s. Bei einem Vergleich der Gruppen zeigte sich, dass Personen ohne pMCI 100% unterhalb der Schwelle von $SEM\% = 10\%$ liegen. Bei Personen mit pMCI sind es lediglich 95% der Beobachtungen. Insgesamt lag der $MDC95$ bezüglich der absoluten Zeiten im TWT zwischen 2.95-21.7s. Die $MDC95\%$ schwankte für die gesamte Stichprobe zwischen 11.2-30.1% und lag damit unterhalb von $\leq 30\%$ (außer bei älteren Erwachsenen mit pMCI; $MDC95\% = 30.1$).

Tab. 32: Ergebnisse der Intra-Klassen-Korrelation (ICC) und der absoluten Inter-Trail-Reliabilität (SEM) und die MDC95 für alle drei Bedingungen des TWT in der Untersuchung mit pMCI.

	Junge Erwachsene (n = 27)			Ältere Erwachsene ohne pMCI (n = 16)			Ältere Erwachsene mit pMCI (n = 20)		
	ICC (95% CI)	SEM/ SEM (%)	MDC95/ MDC95 %	ICC (95% CI)	SEM/ SEM (%)	MDC95/ MDC95 %	ICC (95% CI)	SEM/ SEM (%)	MDC95/ MDC95 %
TWT-M	0.901 (0.85- .94)	1.06/ 4.62	2.95/ 12.9	0.967 (0.94- 0.98)	1.28/ 4.00	3.57/ 11.2	0.968 (0.94- 0.99)	1.44/ 4.15	4.02/ 11.6
TWT-A	0.908 (0.86- 0.95)	1.50/ 4.94	4.18/ 13.8	0.884 (0.79- 0.94)	2.57/ 5.79	7.19/ 16.2	0.892 (0.79- 0.95)	4.65/ 8.81	13.0/ 24.6
TWT-B	0.864 (0.79- 0.92)	3.18/ 8.72	8.88/ 24.4	0.869 (0.76- 0.94)	3.95/ 7.24	11.0/ 20.2	0.827 (0.66- 0.93)	7.76/ 10.8	21.7/ 30.1

Anmerkung. Zur Berechnung der Reliabilitätsmaße wurden 5 Durchgänge (Beobachtungszeitpunkte) einbezogen; CI = confidence intervall (deutsch: Vertrauensintervall); SEM = standard error of measurement (deutsch: Standardmessfehler, Maß für die Genauigkeit von Testergebnissen); MDC = minimal detectable change (deutsch: minimalste nachweisbare Veränderung).

6.4.3.3.1 Zeiten

Die Zeiten in allen drei Bedingungen des TWT und in allen Gruppen sind normalverteilt ($p < .05$). Das Alter ($r = -.761 - -.824$, $p < .001$), der Ausbildungsstatus ($r = -.191 - .259$, $p < .10$), die sturzassoziierte Selbstwirksamkeit ($r = -.240, -.587$, $p < .01$) und der MoCA ($r = -.410 - -.530$, $p < .01$) korrelieren signifikant mit den Zeiten im TWT-M, TWT-A und TWT-B. Das Geschlecht hat lediglich einen Einfluss auf die Leistung

im TWT-M, $t(60.2) = -2.55$, $p = .017$, $d = -0.66$, mit geringeren Bearbeitungszeiten bei Männern im Vergleich zu Frauen.

Eine 3 (Gruppe: junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI) x 3 (Bedingung: rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) ANOVA mit Messwiederholung der Zeiten für den TWT zeigt signifikante Haupteffekte für Bedingung, $F(1.89, 154) = 428$, $p < .001$, $\eta^2_p = .839$, und Gruppe, $F(2, 82) = 85.9$, $p < .001$, $\eta^2_p = .677$. Die Post-hoc Analyse ergab, dass alle drei Bedingungen des TWT sich sowohl insgesamt, als auch innerhalb der Gruppen voneinander unterscheiden (TWT-M: $M = 29.9$, $SE = .616$; TWT-A: $M = 40.5$, $SE = .926$; TWT-B: $M = 54.4$, $SE = 1.09$) ($p < .001$). Während in der Bedingung mit rein motorischer Aufgabe (TWT-M) kaum Unterschiede zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI zu beobachten sind, können – wie bereits erwähnt – bei älteren Erwachsenen mit pMCI mit zunehmender kognitiver Belastung erhöhte Zeiten beobachtet werden. Der Interaktionseffekt Bedingung x Gruppe, $F(3.56, 154) = 428$, $p < .001$, $\eta^2_p = .839$, wird signifikant. Diese Interaktion verdeutlicht, dass ältere Erwachsene insbesondere in Aufgaben mit kognitiver Belastung (TWT-A und TWT-B) länger benötigen als jüngere Erwachsene. Einen Unterschied zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI wird mit zunehmender kognitiver Belastung deutlicher (TWT-M: $p = .319$; TWT-A: $p = .005$; TWT-B: $p < .001$; siehe Abbildung 42). Demnach zeigen ältere Erwachsene mit pMCI im Vergleich zu älteren Erwachsenen ohne pMCI insbesondere im TWT-B deutliche Unterschiede und eine schlechtere Leistung.

Eine 3 (Gruppe: junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI) x 3 (Bedingung: rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) x 5 (Durchgänge) ANCOVA mit Messwiederholung der Fehler für den TWT und mit Alter und dem Ausbildungsstatus als Kovariaten zeigt einen signifikanten Interaktionseffekt Bedingung x Gruppe, $F(4, 160) = 6.94$, $p < .001$, $\eta^2_p = .148$. Diese Interaktion verdeutlicht, dass ältere Erwachsene insbesondere in Aufgaben mit kognitiver Belastung (TWT-A und TWT-B) mehr Fehler machten als jüngere Erwachsene. Ein Unterschied zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI wird mit zunehmender kognitiver Belastung deutlicher. Demnach zeigen ältere Erwachsene mit pMCI im Vergleich zu älteren Erwachsenen ohne pMCI insbesondere im TWT-B deutliche

Leistungsunterschiede und machen vermehrt Fehler. Die Post-hoc Analyse zeigt, dass nur für den TWT-B Unterschiede zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI berichtet werden können ($p < .01$).

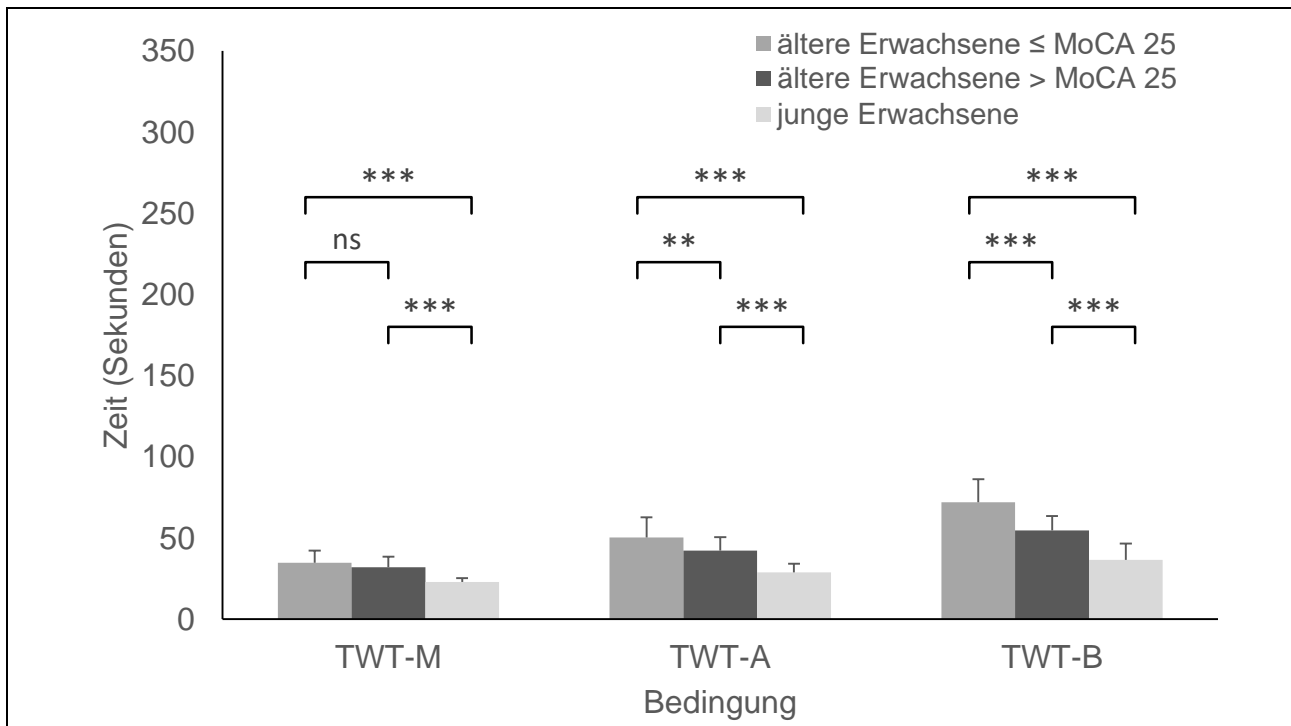


Abb. 42: Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen (junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI) und Bedingungen des TWT (TWT-M, TWT-A & TWT-B) auf Grundlage der Zeiten ($***p < .001$, $**p < .01$, ns = nicht signifikant).

6.4.3.3.2 DAK

In Tabelle 33 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der berechneten DAK für die grobmotorische (TWT) Aufgabe dargestellt.

Bezüglich der proportionalen DAK wurde eine 3 (Gruppe: junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI) x 2 (Bedingung: hohe vs. niedrige kognitive Belastung) x 2 (Interferenzen: kognitive vs. motorische) ANOVA mit Messwiederholung für die Zeiten im TWT berechnet.

Die Ergebnisse zeigen signifikante Haupteffekte für Gruppe, $F(1, 82) = 4.53$, $p = .014$, $\eta^2_p = .100$, Bedingung, $F(1, 82) = 50.2$, $p < .001$, $\eta^2_p = .380$, und Interferenz, $F(1, 82) = 48.8$, $p < .001$, $\eta^2_p = .373$. Signifikante Interaktionseffekte können für Bedingung x Gruppe, $F(2, 82) = 4.08$, $p = .020$, $\eta^2_p = .091$, Interferenz x Gruppe, $F(2, 82) = 10.2$, $p < .001$, $\eta^2_p = .200$, und für Bedingung x Interferenz, $F(2, 82) = 114$, $p < .001$, $\eta^2_p =$

.583, beobachtet werden. Die Dreifachinteraktion Bedingung x Interferenz x Gruppe wird tendenziell signifikant, $F(1, 82) = 2.41$, $p = .096$, $\eta^2_p = .056$.

Tab. 33: Mittelwerte und Standardabweichung der DAK in den grobmotorischen Doppelaufgaben (TWT-A, TWT-B) unterteilt in die drei Gruppen (junge Erwachsene, ältere Erwachsene ohne pMCI & ältere Erwachsene mit pMCI).

	Junge Erwachsene (n = 27)	Ältere Erwachsene ohne pMCI (n = 16)	Ältere Erwachsene mit pMCI (n = 20)	stat. Analyse
TMT DAK				
motor. DAK TWT-A	-26.2 (19.9) [#]	-33.2 (20.8)	-47.5 (35.9)	$F(2,82) = 5.38$, $p = .006$, $\eta^2_p = .116$
motor. DAK TWT-B	-59.8 (27.3) [#]	-73.9 (28.8) [#]	-111 (33.9)	$F(2,82) = 20.2$, $p < .001$, $\eta^2_p = .330$
kogn. DAK TWT-A	-431 (324) [#]	-304 (239) [#]	-194 (109)	$F(2,82) = 5.51$, $p = .006$, $\eta^2_p = .119$
kogn. DAK TWT-B	-87.5 (79.7) [#]	-67.1 (71.5) [#]	-12.8 (28.4)	$F(2,82) = 7.63$, $p = .001$, $\eta^2_p = .157$

Anmerkung. DAK = Doppelaufgabenkosten; # Signifikanter Unterschied zu ältere Erwachsene mit pMCI ($p < .05$); Dargestellt sind die empirischen Mittelwerte und Standardabweichungen.

Die Post-hoc Analyse bestätigt die signifikanten Unterschiede zwischen älteren Erwachsenen mit pMCI und jungen Erwachsenen (ältere Erwachsene mit pMCI: $M = -91.5$, $SE = 17.0$; junge Erwachsene: $M = -151$, $SE = 11.4$) ($p = .014$). Mit hoher kognitiver Belastung können größere Leistungseinbußen berichtet werden (TWT-A: $M = -129$, $SE = 5.69$; TWT-B: $M = -150$, $SE = 5.08$) ($p = .017$). Insgesamt werden höhere DAK in der kognitiven Aufgabe ($M = -183$, $SE = 17.2$) im Vergleich zur motorischen Aufgabe ($M = -58.7$, $SE = 2.55$) beobachtet. Der Interaktionseffekt Bedingung x Gruppe zeigt, dass die Unterschiede in den DAK zwischen TWT-A und TWT-B bei jungen Erwachsenen am größten ausfallen und bei älteren Erwachsenen mit pMCI am geringsten (TWT-A: $M = -229$, $SE = 20.7$; TWT-B: $M = -73.7$, $SE = 5.51$, bei jungen Erwachsenen und TWT-A: $M = -120$, $SE = 30.7$; TWT-B: $M = -62.1$, $SE = 8.19$, bei älteren Erwachsenen mit pMCI). Die Interaktion Gruppe x Interferenz zeigt, dass ältere Erwachsene mit pMCI im Vergleich zu beiden anderen Gruppen höhere motorische Leistungseinbußen und geringere kognitive Leistungseinbußen haben. Die Unterschiede in den DAK zwischen der motorischen Aufgabe und der kognitiven

Aufgabe fallen bei jungen Erwachsenen am größten aus und bei älteren Erwachsenen mit pMCI am geringsten (motorisch: $M = -43.0$, $SE = 3.43$; kognitiv: $M = -259$, $SE = 23.2$, bei jungen Erwachsenen und motorisch: $M = -79.4$, $SE = 5.09$; kognitiv: $M = -103$, $SE = 34.5$, bei ältere Erwachsene mit pMCI). Die Interaktion Bedingung x Interferenz zeigt, dass bei geringer kognitiver Belastung (TWT-A) die kognitiven Interferenzen größer sind (motorisch: $M = -35.6$, $SE = 2.68$; kognitiv: $M = -310$, $SE = 30.6$) und bei hoher kognitiver Belastung (TWT-B) die motorischen Interferenzen größer ausfallen (motorisch: $M = -81.7$, $SE = 3.36$; kognitiv: $M = -55.8$, $SE = 7.92$). Die Dreifachinteraktion verdeutlicht, dass insbesondere ältere Erwachsene mit pMCI bei hoher kognitiver Belastung motorische Interferenzen zeigen.

6.4.3.3 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen

Die Abbildung 43 zeigt die Verteilung der motorischen und kognitiven Interferenzen im TWT-A bei älteren Erwachsenen mit pMCI, jungen Erwachsenen und älteren Erwachsenen ohne pMCI.

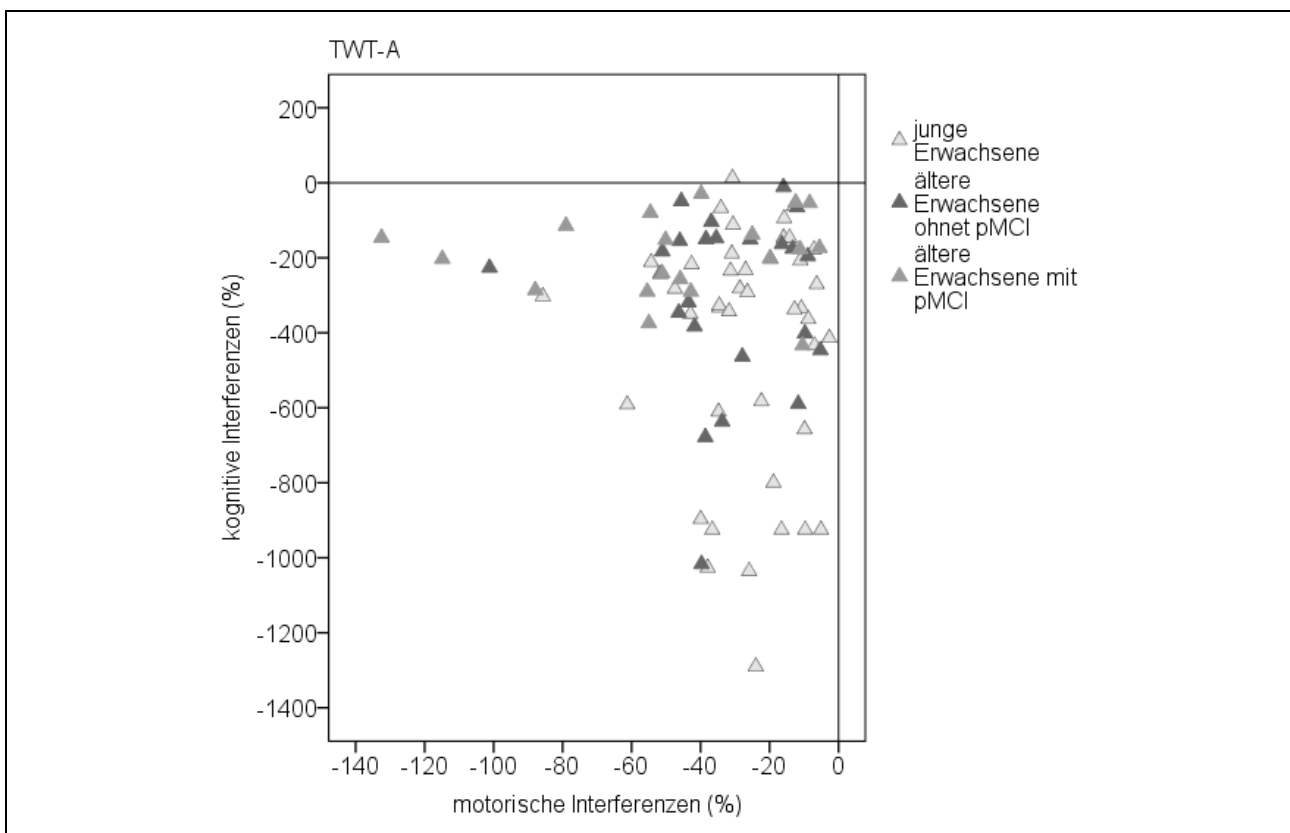


Abb. 43: Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-A auf Grundlage der Zeiten bei jungen Erwachsene, älteren Erwachsenen ohne pMCI und älteren Erwachsenen mit pMCI.

Die Abbildung verdeutlicht, dass bei einfacher kognitiver Aufgabe die motorische und kognitive Leistung unter Doppelaufgabenbedingung abnimmt. Es besteht somit bei fast allen Teilnehmern und in allen Gruppen wechselseitige Interferenzen der motorischen und kognitiven Aufgabe. Die Interferenzen in der motorischen Aufgabe fallen gruppenübergreifend gering aus. Die Höhe der motorischen und kognitiven Interferenzen und die Streubreite sind in allen Gruppen vergleichbar, wobei junge Erwachsene höhere kognitive Interferenzen zeigen. Ältere Erwachsene mit pMCI haben im Vergleich zu jungen und älteren Erwachsenen ohne pMCI größere Interferenzen in der motorischen Aufgabe. Ein positiver Effekt auf die motorische oder kognitive Leistung lässt sich in keiner der drei Gruppen beobachten.

In der Bedingung mit hoher kognitiver Zusatzbelastung (TWT-B, Abbildung 44) fallen die kognitiven Interferenzen geringer aus als im TWT-A.

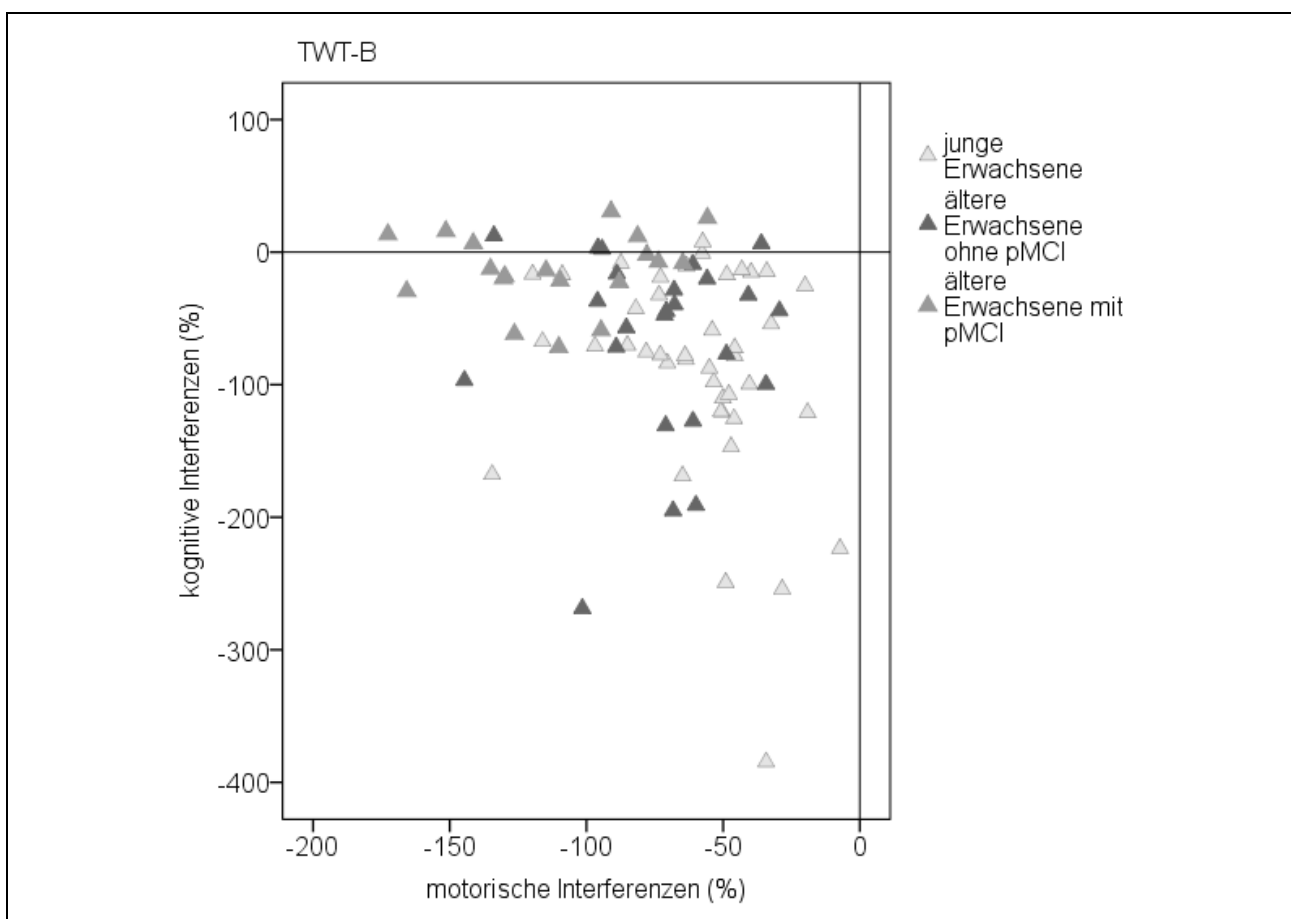


Abb. 44: Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen im TWT-B auf Grundlage der Zeiten bei jungen Erwachsene, älteren Erwachsenen ohne pMCI und älteren Erwachsenen mit pMCI.

Gruppenübergreifend kann auch im TWT-B eine wechselseitige Interferenz beobachtet werden. Einige wenige Teilnehmer zeigen geringe Interferenzen oder Verbesserungen in der kognitiven, jedoch Verschlechterungen in der Leistung der motorischen Aufgabe (kognitiv-bedingte motorische Interferenzen bzw. kognitive Aufgabenpriorisierung).

Junge Erwachsene zeigen erhöhte Interferenzen in der kognitiven Aufgabe. Ältere Erwachsene mit pMCI zeigen demgegenüber erhöhte Interferenzen in der motorischen Aufgabe mit geringer kognitiver Interferenz (kognitiv-bedingte motorische Interferenzen) oder Verbesserungen in der Leistung der kognitiven Aufgabe (kognitive Aufgabenpriorisierung).

6.4.3.4 ROC Analysen

Die drei Bedingungen des TWT erlauben eine optimale Differenzierung zwischen jungen Erwachsenen und beiden Gruppen mit älteren Erwachsenen ($AUC > .9$, $p < .001$). Eine Unterscheidung zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI ist allerdings nur mit Hilfe des TWT-B möglich ($AUC > .8$, $p < .001$; siehe Tabelle 34, fettgedruckt).

Neben den AUC -Werten ist auch auf Grundlage der motorischen und kognitiven DAK eine Differenzierung zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI möglich, allerdings nur bei Aufgaben mit hoher kognitiver Belastung.

Tab. 34: Statistiken und Schwellenwerte der Receiver-Operating-Characteristic-Kurven für den TWT (absolute Werte; motorische und kognitive DAK) zur Differenzierung zwischen jungen Erwachsenen, älteren Erwachsenen ohne pMCI und älteren Erwachsenen mit pMCI.

Bedingung	Gruppe	n	Youden Index	Sensitivität	Spezifität	Schwellenwert	AUC	p
TWT-M	Y vs. HC	42/24	0.74	95.8	78.6	25.31	.941	< .001
	Y vs pMCI	42/19	0.76	94.8	81.0	25.63	.955	< .001
	HC vs pMCI	24/19	0.22	47.4	75.0	33.71	.612	.211
TWT-A	Y vs. HC	42/24	0.86	100.0	85.7	36.09	.975	< .001
	Y vs pMCI	42/19	0.88	94.7	92.9	37.62	.985	< .001
	HC vs pMCI	24/19	0.44	52.6	91.7	52.63	.704	.020

Bedingung	Gruppe	n	Youden Index	Sensitivität	Spezifität	Schwellenwert	AUC	p
TWT-B	Y vs. HC	42/24	0.83	100.0	83.3	41.29	.953	< .001
	Y vs pMCI	42/19	0.99	100.0	99.9	54.69	.999	< .001
	HC vs pMCI	24/19	0.67	100.0	66.67	57.18	.860	< .001
motor. DAK TWT-A	Y vs. HC	37/24	0.41	70.8	70.3	-36.90	.678	.019
	Y vs pMCI	37/19	0.49	79.0	70.3	-37.00	.755	< .001
	HC vs pMCI	24/19	0.31	47.0	83.3	-50.14	.625	.165
motor. DAK TWT-B	Y vs. HC	41/24	0.34	75.0	58.5	-59.96	.646	.043
	Y vs pMCI	41/19	0.68	89.5	78.1	-73.70	.890	< .001
	HC vs pMCI	24/19	0.52	89.5	62.5	-73.70	.794	< .001
kogn. DAK TWT-A	Y vs. HC	37/24	0.25	62.5	62.2	-495	.602	.183
	Y vs pMCI	37/19	0.39	52.6	86.5	-283	.687	.017
	HC vs pMCI	24/19	0.28	52.6	75.0	-281	.596	.283
kogn. DAK TWT-B	Y vs. HC	41/24	0.19	33.3	85.4	-60.82	.564	.396
	Y vs pMCI	41/19	0.54	68.4	85.4	-60.82	.697	.020
	HC vs pMCI	24/19	0.43	68.4	75.0	-59.43	.662	.079

Abkürzungen: Y = Young (junge Erwachsene); HC = Healthy Controls (ältere Erwachsene ohne pMCI); pMCI = probable mild cognitive impairment (ältere Erwachsenen mit pMCI); TMT = Trail-Making Test; TWT = Trail-Walking Test; DAK = Doppelaufgabenkosten; AUC = area under the receiver-operating-characteristic-curve, für kontinuierliche Variablen wurden Grenzwerte aus der optimalen Kombination aus Sensitivität und Spezifität anhand des Youden-Index ermittelt. Die relevanten und im Text erwähnten Daten werden in der Tabelle durch Fettschrift hervorgehoben.

6.4.4 Diskussion

Ziel der Studie war, den TWT als potenzielles Früherkennungsverfahren für MCI zu bewerten. Der TWT gilt als reliables, valides Instrument um den Zusammenhang zwischen den kognitiven Funktionen und dem Gehen als grobmotorische Fertigkeit im Rahmen einer Doppelaufgabe zu prüfen (Schott, 2015). Der Einfluss verschiedener kognitiver Aufgaben mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad auf die motorisch-kognitiven Interferenzen bei jungen Erwachsenen und älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI stand hierbei im Fokus.

Alle Teilnehmer der Studie waren erwartungsgemäß langsamer unter Doppelaufgabenbedingung. Der Effekt war größer bei älteren Erwachsenen, insbesondere bei älteren Erwachsenen mit pMCI. Je größer die kognitive Belastung, desto größer der

Einfluss auf die Gehleistung. Auch der Unterschied zwischen den Gruppen wurde mit zunehmender kognitiver Belastung und Schwierigkeitsstufe größer.

6.4.4.1 Gruppenunterschiede auf Grundlage der Zeiten und Fehler im TWT

Die Leistung (Zeiten) in den einzelnen Bedingungen des TWT (TWT-M, TWT-A & TWT-B) unterscheiden sich sowohl insgesamt, als auch innerhalb der drei Gruppen wie erwartet voneinander. Unsere Ergebnisse stehen im Einklang mit den Ergebnissen von Pettersson et al. (2007) und Nascimbeni et al. (2015) wonach bei Personen mit MCI im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mit gesunden Gleichaltrigen reduzierte Gehgeschwindigkeiten unter Einzelaufgabenbedingung beobachtet werden konnten. Ähnlich den Ergebnissen von Lundin-Olsson et al. (1997) und Walshe et al. (2015) kann auch in dieser Studie der Einfluss einer kognitiven Zweitaufgabe auf die Gehleistung bestätigt werden. Walshe et al. (2015) berichteten kürzlich von großen negativen Effekten von Doppelaufgaben auf die Gehleistung. Die Effekte waren überwiegend bei kognitiven Aufgaben, welche die EF beanspruchen, erkennbar. Je höher die kognitive Belastung (Anforderungen an die EF speziell im TWT-B), desto länger wird für die Bearbeitung des TWT benötigt. Darüber hinaus werden mit zunehmender kognitiver Belastung auch die Gruppenunterschiede deutlicher. Insgesamt scheint der TWT ausreichend sensitiv, um ältere Erwachsene mit und ohne pMCI voneinander zu unterscheiden. Diese Differenzierung gelingt sowohl auf Grundlage der Zeiten als auch auf Grundlage der gemachten Fehler im TWT. Der erwähnte Interaktionseffekt (Gruppe x Bedingung) verdeutlicht, dass mit zunehmender kognitiver Belastung eine Differenzierung zwischen den Gruppen stärker ist.

Diese Ergebnisse deuten somit darauf hin, dass eine Doppelaufgabe mit dem Gehen als grobmotorische Aufgabe dazu beitragen kann Personen mit MCI frühzeitig zu erkennen. Die Studie bestätigt den starken Zusammenhang zwischen dem Gehen und der kognitiven Leistungsfähigkeit bei Personen mit kognitiven Einschränkungen (Allan et al., 2005; Camicioli et al., 1998; Holtzer et al., 2006; Pettersson et al., 2005; van Iersel et al., 2004) und zeigt, dass der Zusammenhang bei Personen mit kogni-

tiven Einschränkungen ausgeprägter zu sein scheint (Allali et al., 2015). Dieser Zusammenhang wird dadurch erklärt, dass es sich beim Gehen um eine komplexe motorische Aufgabe handelt, welche EF beansprucht (Hausdorff et al., 2005) und nicht rein automatisiert abläuft (Montero-Odasso et al., 2012; Schott et al., 2016). Dies trifft insbesondere auf Situationen wie im TWT zu, in denen nicht nur auf gerader Strecke gegangen, sondern im Raum orientiert und die Bewegungsrichtung verändert werden muss (Schott, 2015).

Basierend auf den berechneten *AUC*-Werten zeigt sich eine mittelmäßige (TWT-A, $AUC = .704$) und gute (TWT-B, $AUC = .860$) diagnostische Güte, um ältere Erwachsene mit und ohne pMCI zu unterscheiden, wobei nur im TWT-B eine ausreichend große Sensitivität (100%) zu beobachten ist. Auf Grundlage der berichteten Ergebnisse und der ausschließlichen Berücksichtigung der Zeiten im TWT erscheint eine Unterscheidung zwischen den Gruppen somit nur durch den TWT mit hoher kognitiver Belastung (TWT-B) angemessen.

6.4.4.2 Gruppenunterschiede auf Grundlage der Interferenzeffekte im TWT

Beim Blick auf die motorisch-kognitiven Interferenzen zeigt sich, dass die Fortbewegungsaufgabe (Gehen) Aufmerksamkeitsressourcen beansprucht und dass die aufmerksame Kontrolle des normalen Gehens bei älteren Personen als Voraussetzung angesehen werden kann (Smith et al., 2016). Insgesamt wurden höhere motorisch-bedingte kognitive Leistungseinbußen als kognitiv-bedingte motorische Leistungseinbußen beobachtet. Die kognitiv-bedingten motorischen Einbußen waren bei der Aufgabe mit hoher kognitiver Belastung größer (je höher der Schwierigkeitsgrad der kognitiven Aufgabe, desto größer die motorischen Interferenzen). Die Größenordnung der motorischen Leistungseinbußen sind vergleichbar mit den Ergebnissen von Salcovic et al. (2017), bei denen die Probanden auf einem am Boden markierten Kreis laufen mussten. Die kognitiven Interferenzen hingegen sind in der vorliegenden Studie um ein Vielfaches größer. Dies deutet darauf hin, dass der TWT deutlich anspruchsvoller ist und vermehrt kognitive Ressourcen beansprucht als das Gehen auf einem kurvigen Weg und dabei in 7er Schritten rückwärts zu zählen.

Unterschiede zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI wurden anhand der motorischen Interferenzen nur in der Aufgabe mit hoher kognitiver Belastung (TWT-B) gefunden. Eine Differenzierung mit niedriger kognitiver Belastung (TWT-A, $AUC = .625$) gelingt nur unzureichend. Eine Differenzierung mit hoher kognitiver Belastung (TWT-B, $AUC = .794$) kann als gut bewertet werden. Demgegenüber wurden höhere motorisch-bedingte kognitive Interferenzen für die Aufgabe mit niedriger kognitiver Belastung (TWT-A) gefunden und geringere motorisch-bedingte kognitive Interferenzen für die Aufgabe mit hoher kognitiver Belastung (TWT-B). Bezüglich einer Unterscheidung zwischen den Gruppen mithilfe der kognitiven Interferenzen lässt sich nur bei der Aufgabe mit hoher kognitiver Belastung eine mögliche Differenzierung allerdings mit unzureichender diagnostischer Power (TWT-B, $AUC = .662$) beobachten. Den hier dargestellten Ergebnissen zufolge stellen die motorischen Interferenzen im TWT geeignete Indikatoren zur frühzeitigen Erkennung von MCI dar. Vorzugsweise motorische Interferenzen scheinen ausreichend sensitiv um ältere Erwachsene mit und ohne pMCI zu differenzieren (MacAulay et al., 2017). Dies stützt frühere Befunde, wonach das Gehen unter Doppelaufgaben bei Personen mit MCI im Vergleich zu einer Kontrollgruppe vermehrt beeinflusst wird (Montero-Odasso et al., 2012; Maquet et al., 2010; Muir et al., 2012; Gillain et al., 2009) und steht entsprechend im Widerspruch zu den Ergebnissen von Nascimbeni et al. (2015), welche keinen Einfluss von Doppelaufgaben auf die Gehleistung bei Personen mit MCI haben nachweisen können. Insgesamt ist der Einfluss auf die Gehleistung größer je höher die kognitive Belastung ist. D.h. je höher der Schwierigkeitsgrad der kognitiven Aufgabe, desto größer sind die kognitiv-bedingten motorischen Interferenzen. Dies steht wiederum im Einklang mit den Befunden von Nascimbeni et al. (2015) die zeigen konnten, dass eine Rückwärtszählaufgabe während dem Gehen zu einfach erscheint um ausreichend große Interferenzeffekte zu produzieren (siehe hierzu Muir et al., 2012). Die serielle Verbindung von Zahlen in aufsteigender Reihenfolge während dem Gehen scheint kognitive Prozesse zu beanspruchen (Aufmerksamkeit, visuelle Suche, motorische Schnelligkeit etc.), welche in frühen Stadien der kognitiven Einschränkung (z.B. bei MCI) noch erhalten sind (Nascimbeni et al., 2015) und daher als kognitive Sekundäraufgabe zu einfach erscheinen. Dies könnte der Grund dafür sein,

warum im TWT-A keine gute diagnostische Power ($AUC = .704$), aber eine gute bis sehr gute diagnostische Power mit hoher Sensitivität im TWT-B ($AUC = .860$) besteht. Wenn jedoch die motorischen Interferenzen für die Differenzierung der Gruppen herangezogen werden, ist auf Grundlage der Beurteilung der diagnostischen Power nur der TWT-B ($AUC = .794$) geeignet.

6.4.4.3 Allgemeine Diskussion

In einer Vielzahl an Studien mit dem Doppelaufgabenparadigma wurden verschiedenste Faktoren vorgeschlagen, um die unterschiedlichen Muster motorisch-kognitiver Interferenzen bei jungen und älteren Erwachsenen und älteren Erwachsenen mit motorischen und kognitiven Beeinträchtigungen zu erklären. Darunter finden sich Faktoren wie das Alter, der Bildungsstatus, die Strategie der Aufgabenpriorisierung oder die kognitive Reserve (Belghali et al., 2017; Schaefer, 2014; Stern, 2009). Ein häufig angenommener Faktor ist die Priorisierung der posturalen Kontrolle. In der hier vorliegenden Studie wird deutlich, dass durch die Erhöhung des Schwierigkeitsgrades der kognitiven Aufgabe die Ressourcenallokation zunehmend in Richtung kognitive Aufgabe verlagert und die motorische Aufgabe entsprechend vernachlässigt wird. Die Ergebnisse deuten weiterhin darauf hin, dass alle Teilnehmer eine „Posture First“-Strategie adaptieren und die motorische Aufgabe (Gehen) priorisieren. Dieses Muster und diese Ressourcenallokation sind bei älteren Erwachsenen mit pMCI allerdings deutlich weniger evident. Eine Verlagerung der Aufmerksamkeit weg von der motorischen Fortbewegungsaufgabe hat nicht dieselbe ökologische Relevanz wie eine Verschiebung der Aufmerksamkeit weg von der kognitiven Aufgabe. Grund ist, dass eine Ressourcenallokation mit Fokus auf die kognitive Aufgabe und Vernachlässigung der Fortbewegungsaufgabe – vor allem bei älteren Erwachsenen und bei Personen mit motorischer und kognitiver Beeinträchtigung – zu schwerwiegenden Stürzen führen kann (Muir et al., 2012; Montero-Odasso et al., 2012). Die erhöhten motorischen Interferenzen könnten demnach das erhöhte Sturzrisiko, speziell bei älteren Erwachsenen mit MCI, erklären (Liu-Ambrose et al., 2008; Mak et al., 2014). Dieser Erklärungsansatz wird dadurch gestärkt, dass die Personen, welche

einen Sturz in den letzten 6 Monaten berichteten, in allen drei Bedingungen des TWT langsamer waren. Somit ist denkbar, dass der TWT – zusätzlich zur frühen Vorhersage von MCI – zukünftige Stürze vorhersagen kann (Yamada & Ichihashi, 2010). Diese Aussage ist allerdings mit Vorsicht zu betrachten, da im Rahmen dieser Arbeit zwischen den Gruppen nur marginale Unterschiede hinsichtlich der Anzahl der Stürze festgestellt worden sind.

Der TWT erhöht von Bedingung zu Bedingung die kognitiven Anforderungen und die Nachfrage nach domänenübergreifenden neuronalen Ressourcen (Klingberg, 2000). Mithilfe dieses Ansatzes kann somit der Einfluss der kognitiven Reserve (Stern, 2002) auf die Leistung in Doppelaufgaben untersucht werden (Vallesi, 2016). Unter kognitiver Reserve versteht man die Fähigkeit und das Potenzial, die Effizienz und Kapazität bestehender kognitiver Funktionen zu erhöhen/oder durch Erkrankungen oder einfach durch die natürliche Alterung entstandene Funktionsverluste zu bewältigen, indem neue neuronale Netzwerke (einmal gebahnte und jetzt stille Verbindungen) rekrutiert werden (Belghali et al., 2017; Franzmeier et al., 2017; Gelfo et al., 2017; siehe SMART COMPASS-Modell in Kapitel 2). Es ist denkbar, dass die älteren Teilnehmer in der hier dargestellten Studie mit pMCI eine ausreichende kognitive Reserve aufweisen, um sich unter der Einzelaufgabenbedingung (TWT-M) auf den Gang zu fokussieren. Unter Doppelaufgabenbedingung (TWT-A & TWT-B) hingegen sind keine ausreichenden kognitiven Reserven vorhanden, um parallel eine kognitive Zusatzaufgabe erfolgreich durchzuführen (Perrochon et al., 2013; Verghese et al., 2010). Bezüglich der Leistung in der kognitiven Aufgabe unter Doppelaufgabenbedingung scheinen ältere Erwachsene mit pMCI – ähnlich wie bei Patienten mit PD – keine ausreichenden kognitiven Reserven zur Verfügung zu haben. Vermutlich kann der kognitiven Aufgabe unter Doppelaufgabenbedingung entsprechend keine Aufmerksamkeit zugeteilt werden, weshalb die kognitiven Interferenzen höher ausfallen als auf Grundlage ihrer Einzelaufgabenleistung zu erwarten wäre (Fuller et al., 2013). Die Autoren konstatieren diesbezüglich:

„this may affect the everyday performance of simple tasks such as walking while navigating obstacles while contemplating everyday problems.” (S. 327)

und verdeutlichen somit die Relevanz in alltäglichen Situationen bei Personen mit MCI. Der TWT ist ein sensitives Verfahren, um gleichzeitig dynamische posturale Kontrolle, Aufmerksamkeit, visuelles Scannen, Informationsverarbeitung, kognitive Flexibilität und Arbeitsgedächtnisprozesse zu überprüfen (Schott, 2015). Diese exekutiven Kontrollprozesse spielen insbesondere während des kognitiven Alterns eine entscheidende Rolle und sind stark mit dem Frontalhirn assoziiert (Dempster, 1992; Duncan et al., 1995; Moscovitch & Winocur, 1992; West, 1996). Wie zuvor erwähnt deuten eine Vielzahl neurowissenschaftlicher Studien bei älteren Personen darauf hin, dass aufgrund altersbedingter struktureller und funktioneller Veränderungen in der Integrität des Frontalhirns, EF eingeschränkt sind (Reuter-Lorenz, 2000; Craik & Grady, 2002; Dorfman, 1998; Burke & Barnes, 2006; Buckner, 2004; Gunning-Dixon & Raz, 2003; Shenkin et al., 2005; Kramer & Willis, 2003; Nordahl et al., 2006). Diese Studien verdeutlichen die altersbedingten Beeinträchtigungen in der Effektivität exekutiver Prozesse infolge von Verlusten auf der funktional-kognitiven Ebene und unterstreichen zugleich die assoziative Rolle des Frontalhirns und der EF („Frontallappen Hypothese“). Neben kognitiven Prozessen korrelieren altersbedingte strukturelle Verluste der präfrontalen Areale aber auch mit motorischen Leistungen. So konnten Rosano und Kollegen (2012) anhand bildgebender Verfahren zeigen, dass sich durch eine Volumenabnahme der präfrontalen Areale die Geschwindigkeit beim Gehen verlangsamt. Eine Reihe früherer Studien kamen zu denselben Ergebnissen (Rosano et al., 2007; Guo et al., 2000). Zu derselben Ansicht gelangen auch Ble et al. (2005) in ihrer sogenannten „InChanti“-Studie, mit mehr als 900 demenzerkrankten älteren Erwachsenen. Die Autoren sprechen von einer Korrelation zwischen den EF, operationalisiert durch den TMT (Reitan, 1955), und der Geschwindigkeit beim Gehen durch einen Hindernisparcour (siehe außerdem Carlson et al., 1999; Bell-McGinty et al., 2002; Holtzer et al., 2006).

Das Frontalhirn ist somit nicht ausschließlich für seine Rolle bei den EF sowie den Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnisprozessen bekannt (Scherder et al., 2007), sondern insbesondere durch seine Verbindung mit dem Striatum (Pugh & Lipsitz, 2002) und dem Hippocampus (Bland & Oddie, 2001), entscheidend bei Fortbewe-

gungsaufgaben (Gehen) beteiligt. Der Hippocampus steht in einer engen funktionellen Beziehung zum präfrontalen Kortex (Frontallappen) (Erickson & Barnes, 2003) und ist entscheidend bei der Orientierung des Körpers im Raum und bei der Integration visueller, vestibulärer und propriozeptiver sensorischer und kontextueller Informationen in räumliche Karten (Nutt et al., 1993; Scherder et al., 2007) beteiligt, die wiederum für die räumliche Orientierung und Navigation notwendig sind (Wolbers & Wiener, 2014). Die für eine leichte kognitive Beeinträchtigung charakteristische Degeneration des Hippocampus (Scheff et al., 2006) kann somit zu einer Desintegration dieser Informationen und damit zu Gangstörungen führen. Auch eine Schädigung des präfrontalen Kortex kann exekutive Dysfunktionen verursachen, die Gangstörungen zur Folge haben (Yogev-Seligmann et al., 2008). Daher könnte die positive Beziehung zwischen dem Gehen und der kognitiven Leistungsfähigkeit durch die funktionelle Beziehung zwischen dem Hippocampus und dem präfrontalen Kortex erklärt werden (Scherder et al., 2007).

6.4.5 Limitationen der Studie

Obwohl die benötigte Zeit in Gehaufgaben bei Studien mit dem Doppelaufgabenparadigma ein häufig genutztes Maß darstellt, haben verschiedene Untersuchungen gezeigt, dass räumlich-zeitliche Gangparameter und andere kinematische Gangdaten auf unterschiedlichster Art und Weise mit den Leistungen in Doppelaufgaben zusammenhängen (Montero-Odasso et al., 2009b; Ponti, Bet, Oliveira, & Castro, 2017). Aus diesem Grund wird empfohlen, in zukünftigen Studien kinematische Parameter wie Schrittlänge, Schreitlänge, Doppelstützphase, Kopf- und Körperbewegungen differenzierter zu quantifizieren (Caldas Mundt, Potthast, Buarque, & Markert, 2017). Beim MoCA handelt es sich um ein sensibles Tool um MCI zu screenen (Nasreddine et al., 2005). Die Autoren berichten von einer Sensitivität von 90% und Spezifität von 87%. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass 10% der älteren Erwachsenen mit MCI fälschlicherweise als gesund klassifiziert werden (Falsch-Negativ Rate; Anteil der fälschlich als negativ klassifizierten älteren Erwachsenen) und 13% der älteren Erwachsenen ohne MCI als leicht kognitiv eingeschränkt klassifiziert werden (Falsch-

Positiv Rate, Anteil der fälschlich als positiv klassifizierten älteren Erwachsenen). Dies muss bei der Gruppenzuteilung der älteren Erwachsenen zusätzlich berücksichtigt werden.

6.4.6 Schlussfolgerung und Ausblick

Ähnlich zu Allali et al. (2007) deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die kognitive Leistungsfähigkeit bei Personen mit MCI in Hinblick auf die Fortbewegungsaufgaben eine größere Rolle spielt und Doppelaufgabenparadigmen als vielversprechendes Verfahren beim Einsatz zur Früherkennung von leichter kognitiver Einschränkung (MCI) beitragen kann. Der TWT mit einer ökologisch validen und zielorientierten Fortbewegungsaufgabe sowie kognitiver Zusatzaufgabe wird auf Grundlage der hier dargestellten Ergebnisse für den Einsatz zur Früherkennung von MCI empfohlen. Nur wenn die Leistung in der Einzel- und in der Doppelaufgabe erhoben wird und dadurch DAK berechnet werden können, sind Aussagen über die Ressourcenallokation von begrenzten Aufmerksamkeitsressourcen bei Personen mit MCI möglich und nur dann können individuelle Therapieempfehlungen gegeben werden. Dies soll betonen, warum auf dem Gebiet der Bewegungswissenschaft und der Kognitionswissenschaft eine gemeinsame Sprache und gemeinsame standardisierte Verfahren benötigt werden.

Basierend auf den Ergebnissen und in Bezug auf die Sensitivität und Spezifität des Verfahrens kann der Einsatz des TWT mit erhöhter kognitiver Belastung als Marker eines prodromalen Stadiums der Demenz empfohlen werden. Es ist eine ökologisch valide Doppelaufgabe mit ausgezeichneter relativer und absoluter Reliabilität mit hoher Sensitivität und gut-exzellenter diagnostischer Stärke zur Unterscheidung zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI (vgl. MacAulay et al., 2017). Schließlich sei nochmals betont, dass die Untersuchung neuronaler Korrelate (EEG, fNIRS) notwendig erscheint, um die Hypothese zu bestätigen, dass Kognition und grobmotorische Aufgaben (z.B. Fortbewegungsaufgaben) gemeinsame neuronale Netzwerke teilen.

Insgesamt ist entscheidend, in Zukunft einheitliche Vorgehensweisen bei der Leistungsmessung von Doppelaufgaben sicherzustellen, nachdem die evidenzbasierten Untersuchungen zu Interferenzen bei Doppelaufgaben in einem übergeordneten Rahmen diskutiert werden können. Um wissenschaftlich fundierte Handlungsempfehlungen zu möglichen Trainingseffekten von Doppelaufgaben machen zu können, ist es außerdem erforderlich sich die Effekte längsschnittlich anzusehen.

7 Prospektiv geplante Reanalyse

7.1 Gepoolte Auswertung der Kontrollgruppen

Die Zusammenfassung der Einzelstudien und eine gemeinsame Auswertung waren bereits bei der Planung der Arbeit vorgesehen. Demensprechend wurden die Einzelstudien einheitlich durchgeführt (Kapitel 5.3) und ausgewertet (Kapitel 5.4).

Die Zeiten in den Bedingungen (rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) der fein- und grobmotorischen Aufgaben (TMT bzw. TWT) sowie die motorischen und kognitiven DAK wurden für eine gemeinsame Auswertung gepoolt.

7.1.1 Ergebnisse der Kontrollgruppen aus den 4 Einzelstudien

Typisch entwickelte bzw. gesunde Probanden (Kontrollgruppen aus den Einzelstudien ohne motorische oder kognitive Einschränkung; im Folgenden als „gesund“ bezeichnet) wurden in Hinblick auf die Bearbeitungszeiten im TMT und TWT und bezüglich der motorischen und kognitiven DAK miteinander verglichen.

7.1.1.1 Zeiten im TMT

Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse werden für „gesunde“ Probanden über die Lebensspanne und auf Grundlage der Zeiten in den Bedingungen des TMT dargestellt (siehe Tabelle 37 in Anhang F).

Junge Erwachsene (23.9 J.) zeigen erwartungsgemäß die geringsten Zeiten in allen Bedingungen (TMT-M: $M = 10.9$, $SD = 2.40$; TMT-A: $M = 18.5$, $SD = 5.29$; TMT-B: $M = 33.2$, $SD = 10.1$). Die jüngsten Kinder (5.9 J.) zeigen die größten Zeiten mit hoher Standardabweichung (TMT-M: $M = 58.9$, $SD = 25.3$; TMT-A: $M = 192$, $SD = 87.8$ und TMT-B: $M = 217$, $SD = 75.4$). Ältere gesunde Erwachsene (67.5 & 72.4 J.) benötigen in allen Bedingungen im Vergleich zu jungen Erwachsenen länger bei der Bearbeitung. Allerdings sind sie schneller bei der Bearbeitung als Kinder (8.4 & 10.5 J.)

Eine 3 (Bedingung) x 6 (Gruppe) ANOVA der Zeiten im TMT mit der Bedingung (rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) als unabhängige Variable und der Gruppe (5.9 J., 8.4 J., 10.5 J., 23.9 J., 67.5 J. & 72.4 J.) als abhängige Variable zeigt,

signifikante Gruppenunterschiede für den TMT-M, $F(5, 143) = 41.9$, $p < .001$, $\eta^2_p = .599$, für den TMT-A, $F(5, 143) = 66.1$, $p < .001$, $\eta^2_p = .755$, und für TMT-B, $F(5, 143) = 68.6$, $p < .001$, $\eta^2_p = .710$. Die Post-hoc Analyse zeigt, dass insbesondere junge Kinder (5.9 J.) sich in den Zeiten signifikant von allen anderen Gruppen unterscheiden ($p < .001$). Die beiden Gruppen im Altersbereich von 67.5 J. und 72.4 J. unterschieden sich erwartungsgemäß nicht voneinander. Aufgrund der breiten Streuung möglicher kognitiver Leistungen im höheren Lebensalter (siehe Hertzog et al., 2008, S. 5) sind Unterschiede in den Leistungen bei Doppelaufgaben auch nicht zu erwarten gewesen.

Abbildung 53 in Anhang F zeigt einen umgekehrt-U-förmigen Verlauf über die Lebensspanne in allen Bedingungen des TMT. Mit hoher kognitiver Zusatzbelastung (TMT-B) wird der umgekehrt U-förmige Zusammenhang am deutlichsten.

7.1.1.2 Zeiten im TWT

Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse werden für „gesunde“ Probanden über die Lebensspanne und auf Grundlage der Zeiten in den Bedingungen des TWT in Tabelle 38 in Anhang G dargestellt.

Junge Erwachsene (23.9 J.) zeigen erwartungsgemäß die geringsten Zeiten in allen Bedingungen (TMT-M: $M = 22.9$, $SD = 2.85$; TMT-A: $M = 28.9$, $SD = 4.80$; TMT-B: $M = 36.5$, $SD = 6.9$). Die älteste Kontrollgruppe (72.4 J.) zeigt die geringste Bearbeitungszeit bei rein motorischer Fortbewegungsaufgabe (TMT-M: $M = 39.7$, $SD = 7.53$). Die jüngsten Kinder (5.9 J.) zeigen die höchsten Zeiten mit hoher Standardabweichung unter Doppelaufgabenbedingung (TMT-A: $M = 89.8$, $SD = 43.0$ und TMT-B: $M = 122$, $SD = 46.1$).

Eine 3 (Bedingung) x 6 (Gruppe) ANOVA der Zeiten im TWT mit der Bedingung (rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) als unabhängige Variable und der Gruppe (5.9 J., 8.4 J., 10.5 J., 23.9 J., 67.5 J. & 72.4 J.) als abhängige Variable zeigt, signifikante Gruppenunterschiede für TWT-M, $F(5, 143) = 31.0$, $p < .001$, $\eta^2_p = .526$, für TWT-A, $F(5, 143) = 37.1$, $p < .001$, $\eta^2_p = .570$, und für TWT-B, $F(5, 143) = 44.1$, $p < .001$, $\eta^2_p = .612$. Die Post-hoc Analyse zeigt, dass insbesondere junge Kinder (5.9

J.) unter Doppelaufgabenbedingung sich in den Zeiten signifikant von allen anderen Gruppen unterschieden ($p < .001$). Die beiden Gruppen im Altersbereich von 67.5 J. und 72.4 J. unterschieden sich nur bei rein motorischer Fortbewegungsaufgabe (TMT-M: $p = .006$) voneinander.

Abbildung 54 in Anhang G zeigt einen umgekehrt U-förmigen Verlauf über die Lebensspanne in allen Bedingungen des TWT.

7.1.1.3 Motorische DAK im TMT und TWT

Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse für „gesunde“ Probanden über die Lebensspanne und auf Grundlage der motorischen DAK in den Bedingungen des TMT und TWT werden in Tabelle 39 in Anhang H dargestellt.

Kinder mit 10.5 J. zeigen bei feinmotorischer Doppelaufgabe (TMT) die geringsten motorischen DAK (TMT-A: $M = -10$, $SD = 31.9$; TMT-B: $M = -109$, $SD = 92.4$). Junge Erwachsene (23.9 J.) zeigen die geringsten motorischen DAK bei grobmotorischer Doppelaufgabe (TMT-A: $M = -26.2$, $SD = 16.9$; TMT-B: $M = -59.8$, $SD = 27.3$). Unterschiede zwischen Kindern (10.5 J.) und jungen Erwachsenen (23.9 J.) lassen sich nur in der grobmotorischen Aufgabe mit hoher kognitiver Belastung feststellen (TWT-B: $p = .004$). In der Aufgabe mit grobmotorischer Fertigkeit (TWT) lässt sich ein Entwicklungstrend mit Abnahme der motorischen DAK bis in das junge Erwachsenenalter beobachten. Bei älteren Erwachsenen steigen die motorischen DAK minimal wieder an, ohne sich signifikant von jungen Erwachsenen zu unterscheiden.

Eine 4 (Interferenz) x 6 (Gruppe) ANOVA der proportionalen DAK (DAK TMT-A, DAK TMT-B, DAK TWT-A & DAK TWT-B) als unabhängige Variable und der Gruppe (5.9 J., 8.4 J., 10.5 J., 23.9 J., 67.5 J. & 72.4 J.) als abhängige Variable wurde für die motorischen DAK berechnet und zeigt, signifikante Gruppenunterschiede für mDAK TMT-A, $F(5, 143) = 15.1$, $p < .001$, $\eta^2_p = .351$, für mDAK TMT-B, $F(5, 143) = 2.99$, $p = .013$, $\eta^2_p = .097$, für mDAK TWT-A, $F(5, 143) = 19.2$, $p < .001$, $\eta^2_p = .406$, und für DAK TWT-B, $F(5, 143) = 39.7$, $p < .001$, $\eta^2_p = .586$. Die Post-hoc Analyse zeigt, dass insbesondere junge Kinder (5.9 J.) sich in den DAK (außer in den mDAK TMT-B) signifikant von allen anderen Gruppen unterschieden ($p < .001$).

Die beiden Gruppen im Altersbereich von 67.5 J. und 72.4 J. unterschieden sich nicht voneinander. Abbildung 55 in Anhang H verdeutlicht die Abnahme der motorischen DAK im Verlauf der Lebensspanne insbesondere bei grobmotorischer Doppelaufgabe (TWT).

7.1.1.4 Kognitive DAK im TMT und TWT

Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse für „gesunde“ Probanden über die Lebensspanne und auf Grundlage der kognitiven DAK in den Bedingungen des TMT und TWT werden in Tabelle 40 in Anhang I dargestellt.

Kinder mit 5.9 J. zeigen bei im TMT (cDAK TMT-A: $M = -83.9$, $SD = 111$; cDAK TMT-B: $M = -109$, $SD = 92.4$) und im TWT (cDAK TWT-A: $M = 2.87$, $SD = 83.3$; cDAK TWT-B: $M = 12.7$, $SD = 40.7$) die geringsten kognitiven DAK. Kinder zwischen 5.9 J. und 10.5 J. zeigen insgesamt hohe Standardabweichungen mit variablen kognitiven DAK. Die kognitiven Kosten fallen in allen Gruppen bei leichter kognitiver Belastung sowohl bei fein- als auch bei grobmotorischer Aufgabe höher aus. Bei älteren Erwachsenen und grobmotorischer Aufgabe sind die kognitiven DAK am größten ($M = -103$, $SD = 90.8$). Der Unterschied zu jungen Erwachsenen (23.5 J.) und älteren Erwachsenen (67.5 J.) wird nicht signifikant.

Eine 4 (Interferenz) x 6 (Gruppe) ANOVA der proportionalen DAK (DAK TMT-A, DAK TMT-B, DAK TWT-A & DAK TWT-B) als unabhängige Variable und der Gruppe (5.9 J., 8.4 J., 10.5 J., 23.9 J., 67.5 J. & 72.4 J.) als abhängige Variable wurde für die kognitiven DAK berechnet und zeigt signifikante Gruppenunterschiede für cDAK TMT-A, $F(5, 143) = 1.84$, $p = .109$, $\eta^2_p = .062$, für cDAK TMT-B, $F(5, 143) = .279$, $p = .924$, $\eta^2_p = .010$, für cDAK TWT-A, $F(5, 143) = 2.44$, $p = .037$, $\eta^2_p = .080$, und für cDAK TWT-B, $F(5, 143) = 2.66$, $p < .025$, $\eta^2_p = .087$. Die Post-hoc Analyse zeigt, dass insbesondere junge Kinder (5.9 J.) unter Doppelaufgabenbedingung sich in den DAK (außer in den cDAK TMT-B) signifikant von allen anderen Gruppen unterscheiden ($p < .001$). Die drei Gruppen im Altersbereich von 23.9 J., 67.5 J. und 72.4 J. unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant voneinander. Abbildung 56 in Anhang I zeigt die kognitiven DAK über die Lebensspanne bei „gesunden“ Probanden.

7.1.1.5 Muster motorisch-kognitiver Interferenzen im TMT und TWT

Im Folgenden werden die Muster der motorischen und kognitiven Interferenzen für die fein- und grobmotorischen Doppelaufgaben (TMT und TWT) mit den verschiedenen Schwierigkeitsstufen (Zahlen, Zahlen und Buchstaben) grafisch gegenübergestellt (siehe Abbildungen 45 - 48) (vgl. Plummer & Eskes, 2015). Dabei wird jeweils der Gruppenmittelwert für die motorischen und kognitiven DAK herangezogen.

Dies ermöglicht laut Plummer und Kollegen (2015) eine bessere Einschätzung von Veränderungen über die Zeit (bzw. über die Lebensspanne).

Im TMT-A zeigen alle Gruppen wechselseitige Interferenzen (siehe Abbildung 45). Kinder mit 5.9 J. zeigen im Vergleich zu allen anderen Gruppen die größten motorischen Interferenzen und die geringsten kognitiven Interferenzen.

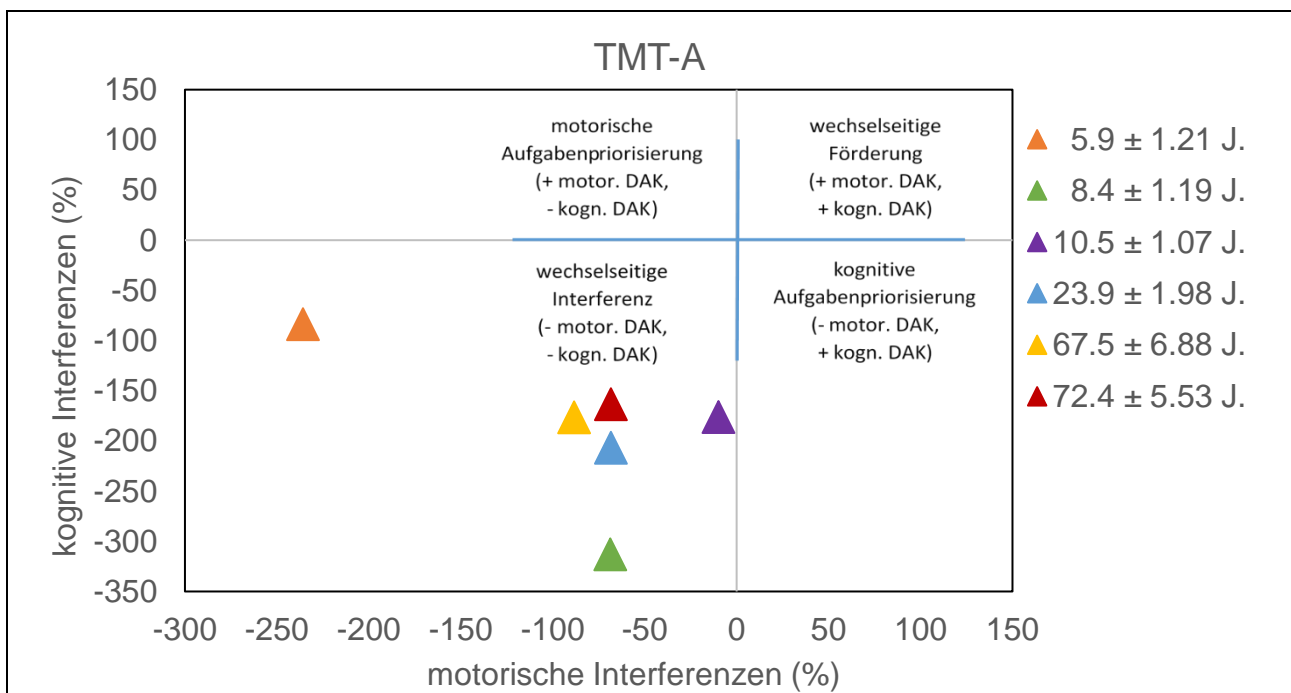


Abb. 45: Muster motorisch-kognitiver Interferenzen der Kontrollgruppen („gesunde“ Probanden) im TMT-A.

Die geringen kognitiven Interferenzen kommen vermutlich dadurch zustande, dass bereits unter Einzelaufgabenbedingung die kognitiven Leistungen bei Kindern mit 5.9 J. gering ausfallen. Kinder mit 10.5 J. zeigen eine motorische Aufgabenpriorisierung mit nur geringen Leistungseinbußen in der motorischen Aufgabe. In allen Erwachsenengruppen sind die Muster vergleichbar und zeigen eine wechselseitige Beeinflussung mit insgesamt höheren kognitiven Interferenzen.

Im TMT-B zeigen alle Gruppen wechselseitige Interferenzen (siehe Abbildung 46). Insgesamt werden höhere motorische im Vergleich zu kognitiven Interferenzen beobachtet.

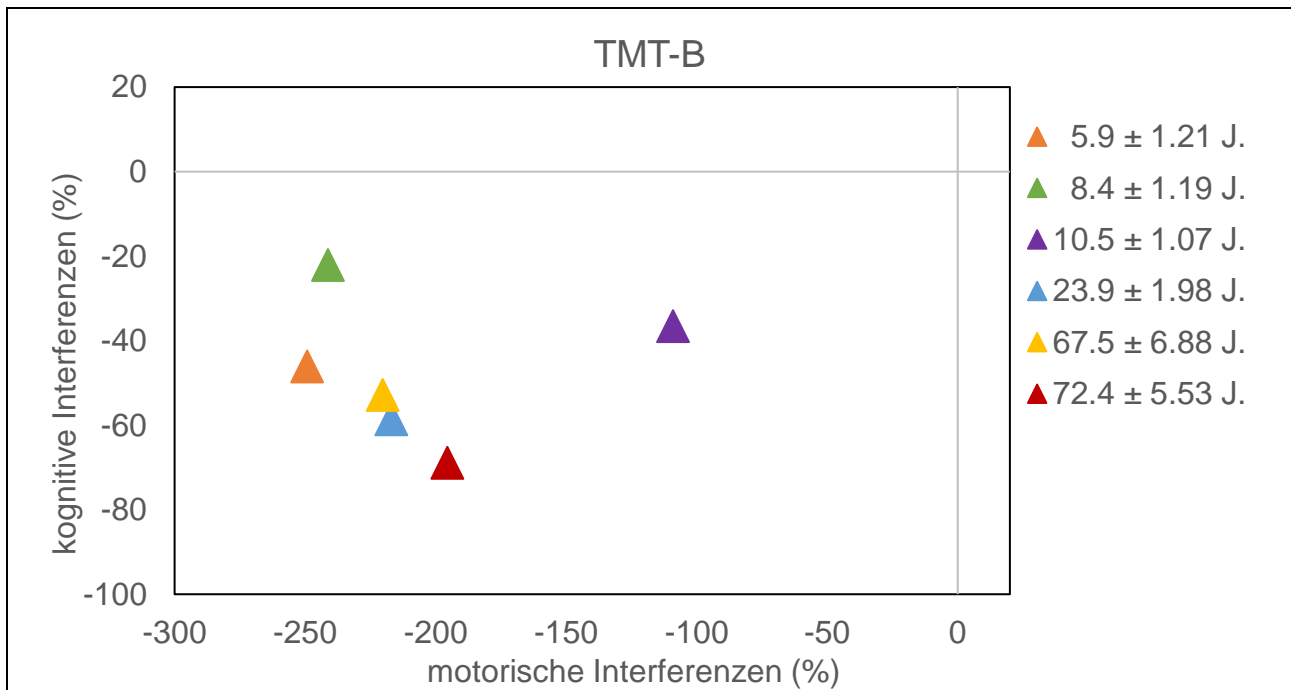


Abb. 46: Muster motorisch-kognitiver Interferenzen der Kontrollgruppen („gesunde“ Probanden) im TMT-B.

Kinder mit 10.5 J. zeigen entsprechend zum TMT-A die geringsten motorischen Leistungseinbußen. Analog zum TMT-A sind auch im TMT-B die Muster in allen Erwachsenenengruppen annähernd identisch. Der Unterschied zum TMT-A ist, dass bei jungen und älteren Erwachsenen im TMT-B höhere motorische und geringere kognitive Interferenzen beobachtet werden können. Die älteste Gruppe (72.4 J.) zeigt die größten Leistungseinbußen in der kognitiven Aufgabe. Mit Zunahme der kognitiven Zusatzbelastung scheint es in allen Gruppen eine Ressourcenallokation der Aufmerksamkeit in Richtung kognitiver Aufgabe zu geben.

Im TWT-A zeigen fast alle Gruppen wechselseitige Interferenzen (siehe Abbildung 47). Insgesamt werden höhere kognitive im Vergleich zu motorischen Interferenzen beobachtet. Kinder mit 5.9 J. zeigen keine kognitiven Interferenzen allerdings kognitiv-bedingte motorische Interferenzen. Analog zur feinmotorischen Aufgabe (TMT) zeigen die Erwachsenen vergleichbare Muster motorisch-kognitiver Interferenzen mit

geringeren Einbußen in der motorischen Aufgabe. Bei allen Kindern fallen die motorischen Interferenzen im Vergleich zu allen Erwachsenen größer aus.

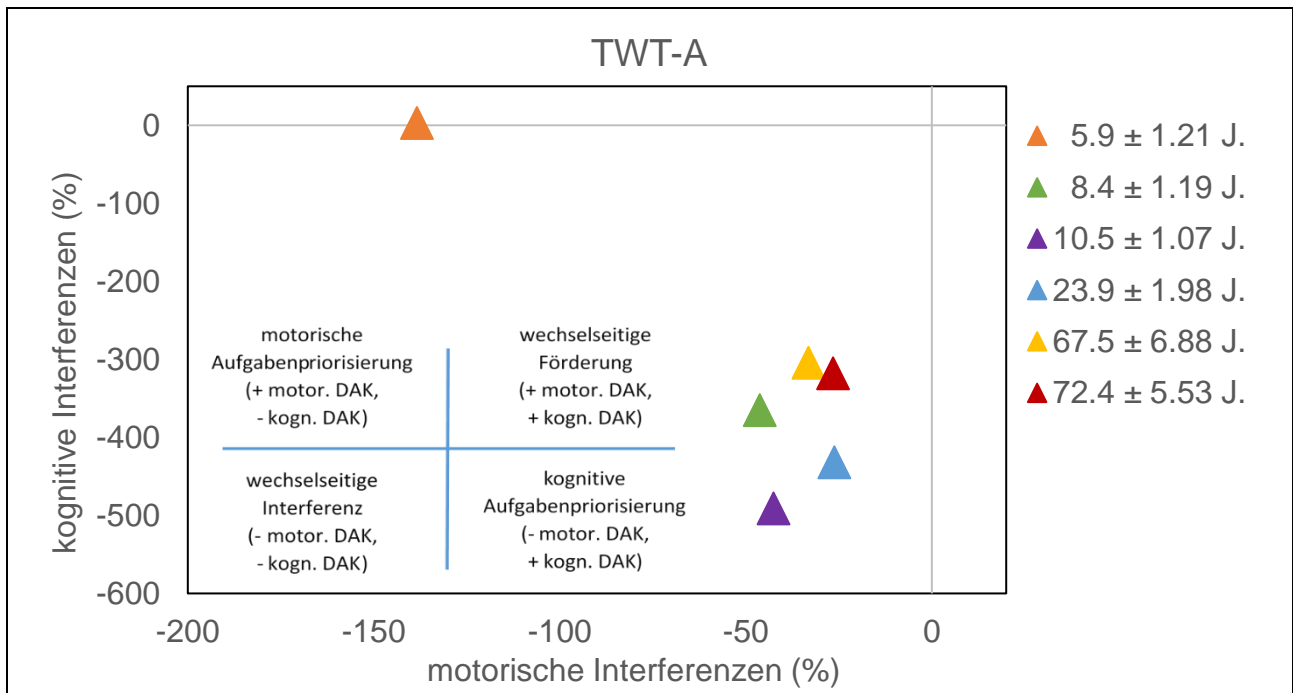


Abb. 47: Muster motorisch-kognitiver Interferenzen der Kontrollgruppen („gesunde“ Probanden) im TWT-A.

Im TWT-B zeigen fast alle Gruppen wechselseitige Interferenzen (siehe Abbildung 48). Insgesamt sind die motorischen und kognitiven Einbußen vergleichbar groß.

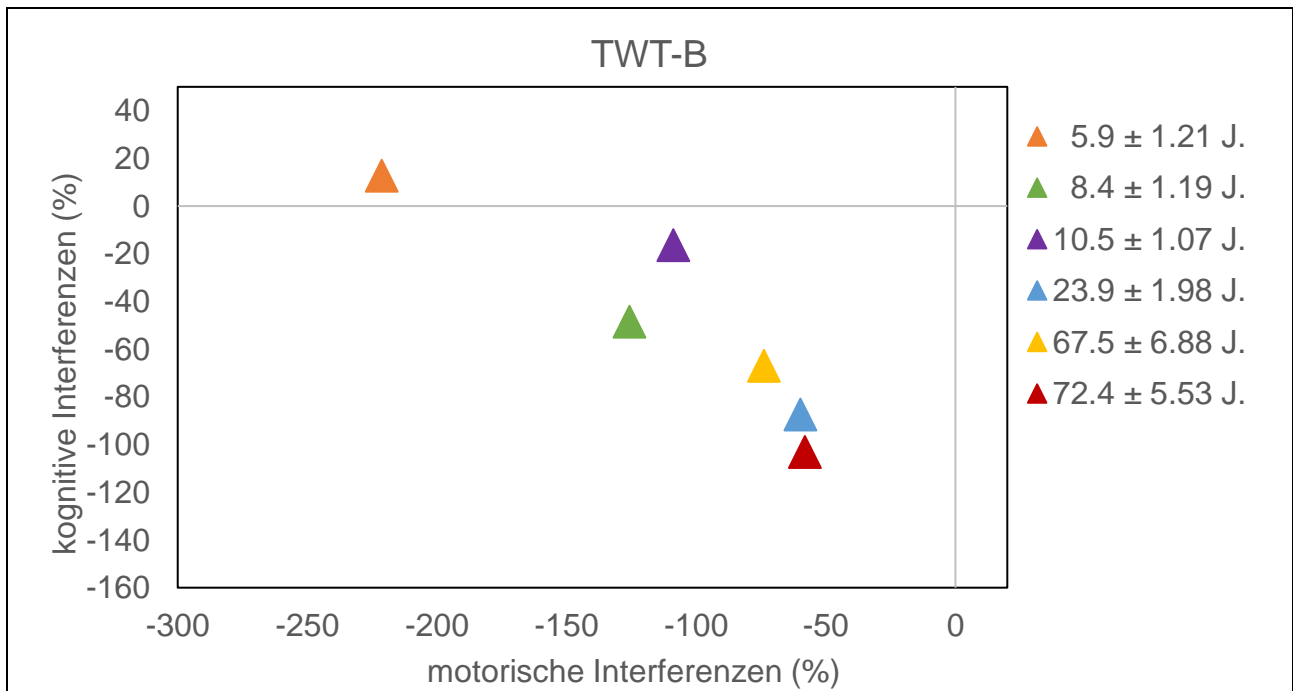


Abb. 48: Muster motorisch-kognitiver Interferenzen der Kontrollgruppen („gesunde“ Probanden) im TWT-B.

Kinder mit 5.9 J. zeigen analog zu TWT-A keine kognitiven Interferenzen allerdings kognitiv-bedingte motorische Interferenzen. Auch zeigen Kinder mit 5.9 J. eine leichte Verbesserung in der kognitiven Aufgabe unter Doppelaufgabenbedingung. Bei allen Kindern fallen die motorischen Interferenzen im Vergleich zu den Erwachsenen größer aus. Alle Erwachsenen zeigen vergleichbare Muster motorisch-kognitiver Interferenzen mit gleich großen Einbußen in der motorischen und kognitiven Aufgabe. Bei den ältesten Erwachsenen (72.4 J.) können die höchsten Interferenzen in der kognitiven Aufgabe beobachtet werden.

7.1.2 Diskussion zu den Ergebnissen der Kontrollgruppen

Da die verschiedenen Komponenten der EF unterschiedliche Entwicklungstrajektorien zeigen (u.a. Boelema et al., 2014) hängen die Ergebnisse der Doppelaufgabenstudien über die Lebensspanne bei „gesunden“ Probanden stark von der Wahl der kognitiven Aufgabe ab. Basierend auf den Schwierigkeiten bei Kindern und älteren Erwachsenen in den verschiedenen Domänen der EF, einschließlich Arbeitsgedächtnis, inhibitorischer Kontrolle und der Aufmerksamkeit wurde ein umgekehrt U-förmiger Verlauf der Leistungen über die Lebensspanne angenommen, der auf Grundlage der Ergebnisse für die Zeiten im TMT und TWT bestätigt werden kann.

Analog zu den Studien von Schott und Klotzbier (2018), Boonyong et al. (2012) sowie Siu et al. (2008) kann somit ein Entwicklungstrend in den Aufmerksamkeitsressourcen beobachtet werden. Im Gegensatz zu den Untersuchungen von Hagman-von Arx et al. (2016) mit Kindern zwischen 6 – 13 Jahren können in der hier vorliegenden Arbeit Alterseffekte auch bei kognitiven Zusatzaufgaben beobachtet werden.⁴⁴ Sowohl in der fein- als auch grobmotorischen Fertigkeit können erhöhte Zeiten bei Kindern (5.9 J.) im Vergleich zu älteren Kindern (8.4 J. & 10.5 J.) und allen anderen Gruppen mit jungen (23.9 J.) und älteren Erwachsenen (67.5 J. & 72.4 J.) beobachtet werden (siehe Tabelle 37 in Anhang F und Tabelle 38 in Anhang G).

⁴⁴ Die Autoren konnten zeigen, dass das Gehen am deutlichsten durch eine motorische Sekundäraufgabe beeinflusst wird. Bei kognitiver Sekundäraufgabe (Gedächtnisaufgabe) waren keine nennenswerten Alterseffekte zu beobachten.

Für die relativen DAK sehen wir über alle Altersgruppen hinweg wechselseitige Interferenzen, wobei die kognitiven DAK bei sehr jungen Kindern erstaunlich gering ausfallen. Eine mögliche Erklärung könnten die bereits relativ schlechten Zeiten unter kognitiver Einzelaufgabenbedingung bei sehr jungen Kindern sein. Für die beiden Gruppen mit älteren Erwachsenen wurden die Altersbereiche eng gewählt, weshalb keine Unterschiede zwischen diesen Gruppen zu erwarten waren.

Zusammenfassend kann ein umgekehrt U-förmiger Verlauf über die Lebensspanne bezüglich der absoluten Zeiten beobachtet werden. Darüber hinaus können in allen Altersgruppen sowohl bei fein- und grobmotorischer Fertigkeit wechselseitige Interferenzen beobachtet werden, wobei für sehr junge Kinder im Alter von 6 Jahren kaum kognitive, allerdings erhöhte motorische Leistungseinbußen beobachtet werden. Da Erwachsene bessere Leistungen zeigen und darüber hinaus geringere Leistungseinbußen unter Doppelaufgabenbedingung zu beobachten sind, kann dahingehend argumentiert werden, dass das neuronale Netzwerk – zur parallelen Verarbeitung verschiedener Aufgaben – bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen weniger effizient arbeitet (vgl. Boonyong et al., 2012).

7.2 Gepoolte Auswertung der 4 Einzelstudien

7.2.1 Metaanalytische Betrachtung für den Vergleich zwischen „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden.

Für den Vergleich zwischen „beeinträchtigten“ und „gesunden“ Probanden sowie dem Vergleich zwischen motorischen und kognitiven DAK, wurden die jungen Erwachsenen aus der Studie 4 - pMCI (23,9 J.) und die sehr jungen Kinder (5,9 J.) aus der Studie 2 - DS herausgenommen (Sensitivitätsanalyse), da das Alter eine mögliche Kovariate darstellt und das Ausmaß der Streuung innerhalb dieser Studien (Personen-bedingt) erhöht.

7.2.1.1 Vergleich zwischen „beeinträchtigt“ und „gesunden“ Probanden im TMT

Grundlage für die Analyse sind die normierten Zeiten im TMT. Der Forest-Plot (siehe Abbildung 49) und die statistische Auswertung zeigt eine hohe Heterogenität in allen Subgruppen (TMT-M: $Tau^2 = 87.2$, $Chi^2 = 27.5$, $I^2 = 89\%$; TMT-A: $Tau^2 = 170$, $Chi^2 = 30.2$, $I^2 = 90\%$; TMT-B: $Tau^2 = 2822$, $Chi^2 = 61.2$, $I^2 = 95\%$).

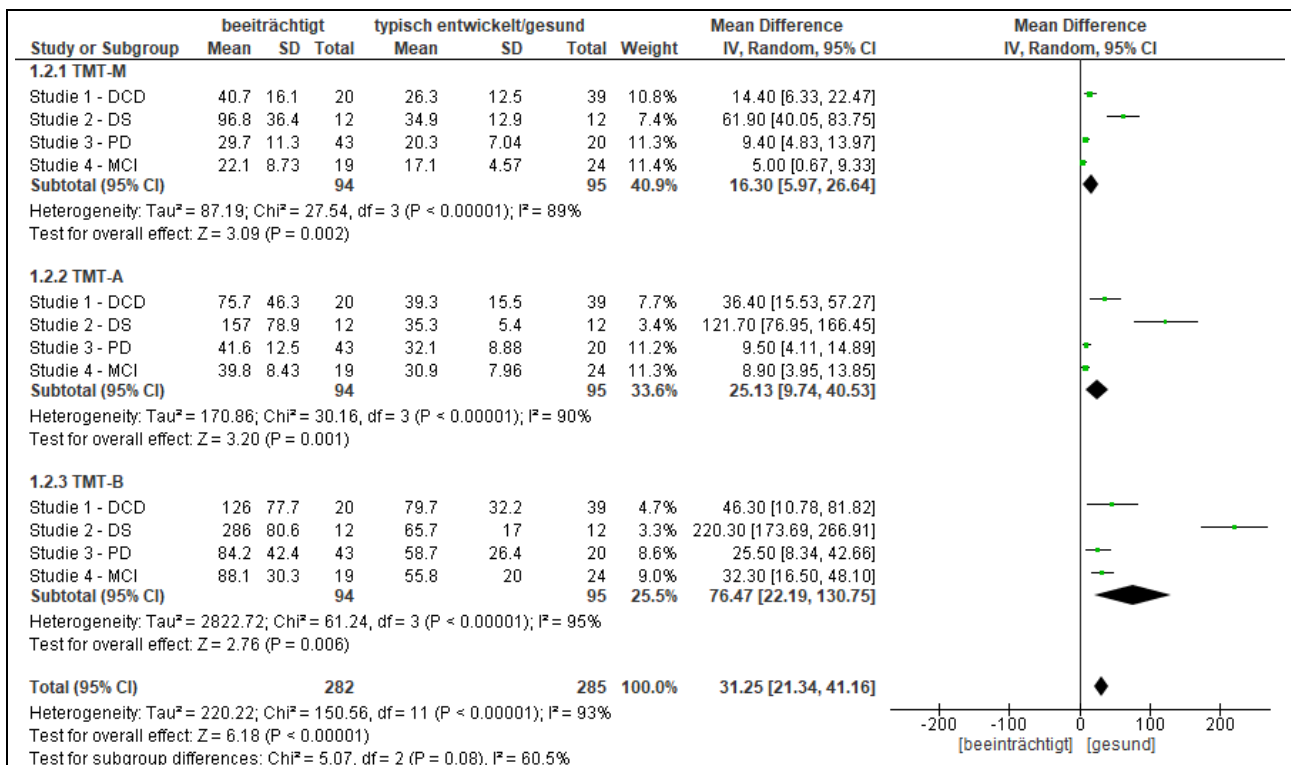


Abb. 49: Forest-Plot für den Vergleich zwischen "beeinträchtigt" vs. "gesund" in den Zeiten des TMT und den Bedingungen als Subgruppen (Abbildung erstellt mit RefMan 5.3 [Computer programm], Cochrane Collaboration, 2014).

Mit zunehmender Schwierigkeitsstufe im TMT steigt die Heterogenität zwischen den Primärstudien. Die statistischen Tests auf Subgruppenunterschiede zeigen allerdings keine signifikanten Unterschiede ($Chi^2 = 5.07$, $p = .08$) und mäßige Heterogenität ($I^2 = 60.5\%$; Higgins et al., 2003). Die Breite der Konfidenzintervalle (insbesondere bei Studie 2 - DS)⁴⁵ und deren geringe Überschneidung verdeutlicht zusätzlich die hohe Heterogenität und die merklich variierenden Effektschätzer zwischen den Primärstudien. Ausschließlich in Studie 2 - DS kann keine Überlagerung zwischen den Konfidenzintervallen und den Summenschätzern beobachtet werden.

⁴⁵ Die hohe Breite des Konfidenzintervalls in Studie 2 - DS ist auch durch die geringe Fallzahl ($n = 12$) begründet.

Das subgruppenübergreifende Gesamtergebnis ergab ein Cochran's Q (Ch^2) von 150 mit einem zugehörigen p -Wert von, $p < .001$. Es liegt also eine zum Signifikanzniveau 10% statistisch signifikante Heterogenität zwischen den 4 Einzelstudien vor, deren Ausmaß jedoch der Forest-Plot besser demonstriert als der Wert der dieser Signifikanzprüfung zugrundeliegenden Prüfgröße Q . Ferner ergab sich das Maß I^2 zu 93%. Es kann als Indikator einer schon nahezu maximal möglichen Heterogenität zwischen den Einzelstudien interpretiert werden. Die Inter-Studien-Varianz Tau^2 wurde mit 220 geschätzt.

„Gesunde“ Probanden haben im Vergleich zu „beeinträchtigten“ Probanden in allen Bedingungen des TMT bessere Leistungen, wobei mit zunehmender Schwierigkeitsstufe die Unterschiede größer werden (TMT-M: WMD = 16.3, 95% CI [5.97, 26.6]; TMT-A: WMD = 25.1, 95% CI [9.74, 40.5]; TMT-B: WMD = 76.5, 95% CI [22.2, 130]). In allen Subgruppen (Bedingungen) wird der gepoolte Effekt signifikant (TMT-M: $Z = 3.09$, $p = .002$; TMT-A: $Z = 3.20$, $p = .001$; TMT-B: $Z = 2.76$, $p < .001$). Es liegt somit eine quantitative Interaktion vor, bei der die Größe des Effektes zwischen den Primärstudien (Einzelstudien) variiert, nicht aber die Richtung des Effektes. Unterschiede lassen sich insbesondere in der Studie mit DS beobachten, wobei Kinder mit DS subgruppenübergreifend die höchsten Bearbeitungszeiten zeigen.⁴⁶ In allen Subgruppen (Bedingungen) wird somit ein Vorteil der „gesunden“ Probanden beobachtet, wobei der Schätzer mit Zunahme der kognitiven Belastung (Schwierigkeitsstufen im TMT/Subgruppen) ungenauer wird (dies wird durch die Breite der Raute des Gesamtergebnisses im TMT-B deutlich).

Durch die gemeinsame Betrachtung aller Studien kann gezeigt werden, dass die „gesunden“ Probanden den „beeinträchtigten“ Probanden im TMT überlegen sind (die Raute des gepoolten Gesamtschätzers schneidet die Mittellinie nicht).

⁴⁶ Bei Ausschluss der Studie - 2 DS werden die statistischen Kennzahlen zur Heterogenität nicht signifikant und die Größe der gepoolten Effekte steigt deutlich an (in der hier vorliegenden Arbeit nicht abgebildet).

7.2.1.2 Vergleich zwischen „beeinträchtigt“ und „gesunden“ Probanden im TWT

Grundlage für die Analyse sind die normierten Zeiten im TWT. Der Forest-Plot (siehe Abbildung 50) und die statistische Auswertung zeigt eine hohe Heterogenität in allen Subgruppen (TWT-M: $Tau^2 = 35.6$, $Chi^2 = 23.0$, $I^2 = 87%$; TWT-A: $Tau^2 = 67.8$, $Chi^2 = 17.6$, $I^2 = 83%$; TWT-B: $Tau^2 = 790$, $Chi^2 = 56.6$, $I^2 = 95%$).

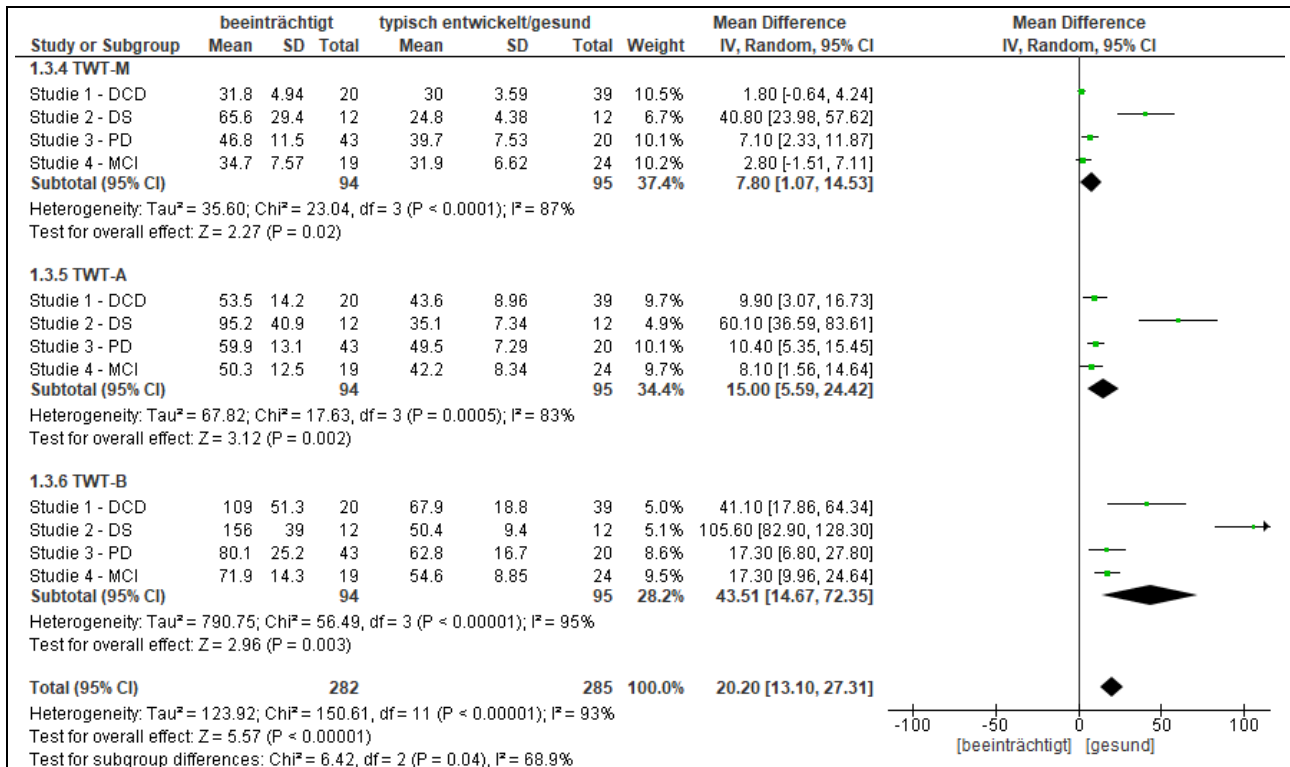


Abb. 50: Forest-Plot für den Vergleich zwischen "beeinträchtigt" vs. "gesund" in den Zeiten des TWT und den Bedingungen als Subgruppen (Abbildung erstellt mit RefMan 5.3 [Computer programm], Cochrane Collaboration, 2014).

Mit zunehmender Schwierigkeitsstufe im TWT steigt die Heterogenität zwischen den Primärstudien. Die statistischen Tests auf Subgruppenunterschiede zeigen signifikante Unterschiede ($Chi^2 = 6.42$, $p = .04$) und mäßige Heterogenität ($I^2 = 68.9%$; Higgins et al., 2003). Die Breite der Konfidenzintervalle (insbesondere bei Studie 2 - DS)⁴⁷ und deren geringe Überschneidung verdeutlicht zusätzlich die hohe Heterogenität und die merklich variierenden Effektschätzer zwischen den Primärstudien. In Studie 2 - DS kann keine Überlagerung zwischen den Konfidenzintervallen und den Summenschätzern beobachtet werden.

⁴⁷ Die hohe Breite des Konfidenzintervalls in Studie 2 - DS ist auch durch die geringe Fallzahl ($n = 12$) begründet.

Das subgruppenübergreifende Gesamtergebnis ergab ein Cochran's Q (Ch^2) von 150 mit einem zugehörigen p -Wert von, $p < .001$. Es liegt also eine zum Signifikanzniveau 10% statistisch signifikante Heterogenität zwischen den 4 Einzelstudien vor, deren Ausmaß jedoch der Forest-Plot besser demonstriert als der Wert der dieser Signifikanzprüfung zugrundeliegenden Prüfgröße Q . Ferner ergab sich das Maß I^2 zu 93%. Es kann als Indikator einer schon nahezu maximal möglichen Heterogenität zwischen den Einzelstudien interpretiert werden. Die Inter-Studien-Varianz Tau^2 wurde mit 123 geschätzt.

„Gesunde“ Probanden haben im Vergleich zu „beeinträchtigten“ Probanden in allen Bedingungen des TWT bessere Leistungen, wobei mit zunehmender Schwierigkeitsstufe die Unterschiede größer werden (TWT-M: WMD = 7.80, 95% CI [1.03, 14.5]; TWT-A: WMD = 15.0, 95% CI [5.59, 24.4]; TWT-B: WMD = 43.5, 95% CI [14.6, 72.3]. In allen Subgruppen (Bedingungen) wird der gepoolte Effekt signifikant (TWT-M: $Z = 2.27$, $p = .02$; TWT-A: $Z = 3.12$, $p = .002$; TWT-B: $Z = 2.96$, $p = .003$). Es liegt somit eine quantitative Interaktion vor, bei der die Größe des Effektes zwischen den Primärstudien (Einzelstudien) variiert, nicht aber die Richtung des Effektes. Unterschiede lassen sich insbesondere in der Studie mit DS beobachten, wobei Kinder mit DS subgruppenübergreifend die höchsten Bearbeitungszeiten zeigen.⁴⁸ In allen Subgruppen (Bedingungen) wird somit ein Vorteil der „gesunden“ Probanden beobachtet, wobei der Schätzer mit Zunahme der kognitiven Belastung (Schwierigkeitsstufen im TWT/Subgruppen) ungenauer wird (dies wird durch die Breite der Raute des Gesamtergebnisses im TWT-B deutlich). Durch die gemeinsame Betrachtung aller Studien kann gezeigt werden, dass die „gesunden“ Probanden den „beeinträchtigten“ Probanden im TWT überlegen sind ($Z = 5.57$, $p > .001$; die Raute des gepoolten Gesamtschätzers schneidet die Mittellinie nicht).

⁴⁸ Bei Ausschluss der Studie - 2 DS werden die statistischen Kennzahlen zur Heterogenität nicht signifikant und die Größe der gepoolten Effekte steigt deutlich an (in der hier vorliegenden Arbeit nicht abgebildet).

7.2.1.3 Vergleich zwischen motorischen und kognitiven DAK im TMT

Grundlage für die Analyse ist die Summe der proportionalen DAK im TMT-A und TMT-B (siehe Kapitel 5.1.4). Der Forest-Plot (siehe Abbildung 51) und die statistische Auswertung zeigt keine Heterogenität bei „gesunden“ Probanden ($Tau^2 = 0.0$, $Chi^2 = 1.43$, $I^2 = 0\%$) und eine hohe Heterogenität bei „beeinträchtigten“ Probanden ($Tau^2 = 7723$, $Chi^2 = 15.4$, $I^2 = 81\%$).

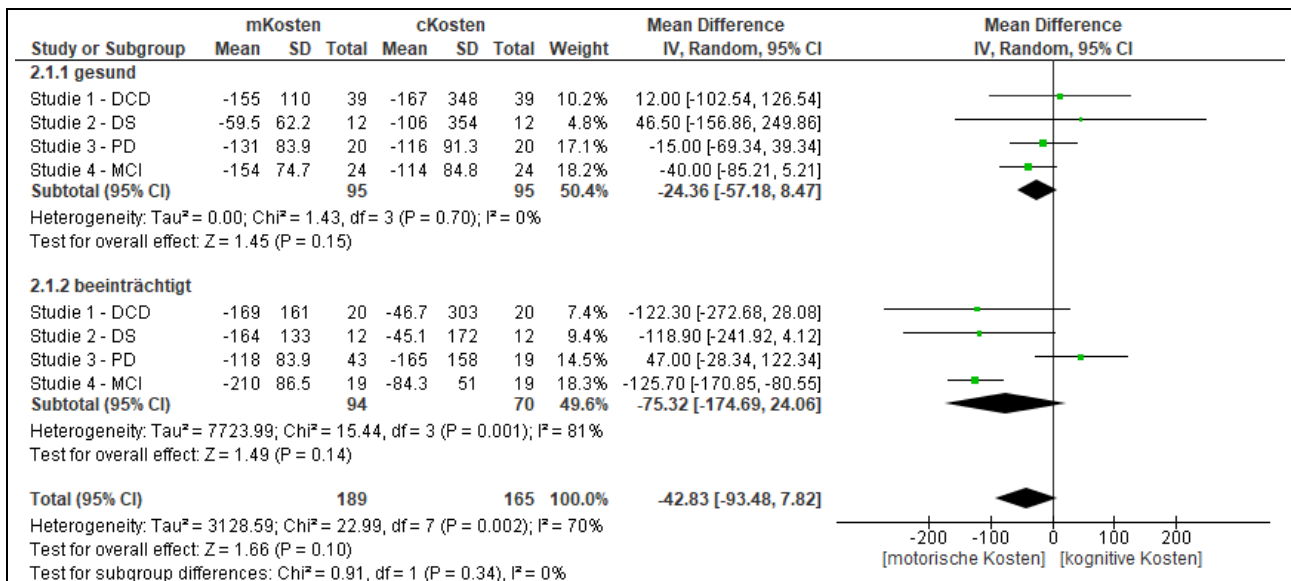


Abb. 51: Forest-Plot für den Vergleich zwischen "motorischen" vs. "kognitiven" DAK bei „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden im TMT (Abbildung erstellt mit RefMan 5.3 [Computer programm], Cochrane Collaboration, 2014).

Die statistischen Tests auf Subgruppenunterschiede werden nicht signifikant ($Chi^2 = 0.91$, $p = .34$) und zeigen keine Heterogenität ($I^2 = 0\%$; Higgins et al., 2003). Die Breite der Konfidenzintervalle der Einzelstudien verdeutlicht die enorme Streuung der Effektschätzer zwischen den Primärstudien.

Das subgruppenübergreifende Gesamtergebnis ergab ein Cochran's Q (Chi^2) von 22.9 mit einem zugehörigen p-Wert von, $p < .001$. Es liegt also eine zum Signifikanzniveau 10% statistisch signifikante Heterogenität zwischen den 4 Einzelstudien vor, deren Ausmaß jedoch der Forest-Plot besser demonstriert als der Wert der dieser Signifikanzprüfung zugrundeliegenden Prüfgröße Q. Ferner ergab sich das Maß I^2 zu 70%. Es kann als Indikator einer hohen Heterogenität zwischen den Einzelstudien interpretiert werden. Die Inter-Studien-Varianz Tau^2 wurde mit 3128 geschätzt.

„Gesunde“ und „beeinträchtigte“ Probanden (Subgruppen) zeigen im TMT höhere motorische im Vergleich zu kognitiven DAK, wobei die Ergebnisse bei „beeinträchtigten“ Probanden deutlicher ausfallen („gesund“: WMD = -24.4, 95% CI [-57.2, 8.47]; „beeinträchtigt“: WMD = -75.3, 95% CI [-174, 24.1]. In keiner der Subgruppen („gesund“ vs. „beeinträchtigt“) kann ein signifikanter Effekt beobachtet werden („gesund“: $Z = 1.45$, $p = .15$; „beeinträchtigt“: $Z = 1.49$, $p = .14$). In der Subgruppe der „beeinträchtigten“ Probanden wird deutlich, dass die Genauigkeit der Schätzung des Effektes gering ausfällt (dies wird durch die Breite der Raute des Subgruppeneffektes deutlich).

Durch die gemeinsame Betrachtung aller Studien (subgruppenübergreifend) kann gezeigt werden, dass die motorischen DAK im Vergleich zu den kognitiven DAK tendenziell höher ausfallen (statistische Signifikanz des gepoolten Effektes: $Z = 1.66$, $p = .10$; die Raute des gepoolten Gesamtschätzers schneidet die Mittellinie nur wenig).

7.2.1.4 Vergleich zwischen motorischen und kognitiven DAK im TWT

Grundlage für die Analyse ist die Summe der proportionalen DAK im TWT-A und TWT-B (siehe Kapitel 5.1.4). Der Forest-Plot (siehe Abbildung 52) und die statistische Auswertung zeigt keine Heterogenität bei „gesunden“ Probanden ($Tau^2 = 00.0$, $Chi^2 = 0.78$, $I^2 = 0\%$) und eine hohe Heterogenität bei „beeinträchtigten“ Probanden ($Tau^2 = 17048$, $Chi^2 = 37.3$, $I^2 = 92\%$). Die statistischen Tests auf Subgruppenunterschiede werden signifikant ($Chi^2 = 4.03$, $p = .04$) und zeigen eine hohe Heterogenität ($I^2 = 75.2\%$; Higgins et al., 2003). Die Breite der Konfidenzintervalle der Einzelstudien verdeutlicht die enorme Streuung der Effektschätzer zwischen den Primärstudien.

Das subgruppenübergreifende Gesamtergebnis ergab ein Cochran's Q (Chi^2) von 59.8 mit einem zugehörigen p-Wert von, $p < .001$. Es liegt also eine zum Signifikanzniveau 10% statistisch signifikante Heterogenität zwischen den 4 Einzelstudien vor, deren Ausmaß jedoch der Forest-Plot besser demonstriert als der Wert der dieser Signifikanzprüfung zugrundeliegenden Prüfgröße Q. Ferner ergab sich das Maß I^2 zu 88%. Es kann als Indikator einer hohen Heterogenität zwischen den Einzelstudien interpretiert werden. Die Inter-Studien-Varianz Tau^2 wurde mit 11305 geschätzt.

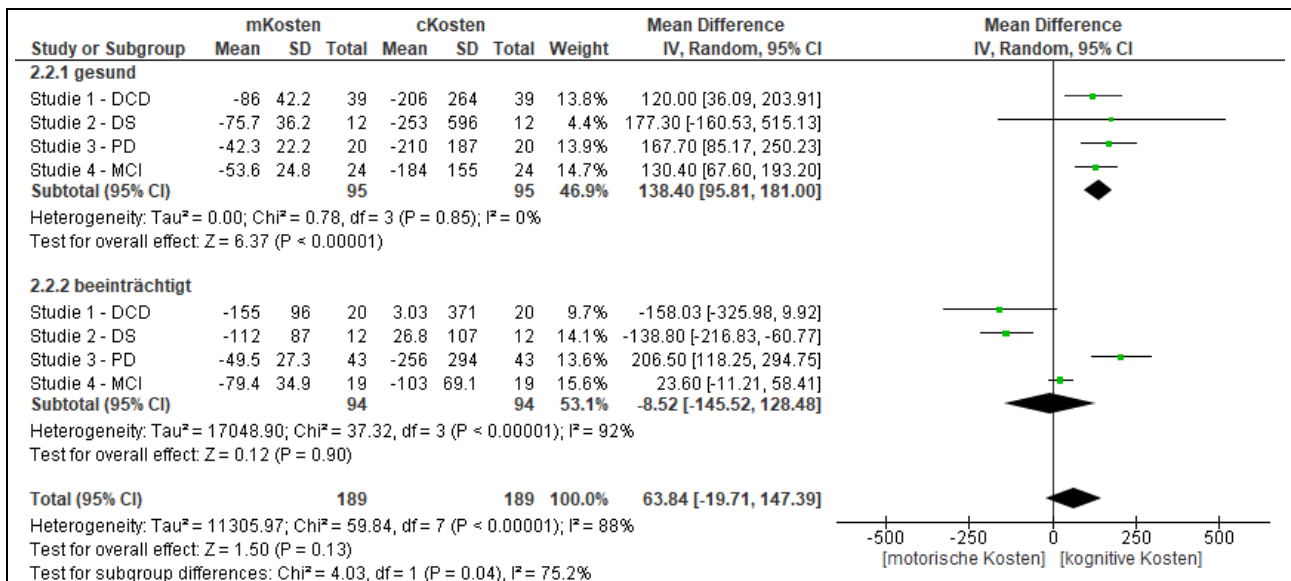


Abb. 52: Forest-Plot für den Vergleich zwischen "motorischen" vs. "kognitiven" DAK bei „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden im TWT (Abbildung erstellt mit RefMan 5.3 [Computer programm], Cochrane Collaboration, 2014).

„Gesunde“ zeigen im TWT höhere kognitive im Vergleich zu motorischen DAK (WMD = 138, 95% CI [95,8, 181]), wobei ein signifikanter Effekt beobachtet werden kann ($Z = 6.37$, $p > .001$). „Beeinträchtigte“ Probanden zeigen vergleichbar hohe motorische und kognitive DAK (WMD = -8.52, 95% CI [-145, -128]), wobei die Genauigkeit der Schätzung des Effektes gering ausfällt, $p = .90$ (dies wird durch die Breite der Raute und die Überschneidung der Mittellinie der Subgruppe „beeinträchtigt“ deutlich). Durch die gemeinsame Betrachtung aller Studien (subgruppenübergreifend) kann gezeigt werden, dass die kognitiven DAK im Vergleich zu den motorischen DAK höher ausfallen, allerdings nicht signifikant (statistische Signifikanz des gepoolten Effektes: $Z = 1.50$, $p = .13$; die Raute des gepoolten Gesamtschätzers schneidet die Mittellinie).

7.2.2 Diskussion zur metaanalytischen Betrachtung der Ergebnisse

Die metaanalytische Darstellung der Einzelstudien erlaubt einen Überblick der Effekte innerhalb und zwischen den Einzelstudien. Hierfür wurden die Ergebnisse der Einzelstudien einheitlich und nachvollziehbar (normierte Zeiten im TMT und TWT sowie die proportionalen DAK der Einzelstudien) gepoolt und quantitativ zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst. Der gepoolte Effektschätzer erlaubt eine Aussage

des studienübergreifenden Gesamtergebnisses, der allerdings aufgrund der hohen Heterogenität der Einzelstudien mit Vorsicht interpretiert werden muss.

Sowohl im TMT als auch im TWT zeigen „gesunde“ Probanden in allen Bedingungen (rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) bessere Leistungen mit geringeren Bearbeitungszeiten. Mit Zunahme der kognitiven Belastung kann studienübergreifend eine Erhöhung der Zeiten bei der Bearbeitung des TMT und TWT beobachtet werden. Die Genauigkeit der Effektschätzer innerhalb der Subgruppen wird, durch die Zunahme der kognitiven Belastung und die dadurch bedingte Zunahme der Streuung innerhalb der Einzelstudien, geringer. Zwischen den Subgruppen (Bedingungen) sind vergleichbare Muster zu erkennen, wobei keine Heterogenität ($p = .08$) im TMT, allerdings im TWT mit einem p -Wert von, $p = .04$, zu beobachten ist. Insbesondere Kinder mit DS zeigen die mit Abstand höchsten Bearbeitungszeiten und eine breite Streuung der Effektschätzer (in allen Subgruppen bzw. Bedingungen), die entsprechend zu der hohen Heterogenität innerhalb und zwischen den Subgruppen führt. Ein möglicher Erklärungsansatz für die hohe Streuung innerhalb der Studie 2 - DS ist, dass typisch entwickelte Kinder mit gleichem chronologischen Alter (TD-CA) für den Vergleich zwischen „gesund“ und „beeinträchtigt“ herangezogen wurden. Dies verdeutlicht die großen Unterschiede zwischen „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden innerhalb der Studie mit DS. Auch ist die Fallzahl ($n = 12$) der Untergruppen (TD-CA bzw. DS) in Studie 2 - DS im Vergleich zu allen anderen Studien gering, was die hohe Streuung zusätzlich erklären kann.

Bezüglich der motorischen und kognitiven DAK können im TMT sowohl bei „gesunden“ Probanden als auch bei „beeinträchtigten“ Probanden (außer bei PD) höhere motorische im Vergleich zu kognitiven DAK beobachtet werden. Im TWT können demgegenüber höhere kognitive DAK bei „gesunden“ und vergleichbare motorische und kognitive DAK bei „beeinträchtigten“ Probanden beobachtet werden. Bei der Interpretation der Ergebnisse zu DAK ist ebenfalls Vorsicht geboten, da mittels Forst-Plot und genannten Prüfgrößen (Tau^2 , Chi^2 und I^2) eine hohe Heterogenität zwischen den Einzelstudien erkannt werden kann. Die Effektschätzer der Einzelstudien weichen insbesondere bei „beeinträchtigten“ Probanden stark voneinander ab. Eine globale Aussage zu den motorischen und kognitiven DAK anhand eines gemeinsamen

Effektschätzers, ohne eine Differenzierung der Probandengruppen (Krankheitsbilder) erscheint aufgrund der beschriebenen Heterogenität nicht zulässig. Darüber hinaus wurde bei der Berechnung des Gesamtschätzers zu motorischen und kognitiven DAK nicht nach fein- und grobmotorischer Aufgabe differenziert. Somit kann dies, unabhängig von der motorischen Anforderung, vielmehr als „übergeordnete“ Fähigkeit interpretiert werden, Doppelaufgaben durchzuführen und Aufmerksamkeitsressourcen zu verteilen.

Es ist somit umstritten, inwieweit eine Zusammenfassung der Ergebnisse trotz Heterogenität sinnvoll ist. Jedenfalls sollte auf Grundlage der hohen Heterogenität sowohl bezüglich der Zeiten als auch in den motorischen und kognitiven DAK, die Schlussfolgerungen zum gepoolten Gesamtschätzer und dem Vergleich zwischen „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Probanden kritisch betrachtet werden. Zur Interpretation der Metaanalyse muss die Qualität und Größe der Primärstudien, die Ergebnisse der Heterogenitätstests und die Sensitivitätsanalysen berücksichtigt werden. Aufgrund der verschiedenen Beeinträchtigungen und Besonderheiten in den Krankheitsbildern der eingeschlossenen Studien (DCD, DS, PD und MCI), ist kein gemeinsamer, studienübergreifender Effekt zu erwarten gewesen, weshalb das „Random-Effekt“ Modell herangezogen wurde (Deeks, Higgins, & Altman, 2008). Die konservative Schätzung mittels „Random-Effekt“ Modell (aufgrund der hohen Heterogenität) hat allerdings den Nachteil, dass es zu einer relativen Überbewertung von kleineren Studien kommt (Timmer & Rücker, 2008). Dies ist insbesondere dann problematisch, wenn kleinere Studien ein hohes Risiko für Verzerrungen aufweisen, wie es in der vorliegenden Arbeit durch die Studie 2 - DS der Fall ist.

8 Allgemeine Diskussion zu den Ergebnissen und Methoden

Die allgemeine Diskussion soll als zusammenhängende Betrachtung der zuvor erarbeiteten übergeordneten Sachverhalte (Forschungsstand; Methodische Herausforderungen; Ergebnisse aller Einzelstudien und gepoolte Reanalyse) verstanden werden. Für eine ausführliche Diskussion zu den Ergebnissen der Einzelstudien wird auf die studienspezifischen Unterkapitel verwiesen.

Verschiedene Forschungsfelder bedienen sich dem Doppelaufgabenparadigma mit unterschiedlichen Frage- und Zielstellungen. Die angenommenen funktionellen Eigenschaften, Mechanismen und Probleme des Informationsverarbeitungssystems können grundlagenorientiert erforscht werden. Entsprechend werden die spezifischen Mechanismen und relevanten Faktoren (z.B. Art und Schwierigkeitsgrad der Aufgaben) eines Wettbewerbs um Ressourcen (Domänenübergreifendes Wettbewerbsmodell; Lacour et al., 2008) und die Prozesse der Ressourcenzuteilung sowie die Strategien der Aufgabepriorisierung untersucht (U-förmiges nichtlineares Interaktionsmodell, Verrel et al., 2009; Integriertes Modell der Aufgabepriorisierung, Yogev-Seligmann et al., 2012; siehe Kapitel 3.2). Anwendungsorientierte Schwerpunkte beziehen sich u.a. auf Effekte spezifischer Interventionsprogramme und die Frage, ob Veränderungen durch Doppelaufgaben besser (sensitiver) erfasst werden können (Zijlstra et al., 2008) oder, ob Doppelaufgaben zur Diagnose, Prävention und dem Umgang mit Stürzen oder kognitiver Beeinträchtigung (z.B. Interventionsmaßnahmen) einen Mehrwert besitzen (Menant et al., 2014).

8.1 Methodendiskussionen

8.1.1 Diskussion des Untersuchungsdesigns und der Stichproben

Bei der hier vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine querschnittlich angelegte nicht-interventionelle Beobachtungsstudie. Die Qualität und Aussagekraft einer Studie wird entscheidend durch das Studiendesign bestimmt.

„Unter Studiendesign kann man jedoch auch das Gesamtkonzept aller Vorgehensweisen im Rahmen einer Studie verstehen.“ (Röhring, du Prel, & Blettner, 2009, S.184)

Das „Studiendesign“ wird in der Literatur demnach häufig mit dem Studientyp assoziiert und der Begriff dadurch auf die Auswahl eines geeigneten Studientyps reduziert. Auch nach Anglemeyer, Horvath und Bero sollten Pauschalurteile zur Zuverlässigkeit von Studien allein auf Grundlage des Studientyps vermieden werden (2014). Mithilfe einer detaillierten Studienplanung sollen Einflüsse, die das Testergebnis verfälschen können, reduziert werden. Röhring et al. (2009) erarbeiten sechs wesentliche Aspekte zum Thema Studiendesign heraus, die bei der Planung und Beurteilung einer Studie unbedingt zu beachten sind. Neben der Fallzahlabeschätzung sind die Fragestellung, die Studienpopulation, die Beobachtungseinheit, der Studientyp und das Messverfahren die entscheidenden Kriterien. Mit diesen Kriterien wird versucht die Qualität der vorliegenden Studien insgesamt zu bewerten.

Die Forschungsfragen und Annahmen wurden vorab klar definiert. Mit den Hypothesen waren der Studientyp, der Umfang der erhobenen Daten sowie deren Skalenniveau und die damit verbundenen Auswertungsstrategien (Inferenzstatistik) determiniert.

Die Ein- und Ausschlusskriterien für die Studienteilnahme wurden im Vorfeld für die verschiedenen Subgruppen klar definiert, um eine möglichst hohe Repräsentativität der Studienpopulation innerhalb einer Studie zu gewährleisten. Die Differenzierung in die Untergruppen innerhalb der Einzelstudien wurde durch standardisierte, gut validierte und weitestgehend akzeptierte Messverfahren (MABC-2 bei DCD, PPVT-4 bei DS, UPDRS-III bei PD und MoCA bei MCI) vorgenommen.

Messmethodisch wurde darauf geachtet, dass in allen Einzelstudien – möglichst standardisiert – dieselbe Testreihenfolge beibehalten wird, um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden. Begonnen wurde mit der Einverständniserklärung und den Fragebögen. Im Anschluss wurden die spezifischen Tests zur Gruppeneinteilung (MABC-2, PPVT-4, UPDRS-III und MoCA) und zuletzt sowohl der TMT und der TWT mit den entsprechenden Bedingungen randomisiert durchgeführt.

Die Rekrutierung der Teilnehmer erfolgte aus organisatorischen Gründen nicht randomisiert, sondern ergab sich selektiv und unizentrisch (nur an einer Institution; z.B. MDRC bei PD-Patienten oder Rehabilitationsklinik bei DCD-Kindern) nach der Kontaktaufnahme (siehe Kapitel „Stichprobe“ in den Einzelstudien).

Eine a-priori Planung des Stichprobenumfangs wurde nicht durchgeführt. Statistisch gesehen führt eine größere Stichprobe zu einer höheren Teststärke, was wünschenswert ist. Demgegenüber können zu große Stichproben beinahe beliebig kleine Mittelwertsunterschiede signifikant werden lassen und suggerieren einen Unterschied, der durchaus klein und unbedeutend sein kann. In Hinblick auf das Nebengütekriterium der Ökonomie kann das Fehlen einer vorab durchgeführten Stichprobenplanung entsprechend als kritisch betrachtet werden. Eine a posteriori Ermittlung der Teststärke nach der Erhebung und auf Grundlage der gefundenen Effektgrößen wurde nicht berechnet.

8.1.2 Diskussion zu den Untersuchungsmethoden

Die nachfolgende Diskussion der Untersuchungsmethoden fokussiert auf die zentralen Vorüberlegungen möglicher motorischer Aufgaben (Fortbewegungsaufgaben) sowie den methodischen Herausforderungen bei der Wahl von kognitiven Aufgaben. Im Anschluss folgt eine allgemeine Diskussion zu den testtheoretischen Gütekriterien sowie den psychometrischen Eigenschaften des TWT.

Für eine ausführliche Diskussion zu den Fragebögen der soziodemografischen Informationen, der körperlicher Aktivität und der sturzassoziierten Selbstwirksamkeit sowie den spezifischen Verfahren für die Gruppenzuteilung in den Einzelstudien wird auf die entsprechenden Validierungsstudien verwiesen (MABC-2; Brown & Lalor, 2009), PPVT-4; Lenhard et al., 2015; UPDRS-III, Goetz et al., 2007; und MoCA, u.a. Freitas, Simoes, Marôco, Alves, & Santana 2012).

8.1.2.1 Diskussion zur motorischen Aufgabe

Die Wahl der Fortbewegungsaufgabe ist ein entscheidender Aspekt der Vorüberlegungen in Doppelaufgabenparadigmen (Kapitel 5.1.6). Die Bewältigung von Alltagsaufgaben verlangt nicht nur das Gehen auf geraden Strecken, wie es in Studien mit dem Doppelaufgabenparadigma häufig eingesetzt wird, sondern es muss Hindernissen und Menschen ausgewichen und durch Straßen navigiert werden (Schott, 2015).

Gerade die genaue Platzierung der Füße, insbesondere bei schwierigen Umgebungsbedingungen, zur Vermeidung von Stolpern und Ausrutschen ist essentiell (Alexander et al., 2005). Im Vergleich zum Geradeausgehen werden bei den verschiedenen Richtungswechseln im TWT unterschiedliche kognitive Funktionen angesprochen. Während das Geradeausgehen durch einfache Informationsverarbeitungsprozesse gelöst werden kann, erklärt die kognitive Flexibilität und die Fähigkeit zum Aufgabenwechsel die Geschwindigkeit beim Kurvengehen (Lowry et al., 2012) sowie beim Gehen mit Richtungswechsel (Mazaheri et al., 2014; vgl. Schott, 2015). Bei Kindern wird das Laufen durch häufige Starts und Stopps unterbrochen, einschließlich vieler (30-50%) 1- bis 3 kleinschrittiger Gangmuster (Adolph et al., 2012; Cole et al., 2016; Lee et al., 2018). Dadurch scheint das Gehen mit Richtungswechsel im TWT eine ökologisch valide Alternative mit erhöhter Schwierigkeitsstufe zu sein. In zukünftigen Studien sollten in Abhängigkeit der Zielstellung motorische Aufgaben herangezogen werden, die auf Grundlage inhaltlicher Überlegungen als ökologisch valide betrachtet werden können und darüber hinaus zum neuropathologischen und psychologischen Profil der Personen mit motorischer oder kognitiver Einschränkung passen.

Damit mögliche Mechanismen der evidenzbasierten Untersuchungen zu Interferenzen in einem übergeordneten Rahmen diskutiert und die Ergebnisse in der Praxis verwertet werden können, ist eine umfassende Taxonomie als Handreichung notwendig. Die Taxonomie bezieht sich dabei sowohl auf die Begriffsbestimmung dessen was unter Doppelaufgabe verstanden wird (siehe McIsaac et al., 2015), als auch auf die Kategorisierung von motorischen und kognitiven Aufgaben. Ein zentrales Problem einer Taxonomie ist dabei die sichere Zuordnung der Aufgaben und die Frage nach den Zuordnungskriterien. Grundlage hierfür kann bspw. der Schwierigkeitsgrad oder die mit der Aufgabe verbundenen kognitiven Prozesse sein. Al-Yahya et al. (2011) haben bezüglich der kognitiven Aufgaben eine Klassifizierung veröffentlicht, die nach den kognitiven Prozessen kategorisiert (siehe Tabelle 7). Für ein Klassifizierungsschema der motorischen Aufgabe wäre denkbar, eindimensionale Systeme heranzuziehen, die nach der Größe der benötigten Primärmuskulatur (fein vs. grob), der Spezifizierung des Beginns und des Endes einer Bewegung (diskret vs.

kontinuierlich) und/oder der Beständigkeit der Umweltbedingungen (offen vs. geschlossen) differenzieren. Berücksichtigt man mehrere dieser Systeme werden daraus 2- bzw. 3-dimensionale Systeme. Das Balancieren auf einer Linie kann dadurch bspw. als eine offene, kontinuierliche und weitestgehend feinmotorische Aufgabe klassifiziert werden. Nach diesen Kriterien können zwei, aufgrund ihrer äußeren Erscheinung, vermeindlich völlig verschiedene motorischen Aufgaben doch zur selben Kategorie gehören. Dies soll summarische Aussage erlauben und zu Klarheit sowie einem besseren Verständnis des Untersuchungsbereiches führen.

8.1.2.2 Diskussion zur kognitiven Aufgabe

Die methodischen Herausforderungen bei der Wahl der kognitiven Aufgabe wurden bereits in Kapitel 5.1.2 angesprochen. Insgesamt wird eine Reihe von kognitiven Zweitaufgaben herangezogen, die teilweise unterschiedliche kognitive Funktionen beanspruchen. Al-Yahya et al. (2011) haben wie bereits erwähnt eine Aufgabenklassifizierung veröffentlicht, die nach dem kognitiven Prozess der Aufgaben kategorisiert (siehe Tabelle 7). Das Spektrum der erhobenen Funktionsbereiche ist sehr breit und reicht von einfachen Informationsverarbeitungsprozessen bis hin zu sehr differenzierten Prüfungen unterschiedlicher Bereiche der EF mithilfe diverser Aufgaben.

Bezüglich des Arbeitsgedächtnis und damit der ersten zentralen Komponente der EF (siehe Abbildung 6) können wir drei Systeme voneinander unterscheiden. Gemeint ist das Dreikomponentenmodell von Baddeley (2012), welche die Phonologische Schleife (Forward Digit Task, Word Span Task; Gathercole et al., 2004) und den visuell-räumlichen Notizblock (Delayed Response Task; Hunter, 1913 oder Block Recall Task, Spatial Span Task; Gathercole et al., 2004) als Speichermodule des Kurzzeitgedächtnisses von der zentralen Exekutive (Backward Span Task, Listening Recall Task; Carlson, 2005; Gathercole et al., 2004), die die Verteilung der Prioritäten der Arbeitsvorgänge regelt, voneinander versuchen zu differenzieren. Auch bezüglich der Inhibitionsfähigkeit als zweite zentrale Komponente der EF (Whisper Task, Go/No-Go Task, Stroop Task, Flanker Task; Carlson, 2005) und der kognitiven Flexibilität als dritte Komponente (in erster Linie Task-Switching Paradigmen; Jersild,

1927 oder Trail-Making Test; Reitan, 1955) gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Aufgaben.

Mit diesen Verfahren wird in erster Linie versucht, die genannten Komponenten der EF zu fraktionieren und isoliert zu bewerten. Ob dies damit gelingt, muss kritisch hinterfragt werden. Bei der Backward Span Task, in welcher eine Sequenz von Zahlen oder Wörtern rückwärts wiedergegeben werden muss, spielen beispielsweise nicht ausschließlich Arbeitsgedächtnisprozesse, sondern auch Inhibitionsprozesse eine entscheidende Rolle. So muss die Tendenz, die Sequenz in derselben Reihenfolge wiederzugeben, inhibiert werden. D.h. die einzelnen Komponenten der EF sind mehr oder weniger voneinander abhängig und können bei den verschiedenen Aufgaben nicht isoliert angesprochen werden. Ein weiteres Beispiel ist die flexible Ressourcenallokation der Aufmerksamkeit, wie sie bei der selektiven Aufmerksamkeit oder Task-Switching Paradigmen wichtig erscheint. Hier muss ein gewisses Leistungsniveau des Arbeitsgedächtnisses (Regeln im Kopf behalten) und der inhibitorischen Kontrolle (Weglenken der Aufmerksamkeit der nicht zu beachtenden Aufgabe) vorausgesetzt werden. Auch bei klassischen Inhibitionsaufgaben wie der Stroop Aufgabe sind Arbeitsgedächtnisprozesse unumgänglich. Gleiches gilt für den TMT und TWT, der im Rahmen dieser Arbeit zum Einsatz kommt. Eine isolierte Betrachtung der Komponenten der EF erscheint hier nicht möglich. Die Tendenz von Hütchen 4 zu Hütchen 5 zu laufen muss bspw. in der Bedingung TWT-B (Zahlen und Buchstaben) inhibiert werden. Gleichzeitig ist die kognitive Flexibilität als Fähigkeit zwischen Zahlen und Buchstaben zu wechseln entscheidend, um von Hütchen 4 zu Hütchen D zu laufen.

Ohnehin muss danach gefragt werden, ob – durch den ehrwürdigen Versuch mithilfe von spezifischen Aufgaben die einzelnen Komponenten der EF zu isolieren – das Wesen dieser Funktion nicht verloren geht. Das Fraktionieren der einzelnen Komponenten durch eine spezifische Aufgabe wirkt sich nachteilig auf dessen ökologische Validität aus. Grund ist, dass eine solche Aufgabe in der Realität vermutlich nie isoliert durchgeführt wird.

[...] an essential property of all „executive“ behavior is that, by its nature, it involves the simultaneous management of a variety of different functional processes.“ (Rabbitt, 1997, S.14)

Ungeachtet des möglichen Versuchs der isolierten Bewertung der EF mithilfe der verschiedenen Bedingungen im TWT, die aufgrund der beschriebenen Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Komponenten schwierig erscheint, kann der TWT als ökologisch valide Aufgabe zur Evaluation der EF betrachtet werden.

8.1.2.3 Diskussion zu den Gütekriterien des TWT

Häufig wird mit der Qualitätsbezeichnung „Test“ aus wissenschaftlicher Sicht ein Kriterienkatalog verknüpft, der bei der Konstruktion oft außer Acht gelassen wird. (Bös, 2001, S.533). Das Attribut „Test“ wird im Rahmen dieser Arbeit nur für wissenschaftlich abgesicherte Instrumente akzeptiert, die den statistischen Gütekriterien des testtheoretischen Modells (klassische Testtheorie; „Messfehler-Theorie“) genügen (ebd., S.543).

Die Kriterien, die eine Beurteilung der Güte des TWT gestatten wurden bereits bei Schott (2015) validiert, wobei sich der TWT als gut durchführbares, reliables und valides Instrument zur Früherkennung in der Unterscheidung zwischen gestürzten und nichtgestürzten Personen ($M = 81$, $SD = 7,34$; [50-81Jahre]) erwiesen hat. Entsprechend der Bedeutung der verschiedenen Qualitätsaspekte werden drei Hauptgütekriterien und vier Nebengütekriterien angesprochen. Die Hauptgütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität werden als weitestgehend unverzichtbar angesehen, während Nebengütekriterien in Abhängigkeit der Testziele und Anwendungsinteressen als „bedingte Forderungen“ betrachtet werden. (Bös, 2001, S.545)

Die Objektivität lässt sich entsprechend der Einflussmöglichkeiten auf die Testergebnisse weiter in die drei Bereiche: Durchführungsobjektivität, Auswertungsobjektivität und Interpretationsobjektivität differenzieren (Sedlmeier & Renkewitz, 2008, S.71). Insbesondere die Objektivität bei der Durchführung ist entscheidend und meint das Ausmaß der Unabhängigkeit der Testergebnisse, von der Person des Versuchsleiters und von den räumlichen sowie technisch-organisatorischen Bedingungen der Testsituation. Durch Standardisierung der Testsituation, klare Instruktionen und eine möglichst minimale soziale Interaktion zwischen Versuchsleiter und Versuchsperson wurde versucht, konfundierende Variablen als Alternativerklärungen auszuschließen

und die Durchführungsobjektivität zu erhöhen. Die Auswertungs- und Interpretationsobjektivität wird beim TWT als hoch eingeschätzt, da die Zeiten als quantitatives Maß herangezogen, mit der Stopuhr gemessen und die Zeitpunkte für das Starten und Stoppen der Stopuhr klar definiert waren. Unter Reliabilität meint man die Zuverlässigkeit mit der ein Test ein Merkmal misst. Laut Bös (2001) drückt sich diese nicht ausschließlich durch die Messgenauigkeit, sondern auch:

„[...] durch die Summation möglicher personenzentrierter (u.a. Stimmungen, Konzentrationschwankungen, Müdigkeit, Tagesform) und äußerer (Klima, Tageszeit, Raumatmosphäre) Einflussgrößen [...]“ (S.547)

aus. Ein entscheidendes Problem besteht darin, dass bei mehrmaliger Durchführung der Bedingungen des TWT Übungs- und Erinnerungseffekte wahrscheinlich sind. So kann die Position der Hütchen in einer Bedingung (Banderolen mit Zahlen bzw. Zahlen und Buchstaben) von Durchgang zu Durchgang im Gedächtnis behalten und erinnert werden. Um diesen Erinnerungseffekten entgegenzuwirken wurden die Bedingungen in allen Studien randomisiert durchgeführt. Bei einer Randomisierung wird außerdem angenommen, dass alte und neue Informationen beim Abruf miteinander konkurrieren und Erinnerungsleistungen abgeschwächt werden (proaktive und retroaktive Interferenzmechanismen spielen hierbei gleichermaßen eine Rolle; Köster, Degel, & Piper, 2002). Konsequenterweise wurde die Gleichheit der Messergebnisse bei wiederholter Durchführung – in jeder Einzelstudie – durch die Höhe der Korrelation zwischen den Messzeitpunkten (3 Durchgänge im TWT in den Studien mit DCD, DS und PD sowie 5 Durchgänge in der Studie mit MCI) quantifiziert und interpretiert (Retest-Methode, ICC), wobei die hohen ICC-Koeffizienten die Reliabilität des TWT bestätigen.

Während Reliabilität und Objektivität die Zuverlässigkeit eines Tests kennzeichnen, gibt die Validität Auskunft darüber, inwieweit ein Test auch wirklich Eigenschaften erfasst, die es zu messen vorgibt. Auch bei der Validität können verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Die inhaltliche (repräsentative) Validität wird meist auf Plausibilitätsebene und nicht in numerischen Validitätskoeffizienten ausgedrückt (Sedlmeier & Renkewitz, 2008).

Auf der Basis inhaltlicher Überlegungen und subjektiver Plausibilitäten kann dem TWT Inhaltsvalidität bescheinigt werden, wenn die dynamische posturale Kontrolle und die exekutiven Funktionen bewertet werden sollen. Schott (2015) konnte moderate bis hohe Zusammenhänge zu weiteren Tests zeigen, die die motorische (u.a. 19-m Gehen mit und ohne Kopfdrehung, Timed „Up and Go“-Test; TUG-Test) oder kognitive Leistungsfähigkeit (TMT, Block-Tapping-Test; BTT) überprüfen und damit die konvergente Konstruktvalidität bestätigen. Wenn der TWT zu diagnostischen Zwecken und in der Praxis als Vorhersage zukünftigen Verhaltens oder Entwicklungsverläufe eingesetzt werden soll (Entwicklung einer Demenz, Sturzvorhersage, Schweregrad bei PD), erscheinen längsschnittliche Untersuchungen in denen die Kriterien (Demenzdiagnose, Sturzgeschehen etc.) nach der Testdurchführung ermittelt werden können (prognostische oder prädiktive Validität) notwendig.

In der diagnostischen Fachliteratur wird den Hauptgütekriterien ein breiter Raum gewidmet. Die Kategorien Testökonomie, Testvergleichbarkeit und Testnützlichkeit als Nebengütekriterien werden demgegenüber eher am Rand angesprochen und stehen nicht zwingend in einer Beziehung zu den Hauptgütekriterien (vgl. Bös, 2001, S.553). Für den nicht anwendungsorientierten Wissenschaftler sind die Nebengütekriterien von zweitrangigem Interesse. Für den Testanwender in der klinischen Praxis ist vor allem die Frage der Testökonomie das entscheidende Argument für oder gegen ein Instrument bzw. Testverfahren (für einen detaillierten Überblick zu testtheoretischen Grundlagen siehe Bös, 2001, S.531-557) Je nach Perspektive unterscheiden sich auch die Nützlichkeitsbetrachtungen. Die wissenschaftliche ausgerichtete Diagnostik wird andere Ziele verfolgen als der Arzt oder Therapeut. Der Wissenschaftler wird sich demgegenüber weniger an Ökonomieaspekten oder alltagsdiagnostischer Nützlichkeitsbetrachtungen orientieren. Auch spielen praxisrelevante Fragestellungen für den Wissenschaftler, außer bei angewandten Forschungsthemen, eine eher zweitrangige Rolle. Der TWT kann diesbezüglich als nicht-invasives, schnell, einfach und wiederholt durchführbares und wenig kostspieliges Verfahren gesehen werden. Frühe Veränderungen der motorischen und kognitiven Leistungsfähigkeit können erkannt werden, wobei der Test dem Testanwender in der Klinik bei der Diagnose von spezifischen Krankheitsbildern (bspw. MCI) helfen soll. Darüber hinaus kann der

TWT aus wissenschaftlicher Perspektive dazu beitragen grundlegende Mechanismen zu motorisch-kognitiven Interferenzen zu verstehen und diese zu erklären.

8.1.3 Diskussion zu den statistischen Methoden

Die nachfolgende Diskussion der statistischen Methoden fokussiert auf die Imputation von fehlenden Werten und Ausreißerwerten, den normierten Zeiten als Maß für die Leistung im TWT, die Berechnung der DAK und die im Rahmen dieser Arbeit zum Einsatz kommenden parametrischen Testverfahren (ANOVA mit Messwiederholung) zur inferenzstatistischen Auswertung.

8.1.3.1 Diskussion zur Imputation fehlender Werte und Ausreißerwerte

Ziel der Imputation ist, fehlende Werte und Ausreißerwerte durch möglichst „passende“ Werte zu ersetzen (Musil, Warner, Yobas, & Jones, 2002). Hierfür gibt es eine Vielzahl an Verfahren, wobei zwischen einfacher und multipler Imputation unterschieden werden kann (Rohrschneider, 2007). Der Umgang mit fehlenden Daten kann sehr schwierig sein. Falls man Einfluss auf die Erhebung von Daten hat, sollte darauf geachtet werden, dass fehlende Werte möglichst vermieden werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die fehlenden Werte und Ausreißerwerte durch eine einfache, statische Mittelwertimputation (mean value imputation oder mean substitution) ersetzt, wobei der arithmetische Mittelwert aller beobachteten Werte innerhalb der Subgruppen herangezogen wurde (z.B. Zeiten innerhalb der Gruppe der älteren Erwachsenen mit pMCI). Der Vorteil einer Mittelwertimputation ist die einfache Durchführung und die daraus resultierende geringe Varianz der imputierten Daten (vgl. Schafer & Graham, 2002). Die Güte dieser Methode wird allerdings auch kritisch betrachtet, da gleichzeitig die wahre Varianz in einem Datensatz unterschätzt wird. Insbesondere Kinder mit DS stellen in Bezug auf die motorische und kognitive Leistungsfähigkeit eine heterogene Gruppe dar, weshalb die wahre Verteilung verzerrt sein kann (Homogenisierung der Stichprobe). Laut Schlomer, Bauman und Card (2010) ist die Methode der Substitution mithilfe des Mittelwertes ungeeignet.

Die Autoren empfehlen Mehrfachimputationen oder die Maximum-Likelihood-Methode (ML-Methode) als alternative Ansätze. Da jedoch nicht von einem systematischen Auftreten von Ausreißern oder fehlenden Werten ausgegangen wird (missing completely at random; MCAR), ist eine Berechnung von Mittelwerten weitestgehend verzerrungsfrei (Rohrschneider, 2007, S.33).

8.1.3.2 Diskussion zu den Zeiten als Maß für die Leistung im TWT

In allen Bedingungen des TWT werden die Zeiten als Leistungsindikator herangezogen und diese auf die Längen der verschiedenen Bedingungen normiert. Eine Versuchsperson bzw. ein Patient kann dieselbe Zeit beim TMT-B erzielen, jedoch aus unterschiedlichen Gründen. Ältere Erwachsene mit pMCI könne bspw. aufgrund von Schwierigkeiten bei der visuell-räumlichen Sequenzierung eine schlechte Leistung erbringen, während ein PD-Patient auf Schwierigkeiten bei der inhibitorischen Kontrolle stößt. Mithilfe alternativer Maße kann die Vielfältigkeit der Mechanismen, die der Leistung zugrundeliegen, besser beschrieben werden (besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Erhebung der Zeiten von Hütchen-zu-Hütchen, die für eine detaillierte Erfassung der Entscheidungsprozesse herangezogen werden kann; Zeit in Bewegung, die für die Vorausplanung herangezogen werden kann; Stehzeiten, die vermutlich auf Defizite bei der Bearbeitung von Doppelaufgaben hindeuten; Zeiten für eine 90-Grad bzw. 180-Grad Drehung, die bei PD-Patienten als Tool zur Operationalisierung des Schweregrades des Freezings eingesetzt werden kann). Die Vorhersage funktioneller Veränderungen, die der Leistung zugrundeliegen, wird detaillierter und spezifischer. Kognitive und motorische Defizite werden dadurch deutlicher charakterisiert, was direkte Auswirkungen auf die Behandlung von Patienten haben kann.

Mögliche Fehler wurden nicht berücksichtigt und fließen nur soweit in den Test ein, als die gemessenen Zeiten sich bei der Korrektur des Fehlers („Zurücklaufen zum Hütchen und weiter zum richtigen Hütchen“) erhöhen. Um Fehler nicht zu ignorieren und diese bei der Leistungsbeurteilung nicht zu vernachlässigen kann über einen

Effizienzscore nachgedacht werden, mit dem die Leistung valider und zuverlässiger abgebildet werden kann.

8.1.3.3 Diskussion zur Berechnung der Doppelaufgabenkosten

Zentrale Herausforderung bei der Berechnung der DAK ist, dass sowohl die motorische Aufgabe als auch die kognitive Aufgabe unter Einzelaufgabenbedingung gemessen bzw. bewertet werden muss (Doumas et al., 2008; Schott, 2015).

Bei der rein motorischen Spurverfolgungsaufgabe im TWT (TWT-M) ist dies weitestgehend unproblematisch, auch wenn ein gewisses Maß an Informationsverarbeitung bei der Suche nach dem Weg (Spur) erforderlich ist und ein minimaler kognitiver Aufwand (im Sinne der Informationsverarbeitung) nicht ausgeschlossen werden kann.

Für die Bewertung der rein kognitiven Einzelaufgabe wurde der TMT herangezogen. Für die Berechnung der rein kognitiven Leistung wurde der motorische Anteil herausgerechnet (TMT-A - TMT-M) und damit der isolierte kognitive Prozess bestimmt. Allerdings handelt es sich beim TMT um einen kleinformatischen Paper-Pencil-Test auf einem DIN A4 Blatt. Die visuelle Suche und auch die Navigationsstrategien (egozentrische vs. allozentrische Gedächtnisprozesse) unterscheiden sich hierbei grundlegend von dem großformatigen TWT, was die Vergleichbarkeit der kognitiven Prozesse entscheidend einschränkt. Die Gültigkeit der Berechnung von proportionalen DAK und das Relativieren der Leistung unter Doppelaufgaben im TWT an der Einzelaufgabe im TMT muss dadurch kritisch hinterfragt werden und darf bei der Interpretation der Leistungseinbußen (DAK) im TWT nicht vernachlässigt werden.

Eine alternative Vorgehensweise den rein kognitiven Prozess zu bestimmen wäre, die Leistung des rein kognitiven Prozesses ebenfalls im Rahmen eines großformatigen TWT zu untersuchen und somit die Anforderungen an die visuelle Suchaufgabe vergleichbar zu gestalten. Denkbar ist, die Probanden in der Mitte des Feldes zu positionieren und diese zu instruieren mit dem Finger (oder zur besseren Kontrolle mit einer Taschenlampe) auf die angezielten Zahlen bzw. Buchstaben zu zeigen. Allerdings wird bei einem solchen Vorgehen aufgrund der konstanten Position des

Probanden inmitten des Feldes ein allozentrischen Bezugssystem und vermutlich allozentrische Navigationsstrategien bei der Bearbeitung herangezogen. Wenn sich ein Proband demgegenüber unter Doppelaufgabenbedingung (TWT-A & TWT-B) selbst im Feld bewegt, wird die Anordnung der Hütchen vermutlich relativ zur eigenen Position definiert und entsprechend ein egozentrisches Bezugssystem herangezogen (vgl. Shelton & McNamara, 2001; Wolber & Wiener, 2014), da sich im Verlauf der Doppelaufgabe die relative Position der Hütchen zur eigenen Position und Ausrichtung verändert. Darüber hinaus muss die zusätzliche motorische Aufgabe (Zeigen auf das Hütchen) berücksichtigt und die dafür benötigte Zeit bei der Berechnung der rein kognitiven Leistung herausgerechnet werden. Ein weiterer Vorteil bestünde jedoch darin, dass die rein kognitive Leistung nicht auf Grundlage der benötigten Zeit zur Bearbeitung von 25 Items (TMT), sondern – vergleichbar zum TWT – auf Grundlage der benötigten Zeit für die Bearbeitung von 15 Hütchen operationalisiert werden könnte. Erste Daten mit dieser alternativen Vorgehensweise zur Operationalisierung der Leistung der kognitiven Einzelaufgabe wurden bereits erhoben (Klotzbier & Schott, in prep.).

8.1.3.4 Diskussion der Anwendung der Varianzanalysen mit Messwiederholung

Die gesamten Varianzanalysen dieser Arbeit wurden ohne Kovariaten durchgeführt. Theoriegeleitet wären bei Kindern Variablen wie der BMI oder die Perzentile des BMI oder Gewicht von Relevanz gewesen, da in Studien ein negativer Einfluss von Übergewicht und Adipositas auf die motorische (Lopes et al., 2013; Vameghi et al., 2013) und kognitive Leistungsfähigkeit (Reinert et al., 2013) berichtet wird (vgl. Holfelder, 2015). Um studienübergreifend eine einheitliche statistische Auswertung zu gewährleisten wurde auf die Miteinbeziehung möglicher Kovariaten verzichtet.

Die ANOVA mit Messwiederholung kann nur eingesetzt werden, wenn die Daten für einen bestimmten Faktor abhängig sind. Neben der wiederholten Messung einer Variablen an einer Person zu verschiedenen Zeitpunkten kann die ANOVA mit Messwiederholung auch bei der Messung einer Variablen bei einer Person unter verschie-

denen experimentellen Bedingungen (hier z.B.: TWT-M, TWT-A und TWT-B) eingesetzt werden.

Für die Anwendung einer ANOVA mit Messwiederholung gibt es einige Voraussetzungen, die mehr oder weniger streng eingehalten werden müssen. Verletzungen mancher Voraussetzungen führen zu nur geringer Verfälschung des Testergebnisses, andere wiederum müssen strikt eingehalten werden (siehe auch Janczyk & Pfister, 2013, S.143). Das Skalenniveau ist wichtig, wobei die abhängigen Variablen mindestens intervallskaliert sein müssen. Die abhängige Variable sollte außerdem, für jede Stufe des Innersubjektfaktors, normalverteilt sein (wurde anhand des Kolmogorov-Smirnoff-Tests geprüft). Unter einigen Autoren (Salkind, 2010) gilt die ANOVA mit Messwiederholung allerdings als ausreichend robust gegenüber der Verletzung dieser Annahme. Eine nichtparametrische Alternative zur Varianzanalyse stellt der Kruskal-Wallis-Test dar, der kaum Voraussetzungen an das Modell fordert. Die meisten parametrischen Statistiken sind demgegenüber nur wenig robust gegenüber Ausreißern. Diese Ausreißer wurden vor der Durchführung der ANOVAs ersetzt. Darüber hinaus sollte die Sphärizität gegeben sein (Die Gleichheit der Varianzen der paarweisen Differenzen zwischen den unabhängigen Variablen wurde anhand des Mauchly-Tests geprüft) und bei Heteroskedastizität nach Greenhouse-Geisser korrigiert werden.

8.2 Grundlagenorientierte Ergebnisdiskussion

8.2.1 Diskussion zum Einfluss verschiedener motorischer Aufgaben

Übergeordnetes Ziel der hier vorliegenden Arbeit ist es, die Muster motorisch-kognitiver Interferenzen bei Kindern mit DCD und DS und älteren Erwachsenen mit PD und pMCI („beeinträchtigt“) mit den Mustern typisch entwickelter Kinder und älterer Erwachsener („gesund“) zu vergleichen. Daher wurden motorisch-kognitive Doppelaufgaben mit verschiedenen kognitiven (TMT/TWT-A & TMT/TWT-B) und motorischen Aufgaben (fein- vs. grobmotorisch) herangezogen und auf Grundlage proportionalen DAK ausgewertet. Es wurde erwartet, dass Personen mit Einschränkungen

im Vergleich zur entsprechenden altersangepassten Kontrollgruppe typisch entwickelter Personen, in allen Doppelaufgaben vermehrt Probleme und erhöhte proportionale DAK haben. Die Ergebnisse der Einzelstudien wurden gepoolt und quantitativ zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst (siehe Kapitel 7.2.1.3 & 7.2.1.4). Insgesamt zeigt sich, dass bei der feinmotorischen Aufgabe (TMT) sowohl „gesunde“ als auch „beeinträchtigte“ Kinder und ältere Erwachsene in erster Linie motorische DAK aufweisen. Ein Großteil der älteren Erwachsenen mit PD zeigt hingegen erhöhte kognitive DAK (Abbildung 49), was durch einen negativen Effekt des Wettbewerbs um begrenzte Aufmerksamkeitsressourcen erklärt werden kann (U-förmiges nichtlineares Interaktionsmodell, vgl. Verrel et al., 2009; Kapitel 3.2.3). Da feinmotorische Aufgaben Aufmerksamkeitsressourcen beanspruchen, können – in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Aufmerksamkeitsressourcen – kognitive Ressourcen für die Bearbeitung der kognitiven Aufgabe fehlen (Theorien begrenzter Ressourcen, vgl. Kahneman, 1973 oder Wickens, 1984; Kapitel 3.2.1). Das Ergebnis ist ein Trade-Off (Kompromiss) in Richtung motorischer Aufgabe. Bei der grobmotorischen Aufgabe (TWT) können bei „gesunden“ Probanden in allen Altersbereichen vorrangig kognitive DAK berichtet werden (Abbildung 55). Dies steht im Einklang mit der Annahme, dass es sich beim Gehen um eine komplexe motorische Aufgabe handelt, welche EF beansprucht, aufmerksame Kontrolle erfordert (Hausdorff et al., 2005) und nicht rein automatisiert abläuft (Montero-Odasso et al., 2012; Schott et al., 2016). Bei „beeinträchtigten“ Personen sehen wir insbesondere bei Kindern (DCD und DS) erhöhte motorische DAK. Für ältere Erwachsene mit PD können dagegen vermehrt kognitive DAK berichtet werden. Eine Ressourcenallokation mit Fokus auf die kognitive Aufgabe und Vernachlässigung der Fortbewegungsaufgabe („Posture Second“-Strategie) kann – vor allem bei älteren Erwachsenen mit motorischer (PD) und kognitiver Beeinträchtigung (MCI) – zu schwerwiegenden Stürzen führen (Muir et al., 2012; Montero-Odasso et al., 2012). Eine Verlagerung der Aufmerksamkeit weg von der motorischen Fortbewegungsaufgabe hat bei Kindern entsprechend nicht dieselbe ökologische Relevanz (im Sinne des Sturzrisikos und deren Folgen) wie eine Verschiebung der Aufmerksamkeit weg von der kognitiven Aufgabe. Entgegen der

Befunde von Liu-Ambrose et al. (2008) und Mak et al. (2014) – wonach erhöhte motorische Interferenzen das Sturzrisiko erhöhen – können speziell bei älteren Erwachsenen mit pMCI vergleichbare motorische und kognitive DAK beobachtet werden. Demnach kann angenommen werden, dass ältere Personen mit pMCI im Rahmen dieser Studie ihre Aufmerksamkeitsressourcen flexibel zuteilen können, über eine adäquate Gefahreinschätzung verfügen und/oder ihre eigenen Fähigkeiten angemessen einschätzen (Shumway-Cook et al., 1997; siehe Integriertes Modell der Aufgabenpriorisierung, Yogev-Seligman et al., 2012; Kapitel 3.2.4). Da insbesondere die kognitive Flexibilität stark abhängig ist vom dopaminergen System der Basalganglien (Berry et al., 2016) und bei PD-Patienten eingeschränkt ist (Belghali et al., 2017), scheint demgegenüber eine flexible und situationsangemessene Ressourcenzuteilung bei PD eingeschränkt zu sein.

8.2.2 Diskussion zum Einfluss des Schwierigkeitsgrades der kognitiven Aufgabe

Es wurde geprüft, ob der Schwierigkeitsgrad der kognitiven Zweitaufgabe einen Einfluss auf die Leistung in motorisch-kognitiven Doppelaufgaben hat. Daher wurden motorisch-kognitive Doppelaufgaben mit verschiedenen kognitiven (TMT/TWT-A & TMT/TWT-B) und motorischen Aufgaben (fein- vs. grobmotorisch) herangezogen und auf Grundlage der Zeiten ausgewertet. Die benötigten Zeiten aller Bedingungen (rein motorisch, Zahlen, Zahlen und Buchstaben) wurden sowohl für die fein(TMT)- als auch für die grobmotorische (TWT) Aufgabe gepoolt und quantitativ zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst (siehe Kapitel 7.2.1.1 & 7.2.1.2). Hierbei wurde angenommen, dass die Bearbeitungszeit für Doppelaufgaben mit hoher kognitiver Belastung (TMT/TWT-B) im Vergleich zu Doppelaufgaben mit niedriger kognitiver Belastung (TMT/TWT-A) und rein motorischer Bedingung (TMT/TWT-M) höher ausfallen. Basierend auf den Schwierigkeiten in den verschiedenen Domänen der kognitiven Leistungsfähigkeit wurden, insbesondere bei Personen mit motorischer (DCD und PD) und kognitiver (DS und MCI) Einschränkung, erhöhte Zeiten erwartet. Wenn die Anforderung der kognitiven Zweitaufgabe ansteigt sollte der Unterschiede zwischen den Gruppen („beeinträchtigt“ vs. „gesund“) entsprechend größer ausfallen.

Insgesamt zeigt sich, dass mit Zunahme der kognitiven Belastung sowohl bei fein(TMT)- als auch grobmotorischer(TWT) Aufgabe die Unterschiede zwischen „gesunden“ und „beeinträchtigten“ Personen größer ausfallen (Abbildung 49 und 50). Das domänenübergreifende Wettbewerbsmodell (Lacour, Bernard-Demanze, & Dumitrescu, 2008; Kapitel 3.2.2) postuliert, dass die motorische Kontrolle und verschiedene kognitiven Aufgaben (in erster Linie EF) miteinander um Aufmerksamkeitsressourcen konkurrieren. In Abhängigkeit des Schwierigkeitsgrades der Aufgaben, können die Interferenzen unterschiedlich groß ausfallen (Dault et al., 2001a; Dault et al., 2001b; Vuillerme & Vincent, 2006). Der TMT und TWT erhöht von Bedingung zu Bedingung die kognitiven Anforderungen und die Nachfrage nach domänenübergreifenden neuronalen Ressourcen (vgl. Klingberg, 2000). Gleichzeitig können, bei Personen mit motorischer und kognitiver Einschränkung, Defizite in den verschiedenen kognitiven Bereichen – einschließlich Arbeitsgedächtnis, inhibitorischer Kontrolle, kognitiver Flexibilität und Aufmerksamkeit – beobachtet werden (für DCD siehe Wilson et al., 2013; für DS siehe Grienco et al., 2015; für PD siehe Belghali et al., 2017 und für MCI siehe Janoutová et al., 2015). Probleme bei der Bearbeitung von Doppelaufgaben speziell bei motorisch und kognitiv eingeschränkten Personen (DCD, DS, PD und MCI) und unter hoher kognitiver Belastung (TMT/TWT-B) können dadurch schlüssig und plausibel begründet werden.

8.2.3 Diskussion zum Einfluss verschiedener motorischer Aufgaben aus neurophysiologischer Perspektive

Die Kontrolle von feinmotorischen Fertigkeiten (TMT) beinhaltet neuronale Schaltkreise, deren wesentliche Bestandteile das Striatum (ein Teil der Basalganglien) und das Frontalhirn sind (Striatofrontaler Schaltkreis). Bei der Bearbeitung des TMT werden Bereiche wie der linke dorsolaterale präfrontale Kortex, der Gyrus cinguli und der Gyrus frontalis medius beansprucht; Bereiche die in engem Zusammenhang zu den EF stehen (Zakzanis et al., 2005). Das Gehen als grobmotorische Fertigkeit (TWT) wird im Allgemeinen (wenn die Fertigkeit weitestgehend automatisiert abläuft)

durch spezialisierte Schaltkreise im zentralen Nervensystem (hauptsächlich Rückenmark, Hirnstamm und Kleinhirn) ermöglicht (Clark, 2015). Somit spielt das Kleinhirn bei der Entwicklung des Gleichgewichts, der Koordination der unteren Extremitäten während Fortbewegungsaufgaben (Morton & Bastian, 2003) sowie bei motorischen Lernprozessen (Šveljo, Čulić, Koprivšek, & Lučić, 2014) eine entscheidende Rolle. Bei komplexen nicht automatisierten Fortbewegungsaufgaben (wie beim TWT-M mit Richtungsänderungen) ist insbesondere der präfrontale Kortex und die damit assoziierten EF (Alvarez & Emory, 2006) von entscheidender Bedeutung (Yogev-Seligmann, Hausdorff, & Giladi, 2008).

In einer 2015 veröffentlichten Studie mit Kindern und Jugendlichen zwischen 9 und 14 Jahren konnte gezeigt werden, dass bessere Leistungen im TMT-B mit einer größeren anatomischen Kopplung der verschiedenen Bereiche des präfrontalen Kortex sowie mit einer erhöhten neuronalen Vernetzung von Regionen des frontalen, temporalen und parietalen Lappens assoziiert sind (Lee, Wallace, Raznahan, Clasen, & Giedd, 2015). Diese entwicklungsabhängige Veränderung der funktionalen Konnektivität erfolgt über eine Segregation lokaler Verbindungen und Integration dieser Bereiche in bisher disparate Subnetzwerke (Vogel et al., 2010). Rothbart und Posner (2015) verdeutlichen darüber hinaus, dass die Fähigkeit, mehrere Aufgaben parallel durchzuführen in erster Linie von einem exekutiven Aufmerksamkeitsnetzwerk (engl.: Executive Attention Network; Posner & Petersen, 1990; Posner & Rothbart, 2007) abhängt. Dieses Netzwerk umfasst den anterioren cingulären Kortex (ACC), die anteriore Insula, das Striatum sowie präfrontale Bereiche des Gehirns. Kinder mit umschriebener Entwicklungsstörung motorischer Funktionen (DCD) zeigen diesbezüglich verbreitete, schlecht integrierte, diffuse und wenig spezifische Aktivierungsmuster (Brown-Lum & Zwicker, 2015), die folglich zu den genannten motorischen und kognitiven Einschränkungen führen. Kinder mit kognitiver Einschränkung (DS) zeigen analog dazu eine verminderte funktionale Integrität des Kleinhirns (Cratty, 1994), eine reduzierte Anzahl an neuronalen Verbindungen in den Basalganglien sowie im motorischen Kortex (ebd.; siehe auch Pinter et al., 2001). Im Verhältnis zur Hirngröße haben Erwachsene mit DS ein verkleinertes Frontal-, Temporal- und Kleinhirn (Wisniewski, 1990), was die schlechten Leistungen bei Fortbewegungsaufgaben und bei

feinmotorischen Aufgaben zusätzlich erklären kann. Bei älteren Erwachsenen mit PD wird eine reduzierte Automatisierung von Bewegungen in einer Dopamin-vermittelten Dysfunktion der Basalganglien gesehen. Bei hoch automatisierten Bewegungen wird entsprechend davon ausgegangen, dass diese durch die Basalganglien gesteuert werden (Ashby et al., 2010). Allerdings werden die genannten Einschränkungen bei PD-Patienten nicht ausschließlich auf die Basalganglien und das Fehlen von Dopamin begrenzt (Kelly et al., 2012). Pathologien anderer Neurotransmittersysteme, wie Serotonin, Noradrenalin oder Acetylcholin (Kehagia et al., 2010; Barone, 2010; Leverenz, Quinn, Zabetian, Zhang, Montine, & Montine, 2009), die sowohl fein- als auch grobmotorische Fertigkeiten beeinflussen können, werden als mögliche Erklärungsmechanismen herangezogen. Bei älteren Erwachsenen mit kognitiver Einschränkung (MCI), werden die genannten Beeinträchtigungen – insbesondere der EF – aufgrund der altersbedingten funktionellen und strukturellen Veränderungen in der Integrität des Frontalhirns gesehen. Dies verdeutlicht zugleich die assoziative Rolle des Frontalhirns und der EF („Frontallappen Hypothese“). Das Frontalhirn ist allerdings nicht ausschließlich für seine Rolle bei den EF sowie den Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnisprozessen bekannt (Scherder et al., 2007), sondern insbesondere durch seine Verbindung mit dem Striatum (Pugh & Lipsitz, 2002) und dem Hippocampus (Bland & Oddie, 2001), entscheidend bei Fortbewegungsaufgaben (Gehen) beteiligt. Der Hippocampus steht in einer engen funktionellen Beziehung zum präfrontalen Kortex (Frontallappen) (Erickson & Barnes, 2003) und ist entscheidend bei der Orientierung des Körpers im Raum und bei der Integration visueller, vestibulärer und propriozeptiver sensorischer Informationen (Nutt et al., 1993; Scherder et al., 2007), die wiederum für die räumliche Orientierung und Navigation notwendig sind (Wolbers & Wiener, 2014). Die für eine leichte kognitive Beeinträchtigung charakteristische Degeneration des Hippocampus (Scheff et al., 2006) kann somit zu einer Desintegration dieser Informationen und damit zu Gangstörungen führen. Auch eine Schädigung des präfrontalen Kortex kann exekutive Dysfunktionen verursachen, die Gangstörungen zur Folge haben (Yogev-Seligmann et al., 2008). Daher könnte die positive Beziehung zwischen Gehen und der kognitiven Leistungsfähigkeit durch die

funktionelle Beziehung zwischen dem Hippocampus und dem präfrontalen Kortex erklärt werden (Scherder et al., 2007).

8.2.3.1 Weitere Erklärungsmodelle neurofunktioneller Funktionsstörungen

Die Automatisierungsdefizithypothese (oder Cerebelläre Defizit-Hypothese; Fawcett & Nicholson, 1992) kann bei Kindern mit DCD und DS sowie älteren Erwachsenen mit motorischer (PD) und kognitiver Einschränkung (MCI) herangezogen werden. Nach diesem Ansatz führt eine eingeschränkte Fähigkeit zur Nutzung interner Modelle („Internal Modeling Deficit (IMD)“-Hypothese) – welche die Input-Output-Eigenschaften des motorischen Systems vorhersagen – zu reduzierten motorischen Leistungen (vgl. Adams et al., 2014 bei DCD). Nach Ansicht von Wolpert und Kawato (1998) und Wolpert et al. (1998) sind inverse Modelle und nach Timmann et al. (2000) Vorwärtsmodelle im Cerebellum lokalisiert (vgl. Richter, 2001). Aus diesem Grund sind Schwierigkeiten unter Doppelaufgaben bei Stichproben mit cerebellärer (Kleinhirn) Dysfunktion – die eine allgemeine Beeinträchtigung in der Automatisierung von motorischen Fertigkeiten auslöst – zu erwarten. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass die Durchführung der geplanten Bewegung nicht präzise funktioniert und Feedbackinformationen nicht in die prädiktiven motorischen Befehle integriert werden können.

Navigationsstrategien (Lavenex et al., 2015) können ebenfalls als Erklärungsansatz herangezogen werden. Insbesondere Verschlechterungen der Fortbewegungsaufgabe und der kognitiven Funktionen können durch Beeinträchtigungen im fronto-hippocampalen Schaltkreis, die an der räumlichen Orientierung und Navigation beteiligt sind (Montero-Odasso et al., 2012) erklärt werden. Im TWT ist eine Objektidentifikation in einem extrapersonalen Raum, und eine Bewegung hin zu einem Objekt (allozentrischer Referenzsystem) gefordert, weshalb der TWT dazu beitragen kann, egozentrische Navigationsstrategien, aber auch allozentrische Strategien und Gedächtnisprozesse zu bewerten. Demgegenüber beanspruchen Aufgaben wie der TMT (mit konstantem externen Bezugsrahmen) wahrscheinlich in erster Linie egozentrische Prozesse der Navigation (Lavenex et al., 2015). Diesbezüglich konnten Nemmi et al.

(2013) zeigen dass in Abhängigkeit des Settings (groß- vs. kleinformig) dieselben Experimente neuronal unterschiedlich verarbeitet werden.

Schott (2019) diskutiert in ihrem Überblicksbeitrag die Rolle des Spiegelneuronensystems (Rizzolatti & Craighero, 2004) als ein vielversprechender Ansatz, zur Erklärung der motorisch-kognitiven Zusammenhänge bei Kindern mit DCD. Diesem Ansatz zufolge spielen die Spiegelneuronen eine zentrale Rolle bei der interhemisphärischen Kommunikation (Shillcock, Thomas, & Bailes, 2019) verschiedener Bewegungen. Ein Ressourcenkonflikt besteht demnach auf Ebene des Spiegelneuronensystems und Problemen bei der interhemisphärischen Integration und Interpretation visueller Informationen (siehe Schott, 2019, S. 95 für ein konkretes Beispiel um Interferenzeffekte unter Doppelaufgabenbedingung zu erklären).

Das Konzept der kognitiven Reserve (Stern, 2002) beschreibt die Resistenz der kognitiven Leistungsfähigkeit gegenüber funktionellen und strukturellen Schädigungen des Gehirns (siehe Anreicherung neuronaler Ressourcen Kapitel 2.2.1 und Abbau neuronaler Ressourcen Kapitel 2.2.2). Die kognitive Reserve vermittelt somit zwischen dem Schweregrad pathologischer Veränderungen auf neuronaler Ebene und dem klinischen Ergebnis auf behavioraler Ebene (bspw. bei pMCI, Solé-Padullés et al., 2009 oder PD, Sánchez, 2002). Für denselben Grad der Gehirnpathologie gibt es demnach, in Abhängigkeit der kognitiven Reserve, mehr oder weniger klinisch sichtbare Symptome der motorischen und kognitiven Leistungsfähigkeit (Diagnostische Schwelle). So werden trotz pathologischer Hirnentwicklungen, insbesondere bei Personen mit hoher kognitiver Reserve noch gute Leistungen erbracht (Hohe Reserve). Die teilweise hohe Variabilität in den Leistungen unter Doppelaufgaben und DAK bei gesunden älteren Erwachsenen und älteren Erwachsenen mit motorischer und kognitiver Einschränkung können dadurch erklärt werden.

Zur Beantwortung der Frage, wieso es zu Problemen bei der simultanen Bearbeitung zweier Aufgaben kommt, wurden grundlegende Erklärungsmechanismen vorgeschlagen (Kapitel 3.2), mit denen ein Großteil der Ergebnisse (auch der hier vorliegenden Untersuchungen) erklärt werden kann. Das allgemeine SMART COMPASS-Modell (Schott & Klotzbier, 2018; Kapitel 2) verdeutlicht diesbezüglich, wie verschie-

dene strukturelle Veränderungen des Gehirns mit den kognitiven Funktionen zusammenhängen und beschreibt wie motorische Leistungen durch kognitive Funktionen erklärt werden können. Ferner erlauben spezifischere theoretische Ansätze aus neurophysiologischer Perspektive die Ergebnisse der entsprechenden Stichproben gesondert zu interpretieren, weshalb versucht wird zu beschreiben auf welche neuronalen Strukturen fein- und grobmotorische Fertigkeiten zurückgreifen. Es wird der Frage nachgegangen welche entwicklungsbedingten Prinzipien der funktionalen neuronalen Vernetzung als Erklärungsmechanismen für die berichteten Ergebnisse herangezogen werden können. Darüber hinaus wurden weitere Modelle neurofunktioneller Funktionsstörungen berücksichtigt, die einen differenzierteren Einblick in die neuromotorischen Zusammenhänge erlauben.

Es wird auch zukünftig viel Forschungsarbeit bedürfen, bis man motorische Verhaltensänderungen den jeweiligen strukturellen und physiologisch-funktionellen Veränderungen sowie den kognitiven Veränderungen im Gehirn exakt zuordnen können. Es wird sich zeigen, ob das SMART COMPASS-Modell Wahrscheinlichkeitsaussagen zukünftiger Entwicklungserfolge bei Kindern, Jugendlichen und älteren Erwachsenen mit und ohne motorische und kognitive Einschränkung erlaubt.

8.3 Anwendungsorientierte Ergebnisdiskussion

8.3.1 Diskussion um den Mehrwert von Doppelaufgaben

Zwischen der kognitiven Leistungsfähigkeit und der Gehfähigkeit einer Person gibt es einen starken Zusammenhang (siehe Kapitel 3.5). Insbesondere ältere Erwachsene mit Gangstörungen haben ein erhöhtes Risiko kognitive Defizite zu entwickeln (Montero-Odasso et al., 2016; Verghese, Wang, Lipton, & Holtzer, 2012). Entsprechend sind kognitive Defizite mit einer reduzierten motorischen Leistungsfähigkeit assoziiert (siehe Abbildung 20 zur Koexistenz von motorischer und kognitiver Leistungsfähigkeit insbesondere bei PD und MCI). Motorische Einschränkungen, speziell die Geschwindigkeit beim Gehen, können häufig um mehr als ein Jahrzehnt vor einer neurodegenerativen Erkrankung (bspw. Demenz oder PD) beobachtet werden (Matzler & Hausdorff, 2012; Buracchio, Dodge, Howieson, Wasserman, & Kaye, 2010;

Callisaya et al., 2015; Mielke et al., 2012; Dumurgier et al., 2016). Mit Hilfe von Doppelaufgabenparadigmen können Gangdefizite entdeckt werden, die sonst beim normalen Gehen ohne Zusatzaufgabe verborgen blieben (siehe Diskussion um den Mehrwert von Doppelaufgaben bezüglich der Sturzrisikobewertung und im Hinblick auf mögliche Marker für eine Demenz in Kapitel 3.4.3).

Basierend auf den Ergebnissen aus Studie 4 (MCI) und in Bezug auf die Sensitivität und Spezifität des Verfahrens kann der Einsatz des TWT mit erhöhter kognitiver Belastung (TWT-B) als Marker eines prodromalen Stadiums der Demenz empfohlen werden. Es ist eine ökologisch valide Doppelaufgabe mit ausgezeichneter relativer und absoluter Reliabilität mit hoher Sensitivität und gut-exzellenter diagnostischer Stärke zur Unterscheidung zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI (MacAulay et al., 2017). Gleichzeitig kann erwartungsgemäß mit der rein motorischen Bedingung des TWT (TWT-M) in Studie 3 (PD), basierend auf den Ergebnissen und in Bezug auf die Sensitivität und Spezifität des Verfahrens eine Differenzierung in die PD-Motorsubtypen vorgenommen werden. PD - Patienten mit posturaler Instabilität haben in allen Bedingungen des TWTs erwartungsgemäß die größten Probleme (erhöhte Zeiten), weshalb das Doppelaufgabenparadigma (mit zusätzlicher motorischer und kognitiver Aufgabe) für die Diagnostik und Quantifizierung von Gangstörungen und für das Staging, die Therapieoptimierung und die Prognose der Parkinsonerkrankung nützlich sein kann. Vermutlich sind andere Maße (nicht ausschließlich die an der Länge des TWT normierten Zeiten) nötig, um deutlichere Unterschiede zwischen beiden PD-Motorsubtypen zu zeigen. Gangparameter und deren Veränderungen unter Doppelaufgaben könnten eine differenziertere Aussage der motorischen Unterschiede zwischen diesen Phänotypen ermöglichen (Maetzler & Hausdorff, 2012; Belghali et al., 2017) und die Prognose der Progression verbessern.

In den meisten wissenschaftlichen Untersuchungen wird derzeit auf rund acht Gangparameter sowie deren Variabilität fokussiert (Geschwindigkeit, Kadenz, Spurbreite, Doppelstandphase, Schrittlänge, Gangzykluslänge, Schrittdauer und Gangzyklusdauer; siehe Gschwind & Bridenbaugh, 2011). Diese Gangparameter sind mit Mobi-

litätseinschränkungen, Stürzen sowie gesundheitlichen Folgen assoziiert und können als Frühindikatoren einer Demenz oder Parkinsonerkrankung genutzt werden. Vor diesem Hintergrund ist es naheliegend in zukünftigen Studien die motorische Leistung bei Fortbewegungsaufgaben durch geeignete Gangparameter und andere kinematische Gangdaten differenzierter zu bewerten. Die Früherkennung einer Demenz oder PD in einem prodromalen Stadium ermöglicht die rechtzeitige Umsetzung gezielter Interventionen zur Verbesserung der Gehfähigkeit und/oder zur Aufrechterhaltung der kognitiven Leistungsfähigkeit. Eine objektive Beurteilung der funktionalen Mobilität, des Sturzrisikos und der kognitiven Leistungsfähigkeit sollte ein wesentlicher Bestandteil jeder umfassenden geriatrischen Beurteilung sein. Ziel einer solchen Begutachtung muss sein, eine mögliche Erkrankung in einer frühen Phase zu erkennen, um möglichst frühzeitig intervenieren zu können. Mit dem TWT werden diesbezüglich unterschiedliche Aspekte des Gehens erfasst, wobei neben reaktiven und supportiven Aspekten der Gleichgewichtskontrolle auch antizipatorische, willkürliche und kognitive Aspekte der Fortbewegung berücksichtigt werden. Das Verfahren kann hierbei als gut durchführbares, reliables und valides Instrument zur Früherkennung in der Unterscheidung zwischen gestürzten und nichtgestürzten Personen (Schott, 2015), zwischen älteren Erwachsenen mit und ohne pMCI (Studie 4) und zwischen PD - Patienten mit posturaler Instabilität und gesunden älteren Erwachsenen (Studie 3) zur Anwendung kommen.

9 Zusammenfassung und Folgerungen für die Forschung und Praxis

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Doppelaufgabenparadigma grundlagenorientiert zur Erklärung der verschiedenen Muster motorisch-kognitiver Interferenzen (Automatisierungsdefizithypothese bei DCD, Fawcett & Nicolson, 1992, bzw. Entwicklungsverzögerungshypothese bei DS, Zigler, 1969) und anwendungsorientiert zur Lösung von praktischen Problemen (TWT als Tool zur Früherkennung von MCI oder zur Quantifizierung von Gangstörungen bei PD) eingesetzt.

Die Zusammenfassung und Folgerungen für die Forschung und Praxis werden stichpunktartig zusammengefasst und werden aus dem Forschungsstand zur Doppelaufgabenperformanz bei Kindern und älteren Erwachsenen (Kapitel 3.3 & 3.4), aus den in Kapitel 5.1 beschriebenen methodischen Herausforderungen und aus den Ergebnissen der Einzelstudien (Kapitel 6) abgeleitet. Zunächst sollen die Kernaussagen zum aktuellen Forschungsstand und die zentralen Ergebnissen der Arbeit wiedergegeben werden. Daraus werden sowohl für die Forschung als auch für die Praxis Handlungsempfehlungen abgeleitet.

- Verschiedene Wissenschaftsdisziplinen nehmen sich dem Thema der simultanen Aufgabenbearbeitung aus ihren jeweiligen Blickwinkeln an und haben das Thema bisher zu großen Teilen eigenständig und unabhängig voneinander bearbeitet. Eine disziplinäre als auch interdisziplinäre Theoriebildung ist zu fordern. Ein gekonnter Import oder die Modifizierung von Theorien aus den Mutterdisziplinen sowie eine Verknüpfung bzw. Integration von theoretischen Ansätzen aus unterschiedlichen Disziplinen erscheint notwendig.
- Auf der Suche nach einer allgemeinen Erklärung von motorisch-kognitiven Zusammenhängen und deren Entwicklung über die Lebensspanne, wurde ein integratives Rahmenmodell (SMART COMPASS; Schott & Klotzbier, 2018) vorgestellt. Die Komponenten und die Merkmale des vorgeschlagenen Modells stammen aus drei verschiedenen Forschungsrichtungen. Das SMART COM-

- PASS-Modell kann zukünftig holistisch überprüft werden, um motorische Verhaltensänderungen den jeweiligen strukturellen und physiologisch-funktionellen Veränderungen sowie den kognitiven Veränderungen im Gehirn exakt zuzuordnen zu können.
- In der Vergangenheit wurden diverse Modellvorstellungen, Konzepte und Theorien bezüglich der Informationsverarbeitung entwickelt, um die verschiedenen Muster der motorisch-kognitiven Interferenzen zu erklären. Meist werden diese Erklärungsansätze herangezogen, um die verschiedenen Muster motorisch-kognitiver Interferenzen zu erklären. Es ist zu fordern die theoretischen Modelle auf den Grad ihrer Bewährung hin zu überprüfen, mögliche Einflussfaktoren zu identifizieren und wenn nötig, diese zu modifizieren oder zu verwerfen.
 - Studien zu motorisch-kognitiven Interferenzen bei Kindern mit verschiedenen Fortbewegungsaufgaben sind selten und erst jüngst in den Fokus der Wissenschaft gerückt (siehe Kapitel 3.3.1)
 - Geschlechtsunterschiede während des Gehens unter Doppelaufgabenbedingung haben in der Vergangenheit nur wenig Beachtung gefunden, weil in den meisten Untersuchungen keine nennenswerten Geschlechtseffekte beobachtet werden konnten. Um kontextabhängig geschlechtsspezifische Handlungsempfehlungen geben zu können erscheint es allerdings notwendig zu prüfen, unter welchen Voraussetzungen und Bedingungen mögliche Geschlechtsunterschiede in Doppelaufgabenparadigmen sichtbar gemacht werden können.
 - Einige Befunde zeigen überlappende neuronale Netzwerke für die posturale Kontrolle und visuell-räumliche Aufgaben (Barra et al., 2006; Sturnieks et al., 2008). Visuell anspruchsvolle Aufgaben bzw. mentale Trackingaufgaben sind entsprechend besonders sensitiv für die Produktion von DAK (Al-Yahya et al., 2011; Beurskens & Bock, 2012b; Menant et al., 2013).
 - Die meisten Studien nutzen als motorische Fortbewegungsaufgabe das relativ einfache Geradeausgehen. Im Vergleich zum Geradeausgehen werden beim Kurvengehen unterschiedliche kognitive Funktionen angesprochen (Lowry et

- al., 2012; Mazaheri et al., 2014; Schott, 2015). In Abhängigkeit der Fragestellung müssen die Fortbewegungsaufgaben adäquat gewählt werden und ggfs. mit dem neuropathologischen Profil der Studienpopulation übereinstimmen (Belghali et al., 2017).
- Eine Taxonomie als Handreichung ist erforderlich, nachdem die bestehenden evidenzbasierten Untersuchungen zu Interferenzen bei Doppelaufgaben in einem übergeordneten Rahmen diskutiert werden können (vgl. McIsaac et al., 2015). Analog zu einem Klassifikationssystem der kognitiven Aufgaben (Al-Yahya et al., 2011) ist eine Klassifizierung motorischer Aufgaben erforderlich.
 - Für eine Beurteilung der kognitiven und motorischen Leistung unter Doppelaufgaben müssen geeignete Maße gefunden werden. Die Vorhersage funktioneller Veränderungen, die der Leistung zugrundeliegen, wird dadurch detaillierter und spezifischer.
 - Die motorische Leistung bei Fortbewegungsaufgaben kann durch geeignete Gangparameter und andere kinematische Gangdaten differenzierter bewertet werden (Montero-Odasso et al., 2009b; Ponti, Bet, Oliveira, & Castro, 2017).
 - Bei der Bewertung der kognitiven Leistung dürfen Fehlermaße nicht unberücksichtigt bleiben und verschiedene Entscheidungsprozesse innerhalb einer kognitiven Aufgabe müssen differenzierter betrachtet werden.
 - Insbesondere unter anwendungsorientierter Fragestellung ist ein Kompromiss zwischen ökologischer Validität und Standardisierung erforderlich. Beim TWT handelt es sich um eine ökologisch valide Fortbewegungsaufgabe mit standardisierter kognitiver Zusatzaufgabe (Schott, 2015; Klotzbier & Schott, 2017).
 - Im Hinblick auf ein mögliches Screening neurodegenerativer Erkrankungen wie MCI oder PD liefert der TWT in Abhängigkeit der Bedingung und des neuropsychologischen Profils der Personen einen Mehrwert.
 - Die Leistung im TWT-B mit hoher kognitiver Belastung stellt ein sensitiveres Verfahren zur Detektion von pMCI und die Leistung im TWT-M mit rein motorischer Aufgabe ein ausreichend sensitives Maß zur Differenzierung der Motorsubtypen von PD dar.

- Für eine Bewertung der Güte von Messinstrumenten bzw. Verfahren mit dem Doppelaufgabenparadigma müssen die psychometrischen Eigenschaften (Kline, 2014) als Kriterien zum Nachweis der Effektivität und des Nutzens angegeben werden (siehe Schott, 2015 für den TWT).
- Schließlich sind Untersuchungen neuronaler Korrelate (EEG, fNIRS) notwendig, um den Zusammenhang zwischen Kognition und Motorik und die genauen Mechanismen unter Doppelaufgabenbedingung zu untersuchen (siehe Leone, Feys, Moumdjian, D'Amico, Zappia, & Patti, 2017 für einen systematischen Überblick der neuronalen Korrelate motorisch-kognitiver Interferenzen).

Literaturverzeichnis

- Aarsland, D., & Kurz, M. W. (2010). The epidemiology of dementia associated with Parkinson disease. *Journal of the Neurological Sciences*, *289*(1-2), 18-22.
- Aarsland, D., Andersen, K., Larsen, J. P., & Lolk, A. (2003). Prevalence and characteristics of dementia in Parkinson disease: an 8-year prospective study. *Archives of Neurology*, *60*(3), 387-392.
- Aarsland, D., Bronnick, K., Williams-Gray, C., Weintraub, D., Marder, K., Kulisevsky, J., ... & Santangelo, G. (2010). Mild cognitive impairment in Parkinson disease: a multicenter pooled analysis. *Neurology*, *75*(12), 1062-1069.
- Abbruzzese, L. D., Rao, A. K., Bellows, R., Figueroa, K., Levy, J., Lim, E., & Puccio, L. (2014). Effects of manual task complexity on gait parameters in school-aged children and adults. *Gait & Posture*, *40*(4), 658-663. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.07.017
- Abernethy, B. (1988). Dual-task methodology and motor skills research: some applications and methodological constraints. *Journal of Human Movement Studies*, *14*(3), 101-132.
- Abernethy, B. (2001). Attention. In Singer, R. N., Hausenblas, H. A., & Janelle, C. M. (Eds.), *Handbook of Sport Psychology*, (2nd ed., pp. 53-85). John Wiley & Sons Inc.
- Abernethy, B., Maxwell, J. P., Masters, R. S., Van Der Kamp, J., & Jackson, R. C. (2007). Attentional processes in skill learning and expert performance. *Handbook of Sport Psychology*, *3*, 245-263.
- Acheson, A., Conover, J. C., Fandl, J. P., DeChiara, T. M., Russell, M., Thadani, A., ... & Lindsay, R. M. (1995). A BDNF autocrine loop in adult sensory neurons prevents cell death. *Nature*, *374*(6521), 450-453.
- Adam, J. J., Teeken, J. C., Ypelaar, P. J., Verstappen, F. T., & Paas, F. G. (1997). Exercise-induced arousal and information processing. *International Journal of Sport Psychology*, *28*(3), 217-226.
- Adams, I. L., Lust, J. M., Wilson, P. H., & Steenbergen, B. (2014). Compromised motor control in children with DCD: a deficit in the internal model? - A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *47*, 225-244.
- Adolph, K. E., Cole, W. G., Komati, M., Garciguirre, J. S., Badaly, D., Lingeman, J. M., ... & Sotsky, R. B. (2012). How do you learn to walk? Thousands of steps and dozens of falls per day. *Psychological Science*, *23*(11), 1387-1394.
- Aggarwal, N. T., Wilson, R. S., Beck, T. L., Bienias, J. L., & Bennett, D. A. (2006). Motor dysfunction in mild cognitive impairment and the risk of incident Alzheimer disease. *Archives of Neurology*, *63*(12), 1763-1769.
- Agiovlasitis, S., McCubbin, J. A., Yun, J., Mpitsos, G., & Pavol, M. J. (2009). Effects of Down syndrome on three-dimensional motion during walking at different speeds. *Gait & Posture*, *30*(3), 345-350. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.06.003
- Agrigoroaei, S., & Lachman, M. E. (2011). Cognitive functioning in midlife and old age: combined effects of psychosocial and behavioral factors. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *66*(suppl_1), i130-i140.
- Åkerström, M. S., & Sanner, G. (1993). Movement patterns in children with Down's syndrome: A pilot study. *Physiotherapy Theory and Practice*, *9*(1), 33-41.
- Albert, M. S., DeKosky, S. T., Dickson, D., Dubois, B., Feldman, H. H., Fox, N. C., ... & Snyder, P. J. (2011). The diagnosis of mild cognitive impairment due to Alzheimer's disease: Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, *7*(3), 270-279.

- Albert, M. S., Jones, K., Savage, C. R., Berkman, L., Seeman, T., Blazer, D., & Rowe, J. W. (1995). Predictors of cognitive change in older persons: MacArthur studies of successful aging. *Psychology and Aging, 10*(4), 578.
- Alexander, N. B., Ashton-Miller, J. A., Giordani, B., Guire, K., & Schultz, A. B. (2005). Age differences in timed accurate stepping with increasing cognitive and visual demand: a walking trail making test. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 60*(12), 1558-1562.
- Alladi, S., Bak, T. H., Duggirala, V., Surampudi, B., Shailaja, M., Shukla, A. K., ... & Kaul, S. (2013). Bilingualism delays age at onset of dementia, independent of education and immigration status. *Neurology, 81*(22), 1938-1944.
- Allali, G., Ayers, E. I., & Verghese, J. (2015). Motoric cognitive risk syndrome subtypes and cognitive profiles. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences, 71*(3), 378-384.
- Allali, G., Ayers, E. I., & Verghese, J. (2015). Motoric cognitive risk syndrome subtypes and cognitive profiles. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences, 71*(3), 378-384.
- Allali, G., Kressig, R. W., Assal, F., Herrmann, F. R., Dubost, V., & Beauchet, O. (2007). Changes in gait while backward counting in demented older adults with frontal lobe dysfunction. *Gait & Posture, 26*(4), 572-576. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.12.011
- Allan, L. M., Ballard, C. G., Burn, D. J., & Kenny, R. A. (2005). Prevalence and severity of gait disorders in Alzheimer's and non-Alzheimer's dementias. *Journal of the American Geriatrics Society, 53*(10), 1681-1687.
- Allard, F. (1989). The effects of exercise on visual attention performance. *Human Performance, 2*, 131-145.
- Alloway, T. P. (2011). A comparison of working memory profiles in children with ADHD and DCD. *Child Neuropsychology, 17*(5), 483-494.
- Alloway, T. P., Rajendran, G., & Archibald, L. M. (2009). Working memory in children with developmental disorders. *Journal of Learning Disabilities, 42*(4), 372-382.
- Allport, A. (1989): Visual attention. In: Michael I. Posner (Hg.): Foundations of cognitive science: MIT Press, S. 631-682.
- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review. *Neuropsychology Review, 16*(1), 17-42.
- Al-Yahya, E., Dawes, H., Smith, L., Dennis, A., Howells, K., & Cockburn, J. (2011). Cognitive motor interference while walking: a systematic review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 35*(3), 715-728.
- Amboni, M., Barone, P., & Hausdorff, J. M. (2013). Cognitive contributions to gait and falls: evidence and implications. *Movement Disorders, 28*(11), 1520-1533.
- Amboni, M., Barone, P., Iuppariello, L., Lista, I., Tranfaglia, R., Fasano, A., ... & Iavarone, A. (2012). Gait patterns in Parkinsonian patients with or without mild cognitive impairment. *Movement Disorders, 27*(12), 1536-1543.
- American College of Sports Medicine (Ed.). (2013). *ACSM's health-related physical fitness assessment manual*. Lippincott Williams & Wilkins.
- American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders. *BMC Med, 17*, 133-137.
- Amieva, H., Mokri, H., Le Goff, M., Meillon, C., Jacqmin-Gadda, H., Foubert-Samier, A., ... & Dartigues, J. F. (2014). Compensatory mechanisms in higher-educated subjects with Alzheimer's disease: a study of 20 years of cognitive decline. *Brain, 137*(4), 1167-1175.

- Amieva, H., Stoykova, R., Matharan, F., Helmer, C., Antonucci, T. C., & Dartigues, J. F. (2010). What aspects of social network are protective for dementia? Not the quantity but the quality of social interactions is protective up to 15 years later. *Psychosomatic Medicine*, 72(9), 905-911.
- Anderson, J. R., Funke, J., & Neuser-von Oettingen, K. (2013). *Kognitive Psychologie* (Lehrbuch, 7., erw. und überarb., neu (gestaltete Aufl.).
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, 8(2), 71-82.
- Anderson, V. A., Anderson, P., Northam, E., Jacobs, R., & Catroppa, C. (2001). Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Developmental Neuropsychology*, 20(1), 385-406.
- Andersson, A. G., Kamwendo, K., Seiger, A., & Appelros, P. (2006). How to identify potential fallers in a stroke unit: validity indexes of 4 test methods. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 38(3), 186-191.
- Andersson, G., Hagman, J., Talianzadeh, R., Svedberg, A., & Larsen, H. C. (2002). Effect of cognitive load on postural control. *Brain Research Bulletin*, 58(1), 135-139.
- Andersson, G., Hagman, J., Talianzadeh, R., Svedberg, A., & Larsen, H. C. (2003). Dual-task study of cognitive and postural interference in patients with vestibular disorders. *Otology & Neurotology*, 24(2), 289-293.
- Andersson, G., Yardley, L., & Luxon, L. (1998). A dual-task study of interference between mental activity and control of balance. *The American Journal of Otology*, 19(5), 632-637.
- Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H. J., Aleman, A., & Vanhees, L. (2008). Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3(3), 1-73.
- Anglemyer, A., Horvath, H. T., & Bero, L. (2014). Healthcare outcomes assessed with observational study designs compared with those assessed in randomized trials. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (4), Mr000034.
- Anson, J. G., & Mawston, G. A. (2000). Patterns of muscle activation in simple reaction-time tasks. *Perceptual-motor Behavior in Down syndrome*, 3-24.
- Anstey, K. J. (2008). Alcohol exposure and cognitive development: An example of why we need a contextualized, dynamic life course approach to cognitive ageing-A mini-review. *Gerontology*, 54(5), 283-291.
- Arbuthnott, K., & Frank, J. (2000). Executive Control in Set Switching: Residual Switch Cost and Task-set Inhibition. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 54(1), 33-41.
- Arbuthnott, K., & Frank, J. (2000). Trail making test, part B as a measure of executive control: validation using a set-switching paradigm. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 22(4), 518-528.
- Army, U. S. (1944): Army individual test battery. In: Manual of Directions and Scoring.
- Arnsten, A. F., & Li, B. M. (2005). Neurobiology of executive functions: catecholamine influences on prefrontal cortical functions. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1377-1384.
- Aruin, A. S., & Almeida, G. L. (1997). A coactivation strategy in anticipatory postural adjustments in persons with Down syndrome. *Motor Control*, 1(2), 178-191.
- Ashburn, A., Stack, E., Pickering, R. M., & Ward, C. D. (2001). A community-dwelling sample of people with Parkinson's disease: characteristics of fallers and non-fallers. *Age and Ageing*, 30(1), 47-52.
- Ashby, F. G., Turner, B. O., & Horvitz, J. C. (2010). Cortical and basal ganglia contributions to habit learning and automaticity. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(5), 208-215.

- Asonitou, K., Koutsouki, D., Kourtessis, T., & Charitou, S. (2012). Motor and cognitive performance differences between children with and without developmental coordination disorder (DCD). *Research in Developmental Disabilities, 33*(4), 996-1005.
- Assaiante, C.; Amblard, B.; Carblanc, A. (1988): *Peripheral vision and dynamic equilibrium control in five to twelve year old children*. In: Posture and gait: Development, adaptation and modulation: Elsevier Science Amsterdam, S. 75–83.
- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine, 26*(4), 217-238.
- Atkinson, H. H., Rosano, C., Simonsick, E. M., Williamson, J. D., Davis, C., Ambrosius, W. T., ... & Rubin, S. M. (2007). Cognitive function, gait speed decline, and comorbidities: the health, aging and body composition study. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 62*(8), 844-850.
- Ayres, A. J. (2013). *Bausteine der kindlichen Entwicklung: die Bedeutung der Integration der Sinne für die Entwicklung des Kindes*. Springer-Verlag.
- Ayres, A. J., & Robbins, J. (2005). *Sensory integration and the child: Understanding hidden sensory challenges*. Western Psychological Services.
- Backman, L., & Nyberg, L. (2013). Dopamine and training-related working-memory improvement. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 37*(9), 2209-2219.
- Bäckman, L., Ginovart, N., Dixon, R. A., Wahlin, T. B. R., Wahlin, Å., Halldin, C., & Farde, L. (2000). Age-related cognitive deficits mediated by changes in the striatal dopamine system. *American Journal of Psychiatry, 157*(4), 635-637.
- Bäckman, L., Lindenberger, U., Li, S. C., & Nyberg, L. (2010). Linking cognitive aging to alterations in dopamine neurotransmitter functioning: recent data and future avenues. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 34*(5), 670-677.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science, 255*(5044), 556-559.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, pp. 47-89). Academic press, NY.
- Baethge, A., & Rigotti, T. (2010). *Arbeitsunterbrechungen und Multitasking. Ein umfassender Überblick zu Theorien und Empirie unter besonderer Berücksichtigung von Altersdifferenzen*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Bahureksa, L., Najafi, B., Saleh, A., Sabbagh, M., Coon, D., Mohler, M. J., & Schwenk, M. (2017). The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: a systematic review and meta-analysis of studies using instrumented assessment. *Gerontology, 63*(1), 67-83.
- Balasubramaniam, R., Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2000). Specificity of postural sway to the demands of a precision task. *Gait & Posture, 11*(1), 12-24.
- Baltes, P. B., & Baltes, M. M. (1989). Optimierung durch Selektion und Kompensation. Ein psychologisches Modell erfolgreichen Alterns. *Zeitschrift für Pädagogik, 35*(1), 85-105.
- Baltes, P. B., & Baltes, M. M. (1990). Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. *Successful Aging: Perspectives from the Behavioral Sciences, 1*(1), 1-34.
- Baltes, P. B., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: a new window to the study of cognitive aging?. *Psychology and Aging, 12*(1), 12-21.
- Baltes, P. B., Lindenberger, U., & Staudinger, U. M. (1998). Die zwei Gesichter der Intelligenz im Alter. *Spektrum der Wissenschaft: Digest "Altern, Krebs und Gene", 2*, 78-87.
- Barber, P. J. (1989). Executing two tasks at once. *Acquisition and Performance of Cognitive Skills, 217-241*.

- Barnes, D. E., & Yaffe, K. (2011). The projected effect of risk factor reduction on Alzheimer's disease prevalence. *The Lancet Neurology*, *10*(9), 819-828.
- Barone, P. (2010). Neurotransmission in Parkinson's disease: beyond dopamine. *European Journal of Neurology*, *17*(3), 364-376.
- Barra, J., Bray, A., Sahni, V., Golding, J. F., & Gresty, M. A. (2006). Increasing cognitive load with increasing balance challenge: recipe for catastrophe. *Experimental Brain Research*, *174*(4), 734-745.
- Bayot, M., Dujardin, K., Tard, C., Defebvre, L., Bonnet, C. T., Allart, E., & Delval, A. (2018). The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. *Neurophysiologie Clinique*, *48*(6), 361-375.
- Beauchet, O., Allali, G., Annweiler, C., Berrut, G., Maarouf, N., Herrmann, F. R., & Dubost, V. (2008). Does change in gait while counting backward predict the occurrence of a first fall in older adults?. *Gerontology*, *54*(4), 217-223.
- Beauchet, O., Allali, G., Launay, C., Herrmann, F. R., & Annweiler, C. (2013). Gait variability at fast-pace walking speed: a biomarker of mild cognitive impairment? *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, *17*(3), 235-239.
- Beauchet, O., Allali, G., Montero-Odasso, M., Sejdić, E., Fantino, B., & Annweiler, C. (2014). Motor phenotype of decline in cognitive performance among community-dwellers without dementia: population-based study and meta-analysis. *PloS ONE*, *9*(6), e99318
- Beauchet, O., Annweiler, C., Allali, G., Berrut, G., Herrmann, F. R., & Dubost, V. (2008). Recurrent falls and dual task-related decrease in walking speed: Is there a relationship?. *Journal of the American Geriatrics Society*, *56*(7), 1265-1269.
- Beauchet, O., Annweiler, C., Dubost, V., Allali, G., Kressig, R. W., Bridenbaugh, S., ... & Herrmann, F. R. (2009). Stops walking when talking: a predictor of falls in older adults?. *European journal of Neurology*, *16*(7), 786-795.
- Beauchet, O., Dubost, V., Allali, G., Gonthier, R., Hermann, F. R., & Kressig, R. W. (2007). 'Faster counting while walking' as a predictor of falls in older adults. *Age and Ageing*, *36*(4), 418-423.
- Beauchet, O., Dubost, V., Aminian, K., Gonthier, R., & Kressig, R. W. (2005). Dual-task-related gait changes in the elderly: does the type of cognitive task matter?. *Journal of Motor Behavior*, *37*(4), 259.
- Beilock, S. L., Carr, T. H., MacMahon, C., & Starkes, J. L. (2002). When paying attention becomes counterproductive: impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *8*(1), 6.
- Beilock, S. L., Wierenga, S. A., & Carr, T. H. (2002). Expertise, attention, and memory in sensorimotor skill execution: Impact of novel task constraints on dual-task performance and episodic memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *55*(4), 1211-1240.
- Belghali, M., Chastan, N., Cignetti, F., Davenne, D., & Decker, L. M. (2017). Loss of gait control assessed by cognitive-motor dual-tasks: pros and cons in detecting people at risk of developing Alzheimer's and Parkinson's diseases. *GeroScience*, *39*(3), 305-329.
- Belghali, M., Chastan, N., Davenne, D., & Decker, L. M. (2017). Improving Dual-Task Walking Paradigms to Detect Prodromal Parkinson's and Alzheimer's Diseases. *Frontiers in Neurology*, *8*, 207. doi: 10.3389/fneur.2017.00207
- Belleville, S., Clement, F., Mellah, S., Gilbert, B., Fontaine, F., & Gauthier, S. (2011). Training-related brain plasticity in subjects at risk of developing Alzheimer's disease. *Brain*, *134*(6), 1623-1634.

- Bell-McGinty, S., Podell, K., Franzen, M., Baird, A. D., & Williams, M. J. (2002). Standard measures of executive function in predicting instrumental activities of daily living in older adults. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 17*(9), 828-834.
- Bellugi, U., Bihrlé, A., Jernigan, T., Trauner, D., & Doherty, S. (1990). Neuropsychological, neurological, and neuroanatomical profile of Williams syndrome. *American journal of medical genetics, 37*(S6), 115-125.
- Belmonti, V., Cioni, G., & Berthoz, A. (2013). Development of anticipatory orienting strategies and trajectory formation in goal-oriented locomotion. *Experimental Brain Research, 227*(1), 131-147.
- Bender, A. R., & Raz, N. (2012). Age-related differences in memory and executive functions in healthy APOE ϵ 4 carriers: The contribution of individual differences in prefrontal volumes and systolic blood pressure. *Neuropsychologia, 50*(5), 704-714.
- Benito-León, J., Bermejo-Pareja, F., Morales-Gonzalez, J. M., Porta-Etessam, J., Trincado, R., Vega, S., ... & Neurological Disorders in Central Spain (NEDICES) Study Group. (2004). Incidence of Parkinson disease and parkinsonism in three elderly populations of central Spain. *Neurology, 62*(5), 734-741.
- Benito-León, J., Bermejo-Pareja, F., Rodríguez, J., Molina, J. A., Gabriel, R., Morales, J. M., & Neurological Disorders in Central Spain (NEDICES) Study Group. (2003). Prevalence of PD and other types of parkinsonism in three elderly populations of central Spain. *Movement Disorders, 18*(3), 267-274.
- Bennett, D. A., Wilson, R. S., Schneider, J. A., Evans, D. A., De Leon, C. M., Arnold, S. E., ... & Bienias, J. L. (2003). Education modifies the relation of AD pathology to level of cognitive function in older persons. *Neurology, 60*(12), 1909-1915.
- Berg, E. A. (1948). A simple objective technique for measuring flexibility in thinking. *The Journal of General Psychology, 39*(1), 15-22.
- Bergland, A., & Wyller, T. B. (2004). Risk factors for serious fall related injury in elderly women living at home. *Injury Prevention, 10*(5), 308-313.
- Berry, A. S., Shah, V. D., Baker, S. L., Vogel, J. W., O'Neil, J. P., Janabi, M., ... & Jagust, W. J. (2016). Aging Affects Dopaminergic Neural Mechanisms of Cognitive Flexibility. *The Journal of Neuroscience: the Official Journal of the Society for Neuroscience, 36*(50), 12559-12569.
- Berry, P. B., Andrews, R. J., & Gunn, P. (1980). *The early development of Down's syndrome infants*. Schonell Educational Research Centre, Department of Education, University of Queensland.
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review, 30*(4), 331-351.
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development, 81*(6), 1641-1660.
- Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review, 29*(3), 180-200.
- Beurskens, R., & Bock, O. (2012a). Age-related decline of peripheral visual processing: the role of eye movements. *Experimental Brain Research, 217*(1), 117-124.
- Beurskens, R., & Bock, O. (2012b). Age-related deficits of dual-task walking: a review. *Neural Plasticity, 2012*.
- Beurskens, R., & Bock, O. (2013). Does the walking task matter? Influence of different walking conditions on dual-task performances in young and older persons. *Human Movement Science, 32*(6), 1456-1466.
- Beurskens, R., Muehlbauer, T., & Granacher, U. (2015). Association of dual-task walking performance and leg muscle quality in healthy children. *BMC Pediatrics, 15*(1), 2.

- Beurskens, R., Muehlbauer, T., Grabow, L., Kliegl, R., & Granacher, U. (2016). Effects of backpack carriage on dual-task performance in children during standing and walking. *Journal of Motor Behavior, 48*(6), 500-508.
- Beurskens, R., Muehlbauer, T., Grabow, L., Kliegl, R., & Granacher, U. (2016). Effects of backpack carriage on dual-task performance in children during standing and walking. *Journal of Motor Behavior, 48*(6), 500-508.
- Bialystok, E., Craik, F. I., & Freedman, M. (2007). Bilingualism as a protection against the onset of symptoms of dementia. *Neuropsychologia, 45*(2), 459-464.
- Bialystok, E., Craik, F. I., & Luk, G. (2012). Bilingualism: consequences for mind and brain. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(4), 240-250.
- Biotteau, M., Chaix, Y., & Albaret, J. M. (2015). Procedural learning and automatization process in children with developmental coordination disorder and/or developmental dyslexia. *Human Movement Science, 43*, 78-89.
- Black, J. E., & Greenough, W. T. (1986). Induction of pattern in neural structure by experience: Implications for cognitive development. *Advances in Developmental Psychology, 4*, 1-50.
- Blakemore, S. J., & Choudhury, S. (2006). Development of the adolescent brain: implications for executive function and social cognition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 47*(3-4), 296-312.
- Bland, B. H., & Oddie, S. D. (2001). Theta band oscillation and synchrony in the hippocampal formation and associated structures: the case for its role in sensorimotor integration. *Behavioural Brain Research, 127*(1), 119-136.
- Ble, A., Volpato, S., Zuliani, G., Guralnik, J. M., Bandinelli, S., Lauretani, F., ... & Ferrucci, L. (2005). Executive function correlates with walking speed in older persons: the InCHIANTI study. *Journal of the American Geriatrics Society, 53*(3), 410-415.
- Blischke, K. (2001). Automatisierung einer großmotorischen Kalibrierungsaufgabe durch Prozeduralisierung.[Automation of a large-scale calibration task by proceduralization]. *Psychologie und Sport, 8*, 19-38.
- Block, M. E. (1991). Motor development in children with Down syndrome: A review of the literature. *Adapted Physical Activity Quarterly, 8*(3), 179-209.
- Bloem, B. R., Beckley, D. J., & van Dijk, J. G. (1999). Are automatic postural responses in patients with Parkinson's disease abnormal due to their stooped posture?. *Experimental Brain Research, 124*(4), 481-488.
- Bloem, B. R., Grimbergen, Y. A., Cramer, M., Willemsen, M., & Zwinderman, A. H. (2001). Prospective assessment of falls in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, 248*(11), 950-958.
- Bloem, B. R., Grimbergen, Y. A., van Dijk, J. G., & Munneke, M. (2006). The "posture second" strategy: a review of wrong priorities in Parkinson's disease. *Journal of the Neurological Sciences, 248*(1-2), 196-204.
- Bloem, B. R., Steijns, J. A., & Smits-Engelsman, B. C. (2003). An update on falls. *Current Opinion in Neurology, 16*(1), 15-26.
- Bock, O. (2008). Dual-task costs while walking increase in old age for some, but not for other tasks: an experimental study of healthy young and elderly persons. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, 5*(1), 27.
- Bock, O., & Beurskens, R. (2011). Age-related deficits of dual-task walking: the role of foot vision. *Gait & Posture, 33*(2), 190-194. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.10.095
- Bock, O., & Beurskens, R. (2011). Effects of a Visual Distracter Task on the Gait of Elderly versus Young Persons. *Current Gerontology and Geriatrics Research, 2011*, 651718.

- Boelema, S. R., Harakeh, Z., Ormel, J., Hartman, C. A., Vollebergh, W. A., & van Zandvoort, M. J. (2014). Executive functioning shows differential maturation from early to late adolescence: Longitudinal findings from a TRAILS study. *Neuropsychology, 28*(2), 177.
- Bohnen, N. I., & Cham, R. (2006). Postural control, gait, and dopamine functions in parkinsonian movement disorders. *Clinics in Geriatric Medicine, 22*(4), 797-812.
- Bond, J. M., & Morris, M. (2000). Goal-directed secondary motor tasks: their effects on gait in subjects with Parkinson disease. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 81*(1), 110-116.
- Bonnet, C. T., & Baudry, S. (2016). A functional synergistic model to explain postural control during precise visual tasks. *Gait & Posture, 50*, 120-125. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.08.030.
- Boonstra, T. A., Van Der Kooij, H., Munneke, M., & Bloem, B. R. (2008). Gait disorders and balance disturbances in Parkinson's disease: clinical update and pathophysiology. *Current Opinion in Neurology, 21*(4), 461-471.
- Boonyong, S., Siu, K. C., van Donkelaar, P., Chou, L. S., & Woollacott, M. H. (2012). Development of postural control during gait in typically developing children: the effects of dual-task conditions. *Gait & Posture, 35*(3), 428-434. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.11.002.
- Bootsma-van der Wiel, A., Gussekloo, J., De Craen, A. J., Van Exel, E., Bloem, B. R., & Westendorp, R. G. (2003). Walking and talking as predictors of falls in the general population: the Leiden 85-plus study. *Journal of the American Geriatrics Society, 51*(10), 1466-1471.
- Bor, D., Cumming, N., Scott, C. E., & Owen, A. M. (2004). Prefrontal cortical involvement in verbal encoding strategies. *European Journal of Neuroscience, 19*(12), 3365-3370.
- Boripuntakul, S., Lord, S. R., Brodie, M. A. D., Smith, S. T., Methapatara, P., Wongpakaran, N., & Sungkarat, S. (2014). Spatial variability during gait initiation while dual tasking is increased in individuals with mild cognitive impairment. *The Journal of Nutrition, Health & Aging, 18*(3), 307-312.
- Bortz, J., & Schuster, C. (2011). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Limitierte Sonderausgabe. Springer-Verlag.
- Bös, K. (2001). *Handbuch Motorische Tests*. 2. vollst. überarb. Aufl. ed. Göttingen: Hogrefe.
- Boutcher, S. H. (2002). *Attentional processes and sport performance*. In: Advances in sport psychology 2, S. 441-457.
- Bowie, C. R., & Harvey, P. D. (2006). Administration and interpretation of the Trail Making Test. *Nature Protocols, 1*(5), 2277-2282.
- Boyke, J., Driemeyer, J., Gaser, C., Büchel, C., & May, A. (2008). Training-induced brain structure changes in the elderly. *Journal of Neuroscience, 28*(28), 7031-7035.
- Boyle, P. A., Wilson, R. S., Yu, L., Barr, A. M., Honer, W. G., Schneider, J. A., & Bennett, D. A. (2013). Much of late life cognitive decline is not due to common neurodegenerative pathologies. *Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society, 74*(3), 478-489.
- Brain, W. R. (2000). Visual disorientation with special reference to lesions of the right cerebral hemisphere. *Critical Concepts in Psychology, 4*, 1247-1278.
- Bratzke, D., Rolke, B., & Ulrich, R. (2009). The source of execution-related dual-task interference: Motor bottleneck or response monitoring?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 35*(5), 1413-1426.
- Brehmer, Y., Rieckmann, A., Bellander, M., Westerberg, H., Fischer, H., & Bäckman, L. (2011). Neural correlates of training-related working-memory gains in old age. *Neuroimage, 58*(4), 1110-1120.

- Brickman, A. M., Muraskin, J., & Zimmerman, M. E. (2009). Structural neuroimaging in Alzheimer's disease: do white matter hyperintensities matter?. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 11(2), 181-190.
- Bridenbaugh, S. A., & Kressig, R. W. (2015). Motor cognitive dual tasking. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 48(1), 15-21.
- Broadbent, Donald Eric (1958): Perception and communication. London: Pergamon Press.
- Broadbent, H. J., Farran, E. K., & Tolmie, A. (2014). Egocentric and allocentric navigation strategies in Williams syndrome and typical development. *Developmental Science*, 17(6), 920-934.
- Brooks, L. R. (1967). The suppression of visualization by reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 19(4), 289-299.
- Brown, L. A., Sleik, R. J., Polych, M. A., & Gage, W. H. (2002). Is the prioritization of postural control altered in conditions of postural threat in younger and older adults?. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57(12), M785-M792.
- Brown, T., & Lalor, A. (2009). The movement assessment battery for children—second edition (MABC-2): a review and critique. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 29(1), 86-103.
- Brown-Lum, M., & Zwicker, J. G. (2015). Brain imaging increases our understanding of developmental coordination disorder: a review of literature and future directions. *Current Developmental Disorders Reports*, 2(2), 131-140.
- Bruce Morton, J. (2010). Understanding genetic, neurophysiological, and experiential influences on the development of executive functioning: The need for developmental models. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1(5), 709-723.
- Brunamonti, E., Pani, P., Papazachariadis, O., Onorati, P., Albertini, G., & Ferraina, S. (2011). Cognitive control of movement in Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities*, 32(5), 1792-1797.
- Buccino, G., Vogt, S., Ritzl, A., Fink, G. R., Zilles, K., Freund, H. J., & Rizzolatti, G. (2004). Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study. *Neuron*, 42(2), 323-334.
- Buckner, R. L. (2004). Memory and executive function in aging and AD: multiple factors that cause decline and reserve factors that compensate. *Neuron*, 44(1), 195-208.
- Bühner, M., & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Pearson Deutschland GmbH.
- Bühner, M., & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Pearson Deutschland GmbH.
- Bullens, J., Iglói, K., Berthoz, A., Postma, A., & Rondi-Reig, L. (2010). Developmental time course of the acquisition of sequential egocentric and allocentric navigation strategies. *Journal of Experimental Child Psychology*, 107(3), 337-350.
- Buracchio, T., Dodge, H. H., Howieson, D., Wasserman, D., & Kaye, J. (2010). The trajectory of gait speed preceding mild cognitive impairment. *Archives of Neurology*, 67(8), 980-986.
- Burgess, P. W., & Shallice, T. (1997). The hayling and brixton tests.
- Burke, S. N., & Barnes, C. A. (2006). Neural plasticity in the ageing brain. *Nature Reviews. Neuroscience*, 7(1), 30-40.
- Burkhalter, A., Bernardo, K. L., & Charles, V. (1993). Development of local circuits in human visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 13(5), 1916-1931.
- Butterworth, G., & Cicchetti, D. (1978). Visual calibration of posture in normal and motor retarded Down's syndrome infants. *Perception*, 7(5), 513-525.

- Cabeza, R. (2002). Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults: The HAROLD Model. *Psychology and Aging, 17*(1), 85-100.
- Cabeza, R., Anderson, N. D., Locantore, J. K., & McIntosh, A. R. (2002). Aging gracefully: compensatory brain activity in high-performing older adults. *Neuroimage, 17*(3), 1394-1402.
- Cai, L., Chan, J. S., Yan, J. H., & Peng, K. (2014). Brain plasticity and motor practice in cognitive aging. *Frontiers in Aging Neuroscience, 6*, 31. doi: 10.3389/fnagi.2014.00031
- Caldas, R., Mundt, M., Potthast, W., de Lima Neto, F. B., & Markert, B. (2017). A systematic review of gait analysis methods based on inertial sensors and adaptive algorithms. *Gait & Posture, 57*, 204-210. doi: 10.1016/j.gaitpost.2017.06.019.
- Callisaya, M. L., Blizzard, C. L., Wood, A. G., Thrift, A. G., Wardill, T., & Srikanth, V. K. (2015). Longitudinal relationships between cognitive decline and gait slowing: the Tasmanian Study of Cognition and Gait. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences, 70*(10), 1226-1232.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2004). Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex, 15*(8), 1243-1249.
- Calvo-Merino, B., Grèzes, J., Glaser, D. E., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2006). Seeing or doing? Influence of visual and motor familiarity in action observation. *Current Biology, 16*(19), 1905-1910.
- Camicioli, R., Bouchard, T., & Licitis, L. (2006). Dual-tasks and walking fast: relationship to extrapyramidal signs in advanced Alzheimer disease. *Journal of the neurological sciences, 248*(1-2), 205-209.
- Camicioli, R., Howieson, D., Oken, B., Sexton, G., & Kaye, J. (1998). Motor slowing precedes cognitive impairment in the oldest old. *Neurology, 50*(5), 1496-1498.
- Camicioli, R., Oken, B. S., Sexton, G., Kaye, J. A., & Nutt, J. G. (1998). Verbal fluency task affects gait in Parkinson's disease with motor freezing. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology, 11*(4), 181-185.
- Campbell, C. M., Rowse, J. L., Ciol, M. A., & Shumway-Cook, A. (2003). The effect of cognitive demand on timed up and go performance in older adults with and without Parkinson disease. *Journal of Neurologic Physical Therapy, 27*(1), 2-7.
- Campbell, C. M., Rowse, J. L., Ciol, M. A., & Shumway-Cook, A. (2003). The effect of cognitive demand on timed up and go performance in older adults with and without Parkinson disease. *Journal of Neurologic Physical Therapy, 27*(1), 2-7.
- Carlson, M. C., Fried, L. P., Xue, Q. L., Bandeen-Roche, K., Zeger, S. L., & Brandt, J. (1999). Association between executive attention and physical functional performance in community-dwelling older women. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 54*(5), S262-S270.
- Carlson, S. M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology, 28*(2), 595-616.
- Carpenter, W. B. (1852). *On the influence of suggestion in modifying and directing muscular movement, independently of volition*. Royal Institution of Great Britain.
- Carvalho, R. L., & Vasconcelos, D. A. (2011). Motor behavior in Down syndrome: atypical sensorimotor control. In S. Dey (Ed.), *Prenatal Diagnosis and Screening for Down Syndrome*, (pp. 34-42).
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology, 54*(1), 1-22.

- Cedervall, Y., Halvorsen, K., & Åberg, A. C. (2014). A longitudinal study of gait function and characteristics of gait disturbance in individuals with Alzheimer's disease. *Gait & Posture*, *39*(4), 1022-1027. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.12.026.
- Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & de Sather, J. C. M. G. (2001). Changes in Executive Control Across the Life Span: Examination of Task-Switching Performance. *Developmental Psychology*, *37*(5), 715-730.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Kim, J. S., Voss, M. W., VanPatter, M., ... & Cohen, N. J. (2010). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain Research*, *1358*, 172-183.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., VanPatter, M., Voss, M. W., Pontifex, M. B., ... & Kramer, A. F. (2010). Basal ganglia volume is associated with aerobic fitness in preadolescent children. *Developmental Neuroscience*, *32*(3), 249-256.
- Chaddock, L., Pontifex, M. B., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2011). A review of the relation of aerobic fitness and physical activity to brain structure and function in children. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *17*(6), 975-985.
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Holtrop, J. L., Voss, M. W., Pontifex, M. B., Raine, L. B., ... & Kramer, A. F. (2014). Aerobic fitness is associated with greater white matter integrity in children. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 584. doi: 10.3389/fnhum.2014.00584
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Voss, M. W., Powers, J. P., Knecht, A. M., Pontifex, M. B., ... & Hillman, C. H. (2013). White matter microstructure is associated with cognitive control in children. *Biological Psychology*, *94*(1), 109-115.
- Chakravarthy, V. S., Joseph, D., & Bapi, R. S. (2010). What do the basal ganglia do? A modeling perspective. *Biological Cybernetics*, *103*(3), 237-253.
- Chang, Y. K., Nien, Y. H., Tsai, C. L., & Etnier, J. L. (2010). Physical activity and cognition in older adults: the potential of Tai Chi Chuan. *Journal of Aging and Physical Activity*, *18*(4), 451-472.
- Chang, Y. K., Tsai, Y. J., Chen, T. T., & Hung, T. M. (2013). The impacts of coordinative exercise on executive function in kindergarten children: an ERP study. *Experimental Brain Research*, *225*(2), 187-196.
- Charlton, J. L., Ihsen, E., & Lavelle, B. M. (2000). Control of manual skills in children with Down syndrome. *Perceptual-Motor Behavior in Down Syndrome*, 25-48.
- Chechik, G., Meilijson, I., & Ruppin, E. (1998). Synaptic pruning in development: a computational account. *Neural Computation*, *10*(7), 1759-1777.
- Chen, F. C., Tsai, C. L., Stoffregen, T. A., Chang, C. H., & Wade, M. G. (2012). Postural Adaptations to a Suprapostural Memory Task among Children with and without Developmental Coordination Disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *54*(2), 155-159.
- Cherng, R. J., Liang, L. Y., Chen, Y. J., & Chen, J. Y. (2009). The effects of a motor and a cognitive concurrent task on walking in children with developmental coordination disorder. *Gait & Posture*, *29*(2), 204-207.
- Cherng, R. J., Liang, L. Y., Hwang, S., & Chen, J. Y. (2007). The effect of a concurrent task on the walking performance of preschool children. *Gait & Posture*, *26*(2), 231-237. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.09.004
- Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *25*(5), 975-979.
- Christ, S. E., Castel, A. D., & Abrams, R. A. (2008). Capture of Attention by New Motion in Young and Older Adults. *Journals of Gerontology: Series B*, *63*(2), 110-116.
- Christ, S. E., White, D. A., Mandernach, T., & Keys, B. A. (2001). Inhibitory control across the life span. *Developmental Neuropsychology*, *20*(3), 653-669.

- Christensen, D. L., Schieve, L. A., Devine, O., & Drews-Botsch, C. (2014). Socioeconomic status, child enrichment factors, and cognitive performance among preschool-age children: results from the Follow-Up of Growth and Development Experiences study. *Research in Developmental Disabilities, 35*(7), 1789-1801.
- Christensen, H., Batterham, P. J., Mackinnon, A. J., Anstey, K. J., Wen, W., & Sachdev, P. S. (2009). Education, atrophy, and cognitive change in an epidemiological sample in early old age. *The American Journal of Geriatric Psychiatry, 17*(3), 218-226.
- Chu, Y. H., Tang, P. F., Peng, Y. C., & Chen, H. Y. (2013). Meta-analysis of type and complexity of a secondary task during walking on the prediction of elderly falls. *Geriatrics & Gerontology International, 13*(2), 289-297.
- Clark, Andy (1998): Embodiment and the Philosophy of Mind. *Royal Institute of Philosophy Supplement, 43*, 35–51.
- Clark, C. A., Sheffield, T. D., Chevalier, N., Nelson, J. M., Wiebe, S. A., & Espy, K. A. (2013). Charting Early Trajectories of Executive Control with the Shape School. *Developmental Psychology, 49*(8), 1481-1493.
- Clark, D. J. (2015). Automaticity of walking: functional significance, mechanisms, measurement and rehabilitation strategies. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 246.
- Cobo-Lewis, A. B., Oller, D. K., Lynch, M. P., & Levine, S. L. (1996). Relations of motor and vocal milestones in typically developing infants and infants with Down syndrome. *American Journal of Mental Retardation, 100*(5), 456-467.
- Cochran, W. G. (1954). The combination of estimates from different experiments. *Biometrics, 10*(1), 101-129.
- Cochrane Deutschland, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften - Institut für Medizinisches Wissensmanagement (2017). *Bewertung von systematischen Übersichtsarbeiten: ein Manual für die Leitlinienerstellung* [Online]. Verfügbar unter: <http://www.cochrane.de/de/review-bewertung-manual> AWMF: <http://www.awmf.org/leitlinien/awmf-regelwerk/II-entwicklung.html> [Zugriff: 25 August 2018].
- Coffey, C. E., Wilkinson, W. E., Parashos, L. A., Soady, S. A. R., Sullivan, R. J., Patterson, L. J., ... & Djang, W. T. (1992). Quantitative cerebral anatomy of the aging human brain A cross-sectional study using magnetic resonance imaging. *Neurology, 42*(3), 527-527.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Raz, N., Webb, A. G., Cohen, N. J., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 58*(2), M176-M180.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., McAuley, E., Erickson, K. I., & Scalf, P. (2004). Neurocognitive aging and cardiovascular fitness. *Journal of Molecular Neuroscience, 24*(1), 9-14.
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological Science, 14*(2), 125-130.
- Cole, W. G., Robinson, S. R., & Adolph, K. E. (2016). Bouts of steps: The organization of infant exploration. *Developmental Psychobiology, 58*(3), 341-354.
- Collardeau, M., Brisswalter, J., & Audiffren, M. (2001). Effects of a prolonged run on simple reaction time of well trained runners. *Perceptual and Motor Skills, 93*(3), 679-689.
- Collette, F., Germain, S., Hogge, M., & Van der Linden, M. (2009). Inhibitory control of memory in normal ageing: Dissociation between impaired intentional and preserved unintentional processes. *Memory, 17*(1), 104-122.
- Collette, F., Hogge, M., Salmon, E., & Van der Linden, M. (2006). Exploration of the neural substrates of executive functioning by functional neuroimaging. *Neuroscience, 139*(1), 209-221.

- Connolly, B. H., & Michael, B. T. (1986). Performance of retarded children, with and without Down syndrome, on the Bruininks Oseretsky Test of Motor Proficiency. *Physical Therapy, 66*(3), 344-348.
- Coppin, A. K., Shumway-Cook, A., Saczynski, J. S., Patel, K. V., Ble, A., Ferrucci, L., & Guralnik, J. M. (2006). Association of executive function and performance of dual-task physical tests among older adults: analyses from the InChianti study. *Age and Ageing, 35*(6), 619-624.
- Corti, E. J., Johnson, A. R., Riddle, H., Gasson, N., Kane, R., & Loftus, A. M. (2017). The relationship between executive function and fine motor control in young and older adults. *Human Movement Science, 51*, 41-50.
- Costanzo, F., Varuzza, C., Menghini, D., Addona, F., Gianesini, T., & Vicari, S. (2013). Executive functions in intellectual disabilities: a comparison between Williams syndrome and Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities, 34*(5), 1770-1780.
- Cotman, C. W., & Berchtold, N. C. (2002). Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends in Neurosciences, 25*(6), 295-301.
- Craik, F. I., & Bialystok, E. (2006). Cognition through the lifespan: mechanisms of change. *Trends in Cognitive Sciences, 10*(3), 131-138.
- Craik, F. I., & Grady, C. L. (2002): Aging, memory, and frontal lobe functioning. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of Frontal Lobe Function*. Oxford University Press, Inc.; New York: 2002.
- Cratty, B. J. (1994). *Clumsy child syndromes: Descriptions, evaluation, and remediation*. Taylor & Francis.
- Crowe, S. F. (1998). The differential contribution of mental tracking, cognitive flexibility, visual search, and motor speed to performance on parts A and B of the Trail Making Test. *Journal of Clinical Psychology, 54*(5), 585-591.
- Cunningham, C., & Sloper, P. (1978). *Helping your handicapped baby*. Souvenir Press (Educational & Academic).
- Dault, M. C., Frank, J. S., & Allard, F. (2001a). Influence of a visuo-spatial, verbal and central executive working memory task on postural control. *Gait & Posture, 14*(2), 110-116. doi: 10.1016/S0966-6362(01)00113-8
- Dault, M. C., Geurts, A. C., Mulder, T. W., & Duysens, J. (2001b). Postural control and cognitive task performance in healthy participants while balancing on different support-surface configurations. *Gait & Posture, 14*(3), 248-255.
- Davatzikos, C., & Resnick, S. M. (2002). Degenerative age changes in white matter connectivity visualized in vivo using magnetic resonance imaging. *Cerebral Cortex, 12*(7), 767-771.
- Davis, C. L., Tkacz, J. P., Tomporowski, P. D., & Bustamante, E. E. (2015). Independent associations of organized physical activity and weight status with children's cognitive functioning: A matched-pairs design. *Pediatric Exercise Science, 27*(4), 477-487.
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E., ... & Naglieri, J. A. (2011). Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children: a randomized, controlled trial. *Health Psychology, 30*(1), 91.
- Davis, E. E., Pitchford, N. J., & Limback, E. (2011). The interrelation between cognitive and motor development in typically developing children aged 4-11 years is underpinned by visual processing and fine manual control. *British Journal of Psychology, 102*(3), 569-584.
- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2007). Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cerebral Cortex, 18*(5), 1201-1209.

- Dawson, G., Ashman, S. B., & Carver, L. J. (2000). The role of early experience in shaping behavioral and brain development and its implications for social policy. *Development and Psychopathology*, 12(4), 695-712.
- de Frias, C. M., Schaie, K. W., & Willis, S. L. (2014). Hypertension Moderates the Effect of APOE on 21-Year Cognitive Trajectories. *Psychology and Aging*, 29(2), 431-439.
- De Lau, L. M. L., Giesbergen, P. C. L. M., De Rijk, M. C., Hofman, A., Koudstaal, P. J., & Breteler, M. M. B. (2004). Incidence of parkinsonism and Parkinson disease in a general population The Rotterdam Study. *Neurology*, 63(7), 1240-1244.
- de Oliveira, R. F., & Wann, J. P. (2010). Integration of dynamic information for visuomotor control in young adults with developmental coordination disorder. *Experimental Brain Research*, 205(3), 387-394.
- Deakin, J. M., Starkes, J. L., & Elliott, D. (1988). Feature integration of children during exercise. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 10(3), 248-261.
- Deandrea, S., Lucenteforte, E., Bravi, F., Foschi, R., La Vecchia, C., & Negri, E. (2010). Risk factors for falls in community-dwelling older people: A systematic review and meta-analysis. *Epidemiology*, 21(5), 658-668.
- Debette, S., Seshadri, S., Beiser, A., Au, R., Himali, J. J., Palumbo, C., ... & DeCarli, C. (2011). Midlife vascular risk factor exposure accelerates structural brain aging and cognitive decline. *Neurology*, 77(5), 461-468.
- Deeks, J. J., Higgins, J. P., & Altman, D. G. (2008). Analysing data and undertaking meta-analyses. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions: Cochrane Book Series*, 243-296.
- Demakis, G. J. (2004). Frontal lobe damage and tests of executive processing: a meta-analysis of the category test, stroop test, and trail-making test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 26(3), 441-450.
- 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.
- DerSimonian, R., & Laird, N. (1986). Meta-analysis in clinical trials. *Controlled Clinical Trials*, 7(3), 177-188.
- Deutsch, D., Henthorn, T., Marvin, E., & Xu, H. (2006). Absolute pitch among American and Chinese conservatory students: Prevalence differences, and evidence for a speech-related critical period. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 119(2), 719-722.
- American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders. *BMC Med*, 17, 133-137.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development*, 71(1), 44-56.
- Diamond, A. (2014). Whether coordinative (soccer) exercise improves executive functioning in kindergarten children has yet to be demonstrated. *Experimental Brain Research*, 232(6), 2045.
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, 333(6045), 959-964.
- Dijkstra, K., & Post, L. (2015). Mechanisms of embodiment. *Frontiers in Psychology*, 6, 1525. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01525
- Dilling, H., Mombour, W., Schmidt, M. H., & Schulte-Markwort, E. (1991). Weltgesundheitsorganisation. Internationale Klassifikation psychischer Störungen. *ICD-10 Kapitel V(F)*. Klinisch-diagnostische Leitlinien, 2.
- Dixon, R. A., & de Frias, C. M. (2009). Long-term stability and variability in memory compensation among older adults: evidence from the Victoria Longitudinal Study. *Acta Psychologica Sinica*, 41(11), 1091-1101.

- Doi, T., Shimada, H., Makizako, H., Tsutsumimoto, K., Uemura, K., Anan, Y., & Suzuki, T. (2014). Cognitive function and gait speed under normal and dual-task walking among older adults with mild cognitive impairment. *BMC Neurology*, *14*(1), 67.
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P., ... & Szabo-reed, A. N. (2016). Physical Activity, Fitness, Cognitive Function, and Academic Achievement in Children: A Systematic Review. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *48*(6), 1197-1222.
- Dorman, J. (1998). Problem solving, inhibition, and frontal lobe function. *Advances in Psychology*, *125*, 395-448.
- Doumas, M., Smolders, C., & Krampe, R. T. (2008). Task prioritization in aging: effects of sensory information on concurrent posture and memory performance. *Experimental Brain Research*, *187*(2), 275-281.
- Down, J. L. H. (1867). Observations on an ethnic classification of idiots. *Journal of Mental Science*, *13*(61), 121-123.
- Dreisbach, G., & Goschke, T. (2004). How Positive Affect Modulates Cognitive Control: Reduced Perseveration at the Cost of Increased Distractibility. *Learning, Memory*, *30*(2), 343-353.
- Drews, F. A., Yazdani, H., Godfrey, C. N., Cooper, J. M., & Strayer, D. L. (2009). Text messaging during simulated driving. *Human Factors*, *51*(5), 762-770.
- Du, W., Wilmut, K., & Barnett, A. L. (2015). Level walking in adults with and without developmental coordination disorder: an analysis of movement variability. *Human Movement Science*, *43*, 9-14.
- Duffin, J. T., Collins, D. R., Coughlan, T., O'Neill, D., Roche, R. A., & Commins, S. (2012). Subtle memory and attentional deficits revealed in an Irish stroke patient sample using domain-specific cognitive tasks. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *34*(8), 864-875.
- Dumurgier, J., Artaud, F., Touraine, C., Rouaud, O., Tavernier, B., Dufouil, C., ... & Elbaz, A. (2016). Gait speed and decline in gait speed as predictors of incident dementia. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, *72*(5), 655-661.
- Duncan, J. (1979): Divided attention: the whole is more than the sum of its parts. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *5*(2), 216-228.
- Duncan, J., Burgess, P., & Emslie, H. (1995). Fluid intelligence after frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, *33*(3), 261-268.
- Dunn, L. M., & Dunn, D. M. (2007). *PPVT-4: Peabody picture vocabulary test*. Pearson Assessments.
- DYER, S. (1990). Motor development in Down syndrome children: An analysis of the motor scale of the Bayley Scales of infant development. *Motor Development, Adapted Physical Activity and Mental Retardation*, *30*, 7-20.
- Easterbrook, J. A. (1959). The effect of emotion on cue utilization and the organization of behavior. *Psychological Review*, *66*(3), 183.
- Ebbinghaus, H. (1885). *Über das Gedächtnis: Untersuchungen zur experimentellen Psychologie*. Duncker & Humblot.
- Ebersbach, G., Dimitrijevic, M. R., & Poewe, W. (1995). Influence of concurrent tasks on gait: a dual-task approach. *Perceptual and Motor Skills*, *81*(1), 107-113.
- Elflein, H. M. (2016). Amblyopie. *Der Ophthalmologe*, *113*(4), 283-288.
- Ellis, T., Cavanaugh, J. T., Earhart, G. M., Ford, M. P., Foreman, K. B., & Dibble, L. E. (2011). Which measures of physical function and motor impairment best predict quality of life in Parkinson's disease?. *Parkinsonism & Related Disorders*, *17*(9), 693-697.
- Erickson, C. A., & Barnes, C. A. (2003). The neurobiology of memory changes in normal aging. *Experimental Gerontology*, *38*(1), 61-69.

- Erickson, K. I., Gildengers, A. G., & Butters, M. A. (2013). Physical activity and brain plasticity in late adulthood. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 15(1), 99-108.
- Erickson, K., Raji, C., Lopez, O., Becker, J., Rosano, C., Newman, A., ... & Kuller, L. (2010). Physical activity predicts gray matter volume in late adulthood: The Cardiovascular Health Study (e-pub ahead of print). *Neurology*, 75(16), 1415-1422.
- 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.
- Etnier, J. (2009). Chronic exercise and cognition in older adults. *Exercise and Cognitive Function*, 227-247.
- Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M., & Sibley, B. A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Reviews*, 52(1), 119-130.
- Etnier, J. L., Romero, D. H., & Traustadóttir, T. (2001). Acquisition and retention of motor skills as a function of age and aerobic fitness. *Journal of Aging and Physical Activity*, 9(4), 425-437.
- Fabre, C., Chamari, K., Mucci, P., Masse-Biron, J., & Prefaut, C. (2002). Improvement of cognitive function by mental and/or individualized aerobic training in healthy elderly subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 23(06), 415-421.
- Faulkner, K. A., Redfern, M. S., Cauley, J. A., Landsittel, D. P., Studenski, S. A., Rosano, C., ... & Newman, A. B. (2007). Multitasking: association between poorer performance and a history of recurrent falls. *Journal of the American Geriatrics Society*, 55(4), 570-576.
- Fawcett, A. J., & Nicolson, R. I. (1992). Automatisations deficits in balance for dyslexic children. *Perceptual and Motor Skills*, 75(2), 507-529.
- Ferreira, A. T., & Lamônica, D. A. C. (2012). Comparing the lexicon of children with Down syndrome and typically developing the same mental age. *Revista CEFAC*, 14(5), 786-791.
- Finlayson, M. L., & Peterson, E. W. (2010). Falls, aging, and disability. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 21(2), 357-373.
- Flatters, I., Mushtaq, F., Hill, L. J. B., Holt, R. J., Wilkie, R. M., & Mon-Williams, M. (2014). The relationship between a child's postural stability and manual dexterity. *Experimental Brain Research*, 232(9), 2907-2917.
- Fleiss, J. L. (1999). *Reliability of Measurement. The Design and Analysis of Clinical Experiments*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. doi: 10.1002/9781118032923.ch1
- Fleury, M., Bard, C., & Carrière, L. (1981). Effects of physical or perceptual work loads on a coincidence/anticipation task. *Perceptual and Motor Skills*, 53(3), 843-850.
- Foglia, L., & Wilson, R. A. (2013). Embodied cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 4(3), 319-325.
- Fong, S. S., Ng, S. S. & Yiu, B. P. (2013). Slowed muscle force production and sensory organization deficits contribute to altered postural control strategies in children with developmental coordination disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 34(9), 3040-3048.
- Fox, S. E., Levitt, P., & Nelson III, C. A. (2010). How the timing and quality of early experiences influence the development of brain architecture. *Child Development*, 81(1), 28-40.
- Fraizer, E. V., & Mitra, S. (2008). Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-tasking in upright stance. *Gait & Posture*, 27(2), 271-279. doi: 10.1016/j.gaitpost.2007.04.002
- Franzmeier, N., Hartmann, J. C., Taylor, A. N., Araque Caballero, M. Á., Simon-Vermot, L., Buerger, K., ... & Janowitz, D. (2017). Left frontal hub connectivity during memory performance supports reserve in aging and mild cognitive impairment. *Journal of Alzheimer's Disease*, 59(4), 1381-1392.

- Freitas, S., Simoes, M. R., Marôco, J., Alves, L., & Santana, I. (2012). Construct validity of the Montreal Cognitive assessment (MoCA). *Journal of the International Neuropsychological Society*, 18(2), 242-250.
- Fried, A. V., Cwikel, J., Ring, H., & Galinsky, D. (1990). ELGAM—Extra-laboratory gait assessment method: Identification of risk factors for falls among the elderly at home. *International Disability Studies*, 12(4), 161-164.
- Fuller, G. F. (2000). Falls in the elderly. *American Family Physician*, 61(7), 2159-68.
- Fuller, R. L., Van Winkle, E. P., Anderson, K. E., Gruber-Baldini, A. L., Hill, T., Zampieri, C., ..., Shulman, L. M. (2013). Dual task performance in Parkinson's disease: A sensitive predictor of impairment and disability. *Parkinsonism & Related Disorders*, 19(3), 325-328.
- Fuster, J. M. (2001). The prefrontal cortex—an update: time is of the essence. *Neuron*, 30(2), 319-333.
- Fuster, Joaquin M. (2003): *Cortex and mind: Unifying cognition*: Oxford university press.
- Gabbett, T., Wake, M., & Abernethy, B. (2011). Use of dual-task methodology for skill assessment and development: Examples from rugby league. *Journal of Sports Sciences*, 29(1), 7-18.
- Galletly, R., & Brauer, S. G. (2005). Does the type of concurrent task affect preferred and cued gait in people with Parkinson's disease?. *Australian Journal of Physiotherapy*, 51(3), 175-180.
- Gardner, R. A., & Broman, M. (1979). The Purdue Pegboard: Normative data on 1334 school children. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 8(3), 156-162.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The Structure of Working Memory From 4 to 15 Years of Age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190.
- Gaudino, E. A., Geisler, M. W., & Squires, N. K. (1995). Construct validity in the Trail Making Test: what makes Part B harder?. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17(4), 529-535.
- Gauggel, S., & Sturm, W. (2005). Leitlinien der Gesellschaft für Neuropsychologie (GNP) für neuropsychologische Diagnostik und Therapie. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 16(4), 175-199.
- Gazzaley, A., D'Esposito, M. (2006): Neural networks: an empirical neuroscience approach toward understanding cognition. *Cortex*, 42(7), 1037-1040.
- Gelfo, F., Mandolesi, L., Serra, L., Sorrentino, G., & Caltagirone, C. (2018). The neuroprotective effects of experience on cognitive functions: evidence from animal studies on the neurobiological bases of brain reserve. *Neuroscience*, 370, 218-235.
- Gerrig, Richard J.; Zimbardo, Philip G. (2008): *Psychologie*. 18., aktualisierte Aufl. München u.a.: Pearson Studium (PS Psychologie).
- Getchell, N., & Pabreja, P. (2006). Revisiting the development of time sharing using a dual motor task performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 77(1), 131-136.
- Gibson, James J. (1979): *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Giedd, J. N. (2008). The teen brain: insights from neuroimaging. *Journal of Adolescent Health*, 42(4), 335-343.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., ... & Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861-863.
- Gillain, S., Dramé, M., Lekeu, F., Wojtasik, V., Ricour, C., Croisier, J. L., ... & Petermans, J. (2016). Gait speed or gait variability, which one to use as a marker of risk to develop Alzheimer disease? A pilot study. *Aging Clinical and Experimental Research*, 28(2), 249-255.

- Gillain, S., Warzee, E., Lekeu, F., Wojtasik, V., Maquet, D., Croisier, J. L., ... & Petermans, J. (2009). The value of instrumental gait analysis in elderly healthy, MCI or Alzheimer's disease subjects and a comparison with other clinical tests used in single and dual-task conditions. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 52(6), 453-474.
- Gilmore, L., Cuskelly, M., & Hayes, A. (2003). A comparative study of mastery motivation in young children with Down's syndrome: similar outcomes, different processes?. *Journal of Intellectual Disability Research*, 47(3), 181-190.
- Glisky, E. L. (2007). Changes in cognitive function in human aging. *Brain Aging: Models, Methods, and Mechanisms*, 3-20.
- Goetz, C. G., Fahn, S., Martinez-Martin, P., Poewe, W., Sampaio, C., Stebbins, G. T., ... & Holloway, R. (2007). Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): process, format, and clinimetric testing plan. *Movement Disorders*, 22(1), 41-47.
- Goetz, C. G., Poewe, W., Rascol, O., Sampaio, C., Stebbins, G. T., Counsell, C., ... & Yahr, M. D. (2004). Movement Disorder Society Task Force report on the Hoehn and Yahr staging scale: status and recommendations the Movement Disorder Society Task Force on rating scales for Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 19(9), 1020-1028.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., ... & Rapoport, J. L. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National academy of Sciences of the United States of America*, 101(21), 8174-8179.
- Gold, B. T., Kim, C., Johnson, N. F., Kryscio, R. J., & Smith, C. D. (2013). Lifelong bilingualism maintains neural efficiency for cognitive control in aging. *Journal of Neuroscience*, 33(2), 387-396.
- Good, C. D., Johnsrude, I. S., Ashburner, J., Henson, R. N., Friston, K. J., & Frackowiak, R. S. (2001). A voxel-based morphometric study of ageing in 465 normal adult human brains. *Neuroimage*, 14(1), 21-36.
- Gopher, D., & Navon, D. (1980). How is performance limited: Testing the notion of central capacity. *Acta Psychologica*, 46(3), 161-180.
- Granacher, U., Bridenbaugh, S. A., Muehlbauer, T., Wehrle, A., & Kressig, R. W. (2011). Age-related effects on postural control under multi-task conditions. *Gerontology*, 57(3), 247-255.
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Gollhofer, A., Kressig, R. W., & Zahner, L. (2011). An intergenerational approach in the promotion of balance and strength for fall prevention—a mini-review. *Gerontology*, 57(4), 304-315.
- Grant, D. A., & Berg, E. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, 38(4), 404-411.
- Gray, R. (2004). Attending to the Execution of a Complex Sensorimotor Skill: Expertise Differences, Choking, and Slumps. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 10(1), 42-54.
- Greenwood, P. M. (2000). The frontal aging hypothesis evaluated. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 6(6), 705-726.
- Greenwood, P. M. (2007). Functional plasticity in cognitive aging: review and hypothesis. *Neuropsychology*, 21(6), 657-673.
- Grieco, J., Pulsifer, M., Seligsohn, K., Skotko, B., & Schwartz, A. (2015). Down syndrome: Cognitive and behavioral functioning across the lifespan. *American Journal Of Medical Genetics Part C: Seminars in Medical Genetics*, 169(2), 135-149.
- Grieco, J., Pulsifer, M., Seligsohn, K., Skotko, B., & Schwartz, A. (2015, June). Down syndrome: Cognitive and behavioral functioning across the lifespan. *American Journal of Medical Genetics Part C: Seminars in Medical Genetics*, 169(2), 135-149.

- Grimbergen, Y. A., Munneke, M., & Bloem, B. R. (2004). Falls in Parkinson's disease. *Current Opinion in Neurology*, 17(4), 405-415.
- Groenewegen, H. J. (2003). The basal ganglia and motor control. *Neural Plasticity*, 10(1-2), 107-120.
- Gschwind, Y. J., & Bridenbaugh, S. A. (2011). Die Rolle der Ganganalyse. *Informierte Arzt*, 6, 39-41.
- Gunning-Dixon, F. M., & Raz, N. (2003): Neuroanatomical correlates of selected executive functions in middle-aged and older adults: a prospective MRI study. *Neuropsychologia*, 41(14), 1929–1941.
- Guo, X., Skoog, I., Matousek, M., Larsson, L., Palsson, S., Sundh, W., & Steen, B. (2000). A population-based study on motor performance and white matter lesions in older women. *Journal of the American Geriatrics Society*, 48(8), 967-970.
- Gupta, N. A., & Kabra, M. (2014). Diagnosis and management of Down syndrome. *The Indian Journal of Pediatrics*, 81(6), 560-567.
- Gur, R. C., Richard, J., Calkins, M. E., Chiavacci, R., Hansen, J. A., Bilker, W. B., ... & Abou-Sleiman, P. M. (2012). Age group and sex differences in performance on a computerized neurocognitive battery in children age 8– 21. *Neuropsychology*, 26(2), 251-265
- Gutchess, A. H., Welsh, R. C., Hedden, T., Bangert, A., Minear, M., Liu, L. L., & Park, D. C. (2005). Aging and the neural correlates of successful picture encoding: frontal activations compensate for decreased medial-temporal activity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(1), 84-96.
- Hagmann-von Arx, P., Manicolo, O., Lemola, S., & Grob, A. (2016). Walking in school-aged children in a dual-task paradigm is related to age but not to cognition, motor behavior, injuries, or psychosocial functioning. *Frontiers in Psychology*, 7, 352. doi: 10.3389/fpsyg.2016.00352
- Haley, S. M. (1986). Postural reactions in infants with Down syndrome: Relationship to motor milestone development and age. *Physical Therapy*, 66(1), 17-22.
- Haley, S. M. (1987). Sequence of development of postural reactions by infants with Down syndrome. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 29(5), 674-679.
- Hall, C. B., Lipton, R. B., Sliwinski, M., Katz, M. J., Derby, C. A., & Verghese, J. (2009). Cognitive activities delay onset of memory decline in persons who develop dementia. *Neurology*, 73(5), 356-361.
- Hallett, M., & Grafman, J. (1997). Executive function and motor skill learning. *International Review of Neurobiology*, 41, 297-323.
- Harms, M. B., Zayas, V., Meltzoff, A. N., & Carlson, S. M. (2014). Stability of executive function and predictions to adaptive behavior from middle childhood to pre-adolescence. *Frontiers in Psychology*, 5, 331. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00331
- HART, S. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Human Mental Workload*, 139-183.
- Hartman, E., Houwen, S., Scherder, E., & Visscher, C. (2010). On the relationship between motor performance and executive functioning in children with intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research*, 54(5), 468-477.
- Hasan H. B., Abdullah N. M. & Suun A. (2012) The assessment of gross motor skills development among down syndrome children in Klang Valley. Paper presented at Humanities, *Science and Engineering Research (SHUSER)*, 2012 IEEE Symposium, Kuala Lumpur. 217–221. doi: 10.1109/SHUSER.2012.6268854.
- Hatch-Stein, J. A., Zemel, B. S., Prasad, D., Kalkwarf, H. J., Pipan, M., Magge, S. N., & Kelly, A. (2016). Body Composition and BMI Growth Charts in Children With Down Syndrome. *Pediatrics*, 138(4).

- Hatfield, B. D., & Hillman, C. H. (2001). The psychophysiology of sport: A mechanistic understanding of the psychology of superior performance. *Handbook of Sport Psychology*, 5, 243-259.
- Hausdorff, J. M., Balash, J., & Giladi, N. (2003). Effects of cognitive challenge on gait variability in patients with Parkinson's disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 16(1), 53-58.
- Hausdorff, J. M., Edelberg, H. K., Mitchell, S. L., Goldberger, A. L., & Wei, J. Y. (1997). Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly fallers. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 78(3), S. 278-283.
- Hausdorff, J. M., Rios, D. A., & Edelberg, H. K. (2001). Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82(8), 1050-1056.
- Hausdorff, J. M., Yogev, G., Springer, S., Simon, E. S., & Giladi, N. (2005). Walking is more like catching than tapping: gait in the elderly as a complex cognitive task. *Experimental Brain Research*, 164(4), 541-548. doi: 10.1007/s00221-005-2280-3
- Hawkes, C. H., Del Tredici, K., & Braak, H. (2009). Parkinson's disease: the dual hit theory revisited. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1170(1), 615-622.
- Haywood, K., & Getchell, N. (2014). *Life Span Motor Development 6th Edition*. Human kinetics.
- Head, D., Buckner, R. L., Shimony, J. S., Williams, L. E., Akbudak, E., Conturo, T. E., ... & Snyder, A. Z. (2004). Differential vulnerability of anterior white matter in nondemented aging with minimal acceleration in dementia of the Alzheimer type: evidence from diffusion tensor imaging. *Cerebral Cortex*, 14(4), 410-423.
- Hedden, T., & Gabrieli, J. D. (2004). Insights into the ageing mind: a view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews. Neuroscience*, 5(2), 87-96.
- Heinrich, S., Rapp, K., Rissmann, U., Becker, C., & König, H. H. (2010). Cost of falls in old age: a systematic review. *Osteoporosis International*, 21(6), 891-902.
- Heinzel, S., Lorenz, R. C., Brockhaus, W. R., Wüstenberg, T., Kathmann, N., Heinz, A., & Rapp, M. A. (2014). Working memory load-dependent brain response predicts behavioral training gains in older adults. *Journal of Neuroscience*, 34(4), 1224-1233.
- Heinzel, S., Maechtel, M., Hasmann, S. E., Hobert, M. A., Heger, T., Berg, D., & Maetzler, W. (2016). Motor dual-tasking deficits predict falls in Parkinson's disease: a prospective study. *Parkinsonism & Related Disorders*, 26, 73-77.
- Helmholtz, H. von (1925): Physiological optics. *Optical Society of America*, 3, 318.
- Henderson, S. E., Sugden, D. A., & Barnett, A. L. (2007). *Movement assessment battery for children* (2nd ed.). Harcourt Assessment.
- Herman, T., Mirelman, A., Giladi, N., Schweiger, A., & Hausdorff, J. M. (2010). Executive control deficits as a prodrome to falls in healthy older adults: a prospective study linking thinking, walking, and falling. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 65(10), 1086-1092.
- Hertel, G.; Scholl, W. (2006): Grundlagen kooperativer Arbeit. In: B. Zimolong & U. Konradt (Hg.), *Ingenieurpsychologie. Enzyklopädie der Psychologie*, S. 181-216.
- Herting, M. M., & Nagel, B. J. (2012). Aerobic fitness relates to learning on a virtual Morris Water Task and hippocampal volume in adolescents. *Behavioural Brain Research*, 233(2), 517-525.
- Herting, M. M., Colby, J. B., Sowell, E. R., & Nagel, B. J. (2014). White matter connectivity and aerobic fitness in male adolescents. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 7, 65-75.
- Hertzog, C., Kramer, A. F., Wilson, R. S., & Lindenberger, U. (2009). Enrichment effects on adult cognitive development: Can the functional capacity of older adults be preserved and enhanced?. *Psychological Science in the Public Interest*, 9(1), 1-65.

- Hertzog, C., Kramer, A. F., Wilson, R. S., & Lindenberger, U. (2008). Enrichment effects on adult cognitive development: can the functional capacity of older adults be preserved and enhanced?. *Psychological Science in the Public Interest*, 9(1), 1-65.
- Heuer, H., & Wing, A. M. (1984). Doing two things at once: Process limitations and interactions. *Psychology of Human Movement*, 183-213.
- Hickey, F., Hickey, E., & Summar, K. L. (2012). Medical update for children with Down syndrome for the pediatrician and family practitioner. *Advances in Pediatrics*, 59(1), 137-157.
- Higgins, J. P. T., & Green, S. (2014). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* Version 5.1. 0 [updated March 2011]. 2011. The Cochrane Collaboration.
- Higgins, J. P., Thompson, S. G., Deeks, J. J., & Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ*, 327(7414), 557-560.
- Hilden, J., & Glasziou, P. (1996). Regret graphs, diagnostic uncertainty and Youden's Index. *Statistics in Medicine*, 15(10), 969-986.
- Hillman, C. H., Buck, S. M., Themanson, J. R., Pontifex, M. B., & Castelli, D. M. (2009). Aerobic fitness and cognitive development: Event-related brain potential and task performance indices of executive control in preadolescent children. *Developmental Psychology*, 45(1), 114-129.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(1), 58-65.
- Hillman, C. H., Kamijo, K., & Scudder, M. (2011). A review of chronic and acute physical activity participation on neuroelectric measures of brain health and cognition during childhood. *Preventive Medicine*, 52, S21-S28.
- Hinrichs, S. (2008). Experimentalpsychologische Untersuchungen zu Navigationsstrategien unter Berücksichtigung endokrinologischer und physiologischer Variablen (Doctoral Dissertation, Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen).
- Hinton, D. C., & Vallis, L. A. (2015). How do children complete a seated combined cognitive and motor multi-tasking paradigm? *Human Movement Science*, 41, 179-192.
- Hirota, C., Watanabe, M., Sun, W., Tanimoto, Y., Kono, R., Takasaki, K., & Kono, K. (2010). Association between the Trail Making Test and physical performance in elderly Japanese. *Geriatrics & Gerontology International*, 10(1), 40-47.
- Hirst, W., & Kalmar, D. (1987). Characterizing Attentional Resources. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116(1), 68-81.
- Hobson, P., & Meara, J. (1999). The detection of dementia and cognitive impairment in a community population of elderly people with Parkinson's disease by use of the CAMCOG neuropsychological test. *Age and Ageing*, 28(1), 39-43.
- Hocking, D. R., Menant, J. C., Kirk, H. E., Lord, S., & Porter, M. A. (2014). Gait profiles as indicators of domain-specific impairments in executive control across neurodevelopmental disorders. *Research in Developmental Disabilities*, 35(1), 203-214.
- Hofmann, W., Schmeichel, B. J., & Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(3), 174-180.
- Hol, T., Van den Berg, C. L., Van Ree, J. M., & Spruijt, B. M. (1999). Isolation during the play period in infancy decreases adult social interactions in rats. *Behavioural Brain Research*, 100(1-2), 91-97.
- Holfelder, B. (2015). *Zusammenhang zwischen der Entwicklung von motorischen Grundfertigkeiten und exekutiven Funktionen bei Kindern im Grundschulalter*. Kovac, Dr. Verlag.
- Hollman, J. H., Kovash, F. M., Kubik, J. J., & Linbo, R. A. (2007). Age-related differences in spatio-temporal markers of gait stability during dual task walking. *Gait & Posture*, 26(1), 113-119. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.08.005

- Holtzer, R., Verghese, J., Xue, X., & Lipton, R. B. (2006). Cognitive processes related to gait velocity: results from the Einstein Aging Study. *Neuropsychology, 20*(2), 215–223. doi: 10.1037/0894-4105.20.2.215
- Hommel, B., Li, K. Z., & Li, S. C. (2004). Visual search across the life span. *Developmental Psychology, 40*(4), 545-558.
- Horn, J. L., & Cattell, R. B. (1967). Age differences in fluid and crystallized intelligence. *Acta Psychologica, 26*, 107-129.
- Horvat, M., Croce, R., Tomporowski, P., & Barna, M. C. (2013). The influence of dual-task conditions on movement in young adults with and without Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities, 34*(10), 3517-3525.
- Horwitz, J. E., & McCaffrey, R. J. (2008). Effects of a third party observer and anxiety on tests of executive function. *Archives of Clinical Neuropsychology, 23*(4), 409-417.
- Howell, D. R., Osternig, L. R., & Chou, L. S. (2016). Consistency and cost of dual-task gait balance measure in healthy adolescents and young adults. *Gait & Posture, 49*, 176-180. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.07.008
- Hsu, C. L., Nagamatsu, L. S., Davis, J. C., & Liu-Ambrose, T. (2012). Examining the relationship between specific cognitive processes and falls risk in older adults: a systematic review. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA, 23*(10), 2409-2424.
- Hsu, K. E., Man, F. Y., Gizicki, R. A., Feldman, L. S., & Fried, G. M. (2008). Experienced surgeons can do more than one thing at a time: effect of distraction on performance of a simple laparoscopic and cognitive task by experienced and novice surgeons. *Surgical Endoscopy, 22*(1), 196-201.
- Huang, C. M., Polk, T. A., Goh, J. O., & Park, D. C. (2012). Both left and right posterior parietal activations contribute to compensatory processes in normal aging. *Neuropsychologia, 50*(1), 55-66.
- Huang, E. J., & Reichardt, L. F. (2001). Neurotrophins: roles in neuronal development and function. *Annual Review of Neuroscience, 24*(1), 677-736.
- Huang, H. J., Mercer, V. S., & Thorpe, D. E. (2003). Effects of different concurrent cognitive tasks on temporal-distance gait variables in children. *Pediatric Physical Therapy, 15*(2), 105-113.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1977). Ferrier lecture-Functional architecture of macaque monkey visual cortex. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, 198*(1130), 1-59.
- Huedo-Medina, T. B., Sánchez-Meca, J., Marín-Martínez, F., & Botella, J. (2006). Assessing heterogeneity in meta-analysis: Q statistic or I² index?. *Psychological Methods, 11*(2), 193.
- Huether, C. A., Martin, R. L., Stoppelman, S. M., D'Souza, S., Bishop, J. K., Torfs, C. P., ... & Kelly, J. C. (1996). Sex ratios in fetuses and liveborn infants with autosomal aneuploidy. *American Journal of Medical Genetics, 63*(3), 492-500
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia, 44*(11), 2017-2036.
- Humphreys, M. S., & Revelle, W. (1984). Personality, motivation, and performance: a theory of the relationship between individual differences and information processing. *Psychological Review, 91*(2), 153-184.
- Hunter, S. W., Divine, A., Frengopoulos, C., & Odasso, M. M. (2018). A framework for secondary cognitive and motor tasks in dual-task gait testing in people with mild cognitive impairment. *BMC Geriatrics, 18*(1), 202.
- Hunter, W. S. (1913). The delayed reaction in animals and children. *Behavior Monographs, 2*, 1-85.

- Huttenlocher, P. R., & Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *Journal of Comparative Neurology*, 387(2), 167-178.
- Huxhold, O., Li, S. C., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2006). Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Research Bulletin*, 69(3), 294-305.
- Huy, C., & Schneider, S. (2008). Instrument für die Erfassung der physischen Aktivität bei Personen im mittleren und höheren Erwachsenenalter. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 41(3), 208-216.
- Hyde, C. & Wilson P. H. (2013). Impaired online control in children with Developmental Coordination Disorder reflects developmental immaturity. *Developmental Neuropsychology*, 38(2), 81-97.
- Hyndman, D., & Ashburn, A. (2004). "Stops walking when talking" as a predictor of falls in people with stroke living in the community. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 75(7), 994-997.
- Hyong, I. H. (2015). The effects on dynamic balance of dual-tasking using smartphone functions. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(2), 527-529.
- Inouye, S. K., Brown, C. J., & Tinetti, M. E. (2009). Medicare nonpayment, hospital falls, and unintended consequences. *New England Journal of Medicine*, 360(23), 2390-2393.
- Isaacs, L. D., & Pohlman, R. L. (1991). Effects of exercise intensity on an accompanying timing task. *Journal of Human Movement Studies*, 20, 123-131.
- Ivry, R. B. (2003). Cerebellar involvement in clumsiness and other developmental disorders. *Neural Plasticity*, 10(1-2), 141-153.
- James, William (1890): 1950. *The principles of psychology*. New York: Dover.
- Janczyk, M., & Pfister, R. (2013). *Inferenzstatistik verstehen: Von A wie Signifikanztest bis Z wie Konfidenzintervall*. Springer-Verlag.
- Jankovic, J., McDermott, M., Carter, J., Gauthier, S., Goetz, C., Golbe, L., ... & Stern, M. (1990). Variable expression of Parkinson's disease A base-line analysis of the DAT ATOP cohort. *Neurology*, 40(10), 1529-1529.
- Janoutová, J., Serý, O., Hosák, L., & Janout, V. (2015). Is mild cognitive impairment a precursor of Alzheimer's Disease? Short review. *Central European Journal of Public Health*, 23(4), 365-367.
- Jelsma, L. D., Geuze, R. H., Klerks, M. H., Niemeijer, A. S., & Smits-Engelsman, B. C. (2013). The relationship between joint mobility and motor performance in children with and without the diagnosis of developmental coordination disorder. *BMC Pediatrics*, 13(1), 35.
- Jenkins, L., Myerson, J., Hale, S., & Fry, A. F. (1999). Individual and developmental differences in working memory across the life span. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6(1), 28-40.
- Jennings, J. R., Lawrence, B. E., & Kasper, P. (1978). Changes in alertness and processing capacity in a serial learning task. *Memory & Cognition*, 6(1), 43-53.
- Jersild, A. T. (1927): *Mental set and shift*. In: Archives of psychology.
- Jobling, A., & Mon-Williams, M. (2000). Motor development in Down syndrome: a longitudinal perspective. *Perceptual-Motor Behavior in Down Syndrome*, 225-248.
- Johnson, A. P. & Robert, W. (2004): *Attention: Theory and practice*: Sage Publications.
- Jones, H. E., & Conrad, H. S. (1933). The growth and decline of intelligence: a study of a homogeneous group between the ages of ten and sixty. *Genetic Psychology Monographs*, 13, 223-298.
- Jorde, L. B., Carey, J. C., Bamshad, M. J., & White, R. L. (1999). *Medical Genetics*. St. Louis: Mosby.

- Judge, J. O., King, M. B., Whipple, R., Clive, J., & Wolfson, L. I. (1995). Dynamic balance in older persons: effects of reduced visual and proprioceptive input. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 50(5), M263-M270.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort* (Vol. 1063). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kamijo, K., Nishihira, Y., Higashiura, T., & Kuroiwa, K. (2007). The interactive effect of exercise intensity and task difficulty on human cognitive processing. *International Journal of Psychophysiology*, 65(2), 114-121.
- Kang, G. A., Bronstein, J. M., Masterman, D. L., Redelings, M., Crum, J. A., & Ritz, B. (2005). Clinical characteristics in early Parkinson's disease in a central California population-based study. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 20(9), 1133-1142.
- Kaplan, B., Crawford, S., Cantell, M., Kooistra, L., & Dewey, D. (2006). Comorbidity, co-occurrence, continuum: what's in a name? *Child: Care, Health and Development*, 32(6), 723-731.
- Karlamangla, A. S., Miller-Martinez, D., Aneshensel, C. S., Seeman, T. E., Wight, R. G., & Chodosh, J. (2009). Trajectories of cognitive function in late life in the United States: demographic and socioeconomic predictors. *American Journal of Epidemiology*, 170(3), 331-342.
- Kastner, J. (2011). *Movement assessment battery for children-2 (Movement ABC-2)*. F. Petermann (Ed.). Pearson Assessment.
- Katz, L. C., & Shatz, C. J. (1996). Synaptic activity and the construction of cortical circuits. *Science*, 274(5290), 1133-1138.
- Kawato, M., & Wolpert, D. (1998). Internal models for motor control. *Sensory Guidance of Movement*, 218, 291-307.
- Kearney, F. C., Harwood, R. H., Gladman, J. R., Lincoln, N., & Masud, T. (2013). The relationship between executive function and falls and gait abnormalities in older adults: a systematic review. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 36(1-2), 20-35.
- Kehagia, A. A., Barker, R. A., & Robbins, T. W. (2010). Neuropsychological and clinical heterogeneity of cognitive impairment and dementia in patients with Parkinson's disease. *The Lancet Neurology*, 9(12), 1200-1213.
- Kelly, V. E., & Shumway-Cook, A. (2014). The ability of people with Parkinson's disease to modify dual-task performance in response to instructions during simple and complex walking tasks. *Experimental Brain Research*, 232(1), 263-271.
- Kelly, V. E., Eusterbrock, A. J., & Shumway-Cook, A. (2012). A review of dual-task walking deficits in people with Parkinson's disease: motor and cognitive contributions, mechanisms, and clinical implications. *Parkinson's Disease*, 2012(918719), 1-14.
- Kelly, V. E., Janke, A. A., & Shumway-cook, A. (2010). effects of instructed focus and task difficulty on concurrent walking and cognitive task performance in healthy young adults. *Experimental Brain Research*, 207(1), 65-73.
- Kelso, J. A. S., & Schöner, G. (1987). Toward a physical (synergetic) theory of biological coordination. In *Lasers and Synergetics* (pp. 224-237). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kempermann, G. (2008). The neurogenic reserve hypothesis: what is adult hippocampal neurogenesis good for?. *Trends in Neurosciences*, 31(4), 163-169.
- Kenny, R. A., Coen, R. F., Frewen, J., Donoghue, O. A., Cronin, H., & Savva, G. M. (2013). Normative values of cognitive and physical function in older adults: findings from the Irish Longitudinal Study on Ageing. *Journal of the American Geriatrics Society*, 61, S279-S290.
- Kerr, B., Condon, S. M., & McDonald, L. A. (1985). Cognitive spatial processing and the regulation of posture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11(5), 617.

- Keuroghlian, A. S., & Knudsen, E. I. (2007). Adaptive auditory plasticity in developing and adult animals. *Progress in Neurobiology*, 82(3), 109-121.
- Keuroghlian, A. S., & Knudsen, E. I. (2007). Adaptive auditory plasticity in developing and adult animals. *Progress in Neurobiology*, 82(3), 109-121.
- Khan, N. A., & Hillman, C. H. (2014). The relation of childhood physical activity and aerobic fitness to brain function and cognition: a review. *Pediatric Exercise Science*, 26(2), 138-146.
- Kikkert, L. H., Vuillerme, N., van Campen, J. P., Hortobagyi, T., & Lamoth, C. J. (2016). Walking ability to predict future cognitive decline in old adults: a scoping review. *Ageing Research Reviews*, 27, 1-14.
- Killane, I., Donoghue, O. A., Savva, G. M., Cronin, H., Kenny, R. A., & Reilly, R. B. (2014). Relative association of processing speed, short-term memory and sustained attention with task on gait speed: a study of community-dwelling people 50 years and older. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 69(11), 1407-1414.
- Kirchhoff, B. A., Anderson, B. A., Smith, S. E., Barch, D. M., & Jacoby, L. L. (2012). Cognitive training-related changes in hippocampal activity associated with recollection in older adults. *NeuroImage*, 62(3), 1956-1964.
- Kittler, P. M., Krinsky-McHale, S. J., & Devenny, D. A. (2008). Dual-task processing as a measure of executive function: a comparison between adults with Williams and Down syndromes. *American Journal on Mental Retardation*, 113(2), 117-132.
- Kizony, R., Levin, M. F., Hughey, L., Perez, C., & Fung, J. (2010). Cognitive load and dual-task performance during locomotion poststroke: a feasibility study using a functional virtual environment. *Physical Therapy*, 90(2), 252-260.
- Klapp, S. T. (1979). Doing two things at once: The role of temporal compatibility. *Memory & Cognition*, 7(5), 375-381.
- Kline, Paul (2014): The new psychometrics: Science, psychology and measurement. New York: Routledge.
- Klingberg T. (2000). Limitations in information processing in the human brain: neuroimaging of dual task performance and working memory tasks. *Progress in Brain Research*, 126, 95-102.
- Klotzbier, T. J., & Schott, N. (2017). Cognitive-motor interference during walking in older adults with probable mild cognitive impairment. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9, 350. doi: 10.3389/fnagi.2017.00350
- Klusman, L. E., Cripe, L. I., & Dodrill, C. B. (1989). Analysis of errors on the Trail Making Test. *Perceptual and Motor Skills*, 68(3), 1199-1204.
- Knudsen, E. I. (2004). Sensitive periods in the development of the brain and behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(8), 1412-1425
- Koch, I. (2008). Mechanismen der Interferenz in Doppelaufgaben. *Psychologische Rundschau*, 59(1), 24-32.
- Koch, I., Keller, P., & Prinz, W. (2004). The ideomotor approach to action control: Implications for skilled performance. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2(4), 362-375.
- Koch, U., & Broich, K. (2012). Das Burn-out-Syndrom. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*, 2(55), 161-163.
- Kohlberg, L. (1968). Early education: A cognitive-developmental view. *Child Development*, 1013-1062.
- Köster, E. P., Degel, J., & Piper, D. (2002). Proactive and retroactive interference in implicit odor memory. *Chemical Senses*, 27(3), 191-206.

- Kraan, C. M., Tan, A. H. J., & Cornish, K. M. (2017). The developmental dynamics of gait maturation with a focus on spatiotemporal measures. *Gait & Posture*, *51*, 208-217. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2016.10.021
- Kramer, A. F., & Hillman, C. H. (2006). Aging, physical activity, and neurocognitive function. *Psychobiology of Physical Activity*, *45*, 59.
- Kramer, A. F., & Willis, S. L. (2003). Cognitive plasticity and aging. *Psychology of Learning and Motivation*, *43*, 267-302.
- Kramer, A. F., Bherer, L., Colcombe, S. J., Dong, W., & Greenough, W. T. (2004). Environmental influences on cognitive and brain plasticity during aging. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *59*(9), M940-M957.
- Krampe, R. T., Schaefer, S., Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (2011). Lifespan changes in multi-tasking: concurrent walking and memory search in children, young, and older adults. *Gait & Posture*, *33*(3), 401-405. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.12.012.
- Kray, J., & Lindenberger, U. (2000). Adult age differences in task switching. *Psychology and Aging*, *15*(1), 126-147.
- Krebs, D. E., Goldvasser, D., Lockert, J. D., Portney, L. G., & Gill-Body, K. M. (2002). Is base of support greater in unsteady gait?. *Physical Therapy*, *82*(2), 138-147.
- Kressig, R. W., Herrmann, F. R., Grandjean, R., Michel, J. P., & Beauchet, O. (2008). Gait variability while dual-tasking: fall predictor in older inpatients?. *Aging Clinical and Experimental Research*, *20*(2), 123-130.
- Kubo, M., & Ulrich, B. (2006). Coordination of pelvis-HAT (head, arms and trunk) in anterior-posterior and medio-lateral directions during treadmill gait in preadolescents with/without Down syndrome. *Gait & Posture*, *23*(4), 512-518. doi: 10.1016/j.gaitpost.2005.06.007
- Kugler, P. N., Kelso, J. S., & Turvey, M. T. (1980). On the concept of coordinative structures as dissipative structures: I. Theoretical lines of convergence. *Advances in Psychology*, *1*, 3-47.
- La Fougere, C., Zwergal, A., Rominger, A., Förster, S., Fesl, G., Dieterich, M., ... & Jahn, K. (2010). Real versus imagined locomotion: a [18F]-FDG PET-fMRI comparison. *Neuroimage*, *50*(4), 1589-1598.
- Lackner, J. R., & DiZio, P. (1988). Visual stimulation affects the perception of voluntary leg movements during walking. *Perception*, *17*(1), 71-80.
- Lacour, M., Bernard-Demanze, L., & Dumitrescu, M. (2008). Posture control, aging, and attention resources: models and posture-analysis methods. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, *38*(6), 411-421.
- Lajoie, Y., Teasdale, N., Bard, C., & Fleury, M. (1993). Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Experimental Brain Research*, *97*(1), 139-144.
- Lam, M. Y., Hodges, N. J., Virji-Babul, N., & Latash, M. L. (2009). Evidence for slowing as a function of index of difficulty in young adults with Down syndrome. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, *114*(6), 411-426.
- Landau, S. M., Marks, S. M., Mormino, E. C., Rabinovici, G. D., Oh, H., O'neil, J. P., ... & Jagust, W. J. (2012). Association of lifetime cognitive engagement and low β -amyloid deposition. *Archives of Neurology*, *69*(5), 623-629.
- Landers, D. M. (1980). The arousal-performance relationship revisited. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *51*(1), 77-90.
- Landers, D. M. (1981). Arousal, attention, and skilled performance: Further considerations. *Quest*, *33*(2), 271-283.
- Landers, D. M., Qi, W. M., & Courtet, P. (1985). Peripheral narrowing among experienced and inexperienced rifle shooters under low-and high-stress conditions. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *56*(2), 122-130.

- Lanfranchi, S., Baddeley, A., Gathercole, S., & Vianello, R. (2012). Working memory in Down syndrome: is there a dual task deficit?. *Journal of Intellectual Disability Research*, 56(2), 157-166.
- Lanfranchi, S., Berteletti, I., Torrisi, E., Vianello, R., & Zorzi, M. (2015). Numerical estimation in individuals with Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities*, 36, 222-229.
- Lanfranchi, S., De Mori, L., Mammarella, I. C., Carretti, B., & Vianello, R. (2015). Spatial-sequential and spatial-simultaneous working memory in individuals with Williams Syndrome. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, 120(3), 193-202.
- Lanfranchi, S., Jerman, O., Dal Pont, E., Alberti, A., & Vianello, R. (2010). Executive function in adolescents with Down syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, 54(4), 308-319.
- Lange, B. P., & Schwarz, S. (2015). Verhalten und Erleben im Spannungsfeld von Kultur und Natur. *Die menschliche Psyche zwischen Natur und Kultur*, 10-17.
- Lantrip, C., Isquith, P. K., Koven, N. S., Welsh, K., & Roth, R. M. (2016). Executive function and emotion regulation strategy use in adolescents. *Applied Neuropsychology: Child*, 5(1), 50-55.
- LaPointe, L. L., Stierwalt, J. A., & Maitland, C. G. (2010). Talking while walking: Cognitive loading and injurious falls in Parkinson's disease. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 12(5), 455-459.
- Latash, M. L. (2007). Learning motor synergies by persons with Down syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, 51(12), 962-971.
- Laufer, Y., Ashkenazi, T., & Josman, N. (2008). The effects of a concurrent cognitive task on the postural control of young children with and without developmental coordination disorder. *Gait & Posture*, 27(2), 347-351. doi: 10.1016/j.gaitpost.2007.04.013
- Launer, L. J., Berger, K., Breteler, M. M., Dartigues, J. F., Baldereschi, M., Fratiglioni, L., ... & Hofman, A. (2000). Prevalence of Parkinson's disease in Europe: A collaborative study of population-based cohorts. *Neurology*, 54(11), S21-S23.
- Lautenslager, P. (2004). *Children with Down's syndrome. Motor development and intervention*. Amesfoort, the Netherlands: 's Heeren Loo Zorggroep.
- Lavenex, P. B., Bostelmann, M., Brandner, C., Costanzo, F., Fragnière, E., Klencklen, G., ... & Vicari, S. (2015). Allocentric spatial learning and memory deficits in Down syndrome. *Frontiers in Psychology*, 6, 62. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00062
- 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), 1130-1137.
- Lawson, G. M., & Farah, M. J. (2017). Executive function as a mediator between SES and academic achievement throughout childhood. *International Journal of Behavioral Development*, 41(1), 94-104.
- Leavitt, J. L. (1979). Cognitive demands of skating and stickhandling in ice hockey. *Canadian journal of applied sport sciences. Journal Canadien des Sciences Appliquees au Sport*, 4(1), 46-55.
- Lebouvier, T., Tasselli, M., Paillusson, S., Pouclet, H., Neunlist, M., & Derkinderen, P. (2010). Bi-opsable neural tissues: toward new biomarkers for Parkinson's disease?. *Frontiers in Psychiatry*, 1, 128. doi: 10.3389/fpsy.2010.00128
- Lee, D. K., Cole, W. G., Golenia, L., & Adolph, K. E. (2018). The cost of simplifying complex developmental phenomena: a new perspective on learning to walk. *Developmental Science*, 21(4), e12615.
- Lee, N. R., Wallace, G. L., Raznahan, A., Clasen, L. S., & Giedd, J. N. (2014). Trail making test performance in youth varies as a function of anatomical coupling between the prefrontal cortex and distributed cortical regions. *Frontiers in Psychology*, 5, 496. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00496

- Lee, T. D., & Magill, R. A. (1983). The Locus of Contextual Interference in Motor-Skill Acquisition. *Learning, Memory*, 9(4), 730-746.
- Lejeune, J. T. R. G. M., Turpin, R., & Gautier, M. (1959). Le mongolisme, premier exemple d'aberration autosomique humaine. *Annales de Génétique*, 1(4), 1-49.
- Lejeune, J., Gautier, M., & Turpin, R. (1959). The chromosomes of man. *The Lancet*, 273(7078), 885-886.
- Lenhard, A., Lenhard, W., Segerer, R., & Suggate, S. (2015). *Peabody picture vocabulary test-4*. Ausgabe: Deutsche Fassung.
- Leone, C., Feys, P., Moumdjian, L., D'Amico, E., Zappia, M., & Patti, F. (2017). Cognitive-motor dual-task interference: a systematic review of neural correlates. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 75, 348-360.
- Lerche, S., Seppi, K., Behnke, S., Liepelt-Scarfone, I., Godau, J., Mahlknecht, P., ... & Wurster, I. (2014). Risk factors and prodromal markers and the development of Parkinson's disease. *Journal of Neurology*, 261(1), 180-187.
- Leverenz, J. B., Quinn, J. F., Zabetian, C., Zhang, J., Montine, K. S., & Montine, T. J. (2009). Cognitive impairment and dementia in patients with Parkinson disease. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 9(10), 903-912.
- Li, K. Z., Krampe, R. T., & Bondar, A. (2005). An ecological approach to studying aging and dual-task performance. *Cognitive Limitations in Aging and Psychopathology*, 190-218.
- Li, K. Z., Lindenberger, U., Freund, A. M., & Baltes, P. B. (2001). Walking while memorizing: Age-related differences in compensatory behavior. *Psychological Science*, 12(3), 230-237.
- Liepelt, R., Strobach, T., Frensch, P., & Schubert, T. (2011). Improved intertask coordination after extensive dual-task practice. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(7), 1251-1272.
- Lim, J. S., Hwang, J. S., Lee, J. A., Kim, D. H., Park, K. D., Jeong, J. S., & Cheon, G. J. (2009). Cross-calibration of multi-frequency bioelectrical impedance analysis with eight-point tactile electrodes and dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in healthy children aged 6–18 years. *Pediatrics International*, 51(2), 263-268.
- Linden, D. E. (2005). The P300: where in the brain is it produced and what does it tell us?. *The Neuroscientist*, 11(6), 563-576.
- Lindenberger, U., Marsiske, M., & Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging*, 15(3), 417-436.
- Lippens, V.; Schröder, J. (2006): *Wenn schon, denn schon! Zentrale Ressourcen oder funktionale Integration von supra-posturalen Aufgaben beim Balancieren?* In Kibele, A. (Hg.): *Unbewusste Handlungssteuerung im Sport*. Schorndorf: Hofmann, S.177-188.
- Lister, J. J., Bush, A. L. H., Andel, R., Matthews, C., Morgan, D., & Edwards, J. D. (2016). Cortical auditory evoked responses of older adults with and without probable mild cognitive impairment. *Clinical Neurophysiology*, 127(2), 1279-1287.
- Liu, C. C., Kanekiyo, T., Xu, H., & Bu, G. (2013). Apolipoprotein E and Alzheimer disease: risk, mechanisms and therapy. *Nature Reviews Neurology*, 9(2), 106–118. doi: 10.1038/nrneurol.2012.263.
- Liu-Ambrose, T. Y., Ashe, M. C., Graf, P., Beattie, B. L., & Khan, K. M. (2008). Increased risk of falling in older community-dwelling women with mild cognitive impairment. *Physical Therapy*, 88(12), 1482-1491.
- Liu-Ambrose, T., Donaldson, M. G., Ahamed, Y., Graf, P., Cook, W. L., Close, J., ... & Khan, K. M. (2008). Otago home-based strength and balance retraining improves executive functioning in older fallers: a randomized controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 56(10), 1821-1830.

- Livesey, D., Keen, J., Rouse, J., & White, F. (2006). The relationship between measures of executive function, motor performance and externalising behaviour in 5-and 6-year-old children. *Human Movement Science, 25*(1), 50-64.
- Llerena, L. E., Aronow, K. V., Macleod, J., Bard, M., Salzman, S., Greene, W., ... & Schupper, A. (2015). An evidence-based review: distracted driver. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 78*(1), 147-152.
- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review, 95*(4), 492-527.
- Logan, G. D. (1997). Automaticity and reading: Perspectives from the instance theory of automatization. *Reading & Writing Quarterly: Overcoming Learning Difficulties, 13*(2), 123-146.
- Logan, G. D. (2002). An instance theory of attention and memory. *Psychological Review, 109*(2), 376-400.
- Lohmann-Haislah, A. (2012). *Stressreport Deutschland 2012. Psychische Anforderungen, Ressourcen und Befinden, BAuA (Hrsg.), Dortmund, Berlin, Dresden 2012.*
- Lonie, J. A., Tierney, K. M., & Ebmeier, K. P. (2009). Screening for mild cognitive impairment: a systematic review. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 24*(9), 902-915.
- Lord, S. R., Menz, H. B., & Tiedemann, A. (2003). A physiological profile approach to falls risk assessment and prevention. *Physical Therapy, 83*(3), 237-252.
- Lord, S., Baker, K., Nieuwboer, A., Burn, D., & Rochester, L. (2011). Gait variability in Parkinson's disease: an indicator of non-dopaminergic contributors to gait dysfunction?. *Journal of Neurology, 258*(4), 566-572.
- Lord, S., Rochester, L., Hetherington, V., Allcock, L. M., & Burn, D. (2010). Executive dysfunction and attention contribute to gait interference in 'off' state Parkinson's Disease. *Gait & Posture, 31*(2), 169-174. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.09.019
- Louis, E. D., & Bennett, D. A. (2007). Mild Parkinsonian signs: An overview of an emerging concept. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society, 22*(12), 1681-1688.
- Lövdén, M., Bodammer, N. C., Kühn, S., Kaufmann, J., Schütze, H., Tempelmann, C., ... & Lindenberger, U. (2010). Experience-dependent plasticity of white-matter microstructure extends into old age. *Neuropsychologia, 48*(13), 3878-3883.
- Lowry, K. A., Brach, J. S., Nebes, R. D., Studenski, S. A., & VanSwearingen, J. M. (2012). Contributions of cognitive function to straight-and curved-path walking in older adults. *Archives of physical Medicine and Rehabilitation, 93*(5), 802-807.
- Lund, N. (2001). *Attention and Pattern Recognition*. Psychology Press.
- Lundin-Olsson, L., Nyberg, L., & Gustafson, Y. (1997). " Stops walking when talking" as a predictor of falls in elderly people. *The Lancet, 349*(9052), 617.
- Lundin-Olsson, L., Nyberg, L., & Gustafson, Y. (1998). Attention, frailty, and falls: the effect of a manual task on basic mobility. *Journal of the American Geriatrics Society, 46*(6), 758-761.
- Lundin-Olsson, L., Nyberg, L., & Gustafson, Y. (2000). The mobility interaction fall chart. *Physiotherapy Research International, 5*(3), 190-201
- Lustig, C., Shah, P., Seidler, R., & Reuter-Lorenz, P. A. (2009). Aging, training, and the brain: a review and future directions. *Neuropsychology Review, 19*(4), 504-522.
- Lustig, C.; Reuter-Lorenz, P. A. (2012): Training working memory: Insights from Neuroimaging. In: Working Memory: The New Intelligence.
- Lydic, J. S., & Steele, C. (1979). Assessment of the quality of sitting and gait patterns in children with Down's syndrome. *Physical Therapy, 59*(12), 1489-1494.

- Määttä, T., Kaski, M., Taanila, A., Keinänen-Kiukaanniemi, S., & Iivanainen, M. (2006). Sensory impairments and health concerns related to the degree of intellectual disability in people with Down syndrome. *Down Syndrome Research and Practice*, 11(2), 78-83.
- MacAulay, R. K., Wagner, M. T., Szeles, D., & Milano, N. J. (2017). Improving Sensitivity to Detect Mild Cognitive Impairment: Cognitive Load Dual-Task Gait Speed Assessment. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 23(6), 493-501. doi: 10.1017/S1355617717000261.
- MacDonald, B. K., Cockerell, O. C., Sander, J. W. A. S., & Shorvon, S. D. (2000). The incidence and lifetime prevalence of neurological disorders in a prospective community-based study in the UK. *Brain*, 123(4), 665-676.
- Madden, D. J., Blumenthal, J. A., Allen, P. A., & Emery, C. F. (1989). Improving aerobic capacity in healthy older adults does not necessarily lead to improved cognitive performance. *Psychology and Aging*, 4(3), 307-320.
- Maetzler, W., & Hausdorff, J. M. (2012). Motor signs in the prodromal phase of Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 27(5), 627-633.
- Magill, R. A., & Anderson, D. I. (2007). *Motor learning and control: Concepts and applications* (Vol. 11). New York: McGraw-Hill.
- Maidan, I., Rosenberg-Katz, K., Jacob, Y., Giladi, N., Deutsch, J. E., Hausdorff, J. M., & Mirelman, A. (2016). Altered brain activation in complex walking conditions in patients with Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 25, 91-96.
- Maillet, D., & Rajah, M. N. (2013). Association between prefrontal activity and volume change in prefrontal and medial temporal lobes in aging and dementia: a review. *Ageing Research Reviews*, 12(2), 479-489.
- Mak, M. K., Wong, A., & Pang, M. Y. (2014). Impaired executive function can predict recurrent falls in Parkinson's disease. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(12), 2390-2395.
- Maki, B. E. (1997). Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear?. *Journal of the American Geriatrics Society*, 45(3), 313-320.
- Malak, R., Kostiukow, A., Krawczyk-Wasielewska, A., Mojs, E., & Samborski, W. (2015). Delays in motor development in children with Down syndrome. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 21, 1904-1910.
- Mancini, M., Horak, F. B., Zampieri, C., Carlson-Kuhta, P., Nutt, J. G., & Chiari, L. (2011). Trunk accelerometry reveals postural instability in untreated Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 17(7), 557-562.
- Manckoundia, P., Pfitzenmeyer, P., d'Athis, P., Dubost, V., & Mourey, F. (2006). Impact of cognitive task on the posture of elderly subjects with Alzheimer's disease compared to healthy elderly subjects. *Movement Disorders*, 21(2), 236-241. doi: 10.1002/mds.20649
- Manzey, D. (1988). *Determinanten der Aufgabeninterferenz bei Doppeltätigkeiten und ressourcen-theoretische Modellvorstellungen in der kognitiven Psychologieressourcentheoretische Modellvorstellungen in der kognitiven Psychologie*. Wiss. Berichtswesen d. DFVLR.
- Manzey, D. (1993). Doppelaufgabeninterferenz: Neue theoretische und methodische Perspektiven für ein altes Paradigma. *Aufmerksamkeit und Automatisierung in der Sportmotorik*, 79-96.
- Maquet, D., Lekeu, F., Warzee, E., Gillain, S., Wojtasik, V., Salmon, E., ... & Croisier, J. L. (2010). Gait analysis in elderly adult patients with mild cognitive impairment and patients with mild Alzheimer's disease: simple versus dual task: a preliminary report. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 30(1), 51-56.
- Marchal, J. P., Maurice-Stam, H., Houtzager, B. A., van Rozenburg-Marres, S. L. R., Oostrom, K. J., Grootenhuys, M. A., & van Trotsenburg, A. P. (2016). Growing up with Down syndrome: Development from 6 months to 10.7 years. *Research in Developmental Disabilities*, 59, 437-450.

- Marchese, R., Bove, M., & Abbruzzese, G. (2003). Effect of cognitive and motor tasks on postural stability in Parkinson's disease: a posturographic study. *Movement Disorders, 18*(6), 652-658.
- Mathis, A., Schunck, T., Erb, G., Namer, I. J., & Luthringer, R. (2009). The effect of aging on the inhibitory function in middle-aged subjects: a functional MRI study coupled with a color-matched Stroop task. *International Journal of Geriatric Psychiatry: A Journal of the Psychiatry of Late Life and Allied Sciences, 24*(10), 1062-1071.
- Maylor, E. A. (1998). Changes in event-based prospective memory across adulthood. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 5*(2), 107-128.
- Mayr, U. (2001). Age differences in the selection of mental sets: the role of inhibition, stimulus ambiguity, and response-set overlap. *Psychology and Aging, 16*(1), 96-109.
- Mazaheri, M., Roerdink, M., Bood, R. J., Duysens, J., Beek, P. J., & Peper, C. L. E. (2014). Attentional costs of visually guided walking: effects of age, executive function and stepping-task demands. *Gait & Posture, 40*(1), 182-186. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.03.183
- Mazzá, C., Zok, M., & Cappozzo, A. (2010). Head stabilization in children of both genders during level walking. *Gait & Posture, 31*(4), 429-432. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.01.012.
- McEwen, B. S. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation: central role of the brain. *Physiological Reviews, 87*(3), 873-904.
- McFarland, C. P., & Glisky, E. L. (2009). Frontal lobe involvement in a task of time-based prospective memory. *Neuropsychologia, 47*(7), 1660-1669.
- McIntosh, A. R., Sekuler, A. B., Penpeci, C., Rajah, M. N., Grady, C. L., Sekuler, R., & Bennett, P. J. (1999). Recruitment of unique neural systems to support visual memory in normal aging. *Current Biology, 9*, 1275-1278.
- Mclsaac, T. L., Lamberg, E. M., & Muratori, L. M. (2015). Building a framework for a dual task taxonomy. *BioMed Research International, 5*, 91475.
- McMorris, T., & Graydon, J. (2000). The effect of incremental exercise on cognitive performance. *International Journal of Sport Psychology, 31*(1), 66-81.
- McNevin, N. H., & Wulf, G. (2002). Attentional focus on supra-postural tasks affects postural control. *Human Movement Science, 21*(2), 187-202.
- Meegan, S., Maraj, B., Weeks, D., & Chua, R. (2006). Gross motor skill acquisition in adolescents with Down syndrome. *Down Syndrome Research and Practice, 9*(3), 75-80.
- Meinzer, M., Lindenbergh, R., Antonenko, D., Fleisch, T., & Flöel, A. (2013). Anodal transcranial direct current stimulation temporarily reverses age-associated cognitive decline and functional brain activity changes. *Journal of Neuroscience, 33*(30), 12470-12478. doi: 10.1523/JNEUROSCI.5743-12.2013.
- Melyn, M. A., & White, D. T. (1973). Mental and developmental milestones of noninstitutionalized Down's syndrome children. *Pediatrics, 52*(4), 542-545.
- Menant, J. C., Schoene, D., Sarofim, M., & Lord, S. R. (2014). Single and dual task tests of gait speed are equivalent in the prediction of falls in older people: a systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews, 16*, 83-104.
- Menant, J. C., Sturnieks, D. L., Brodie, M. A., Smith, S. T., & Lord, S. R. (2014). Visuospatial tasks affect locomotor control more than nonspatial tasks in older people. *PloS ONE, 9*(10), e109802.
- Merrill, E. C., & Peacock, M. (1994). Allocation of attention and task difficulty. *American journal on mental retardation, 98*(5), 588-593.
- Mielke, M. M., Haughey, N. J., Bandaru, V. V., Zetterberg, H., Blennow, K., Andreasson, U., ... & Sager, M. A. (2014). Cerebrospinal fluid sphingolipids, β -amyloid, and tau in adults at risk for Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging, 35*(11), 2486-2494.

- Mielke, M. M., Roberts, R. O., Savica, R., Cha, R., Drubach, D. I., Christianson, T., ... & Knopman, D. S. (2012). Assessing the temporal relationship between cognition and gait: slow gait predicts cognitive decline in the Mayo Clinic Study of Aging. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 68(8), 929-937.
- Mirelman, A., Bernad-Elazari, H., Thaler, A., Giladi-Yacobi, E., Gurevich, T., Gana-Weisz, M., ... & Marder, K. S. (2016). Arm swing as a potential new prodromal marker of Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 31(10), 1527-1534.
- Mitchell, T. W., Mufson, E. J., Schneider, J. A., Cochran, E. J., Nissanov, J., Han, L. Y., ... & Arnold, S. E. (2002). Parahippocampal tau pathology in healthy aging, mild cognitive impairment, and early Alzheimer's disease. *Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society*, 51(2), 182-189.
- Mitra, S., Knight, A., & Munn, A. (2013). Divergent effects of cognitive load on quiet stance and task-linked postural coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(2), 323-328.
- 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.
- Montero-Odasso, M. M., Barnes, B., Speechley, M., Muir Hunter, S. W., Doherty, T. J., Duque, G., ... & Camicioli, R. (2016). Disentangling cognitive-frailty: results from the gait and brain study. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 71(11), 1476-1482.
- Montero-Odasso, M., Bergman, H., Phillips, N. A., Wong, C. H., Sourial, N., & Chertkow, H. (2009a). Dual-tasking and gait in people with mild cognitive impairment. The effect of working memory. *BMC Geriatrics*, 9, 41. doi: 10.1186/1471-2318-9-41
- Montero-Odasso, M., Casas, A., Hansen, K. T., Bilski, P., Gutmanis, I., Wells, J. L., & Borrie, M. J. (2009b). Quantitative gait analysis under dual-task in older people with mild cognitive impairment: a reliability study. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 6(1), 35.
- Montero-Odasso, M., Muir, S. W., & Speechley, M. (2012). Dual-task complexity affects gait in people with mild cognitive impairment: the interplay between gait variability, dual tasking, and risk of falls. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(2), 293-299.
- Montero-Odasso, M., Oteng-Amoako, A., Speechley, M., Gopaul, K., Beauchet, O., Annweiler, C., & Muir-Hunter, S. W. (2014). The motor signature of mild cognitive impairment: results from the gait and brain study. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 69(11), 1415-1421.
- Montero-Odasso, M., Schapira, M., Soriano, E. R., Varela, M., Kaplan, R., Camera, L. A., & Mayorga, L. M. (2005). Gait velocity as a single predictor of adverse events in healthy seniors aged 75 years and older. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 60(10), 1304-1309.
- Montero-Odasso, M., Speechley, M., Muir-Hunter, S. W., Sarquis-Adamson, Y., Sposato, L. A., Hachinski, V., ... & Bherer, L. (2018). Motor and cognitive trajectories before dementia: Results from Gait and Brain Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 66(9), 1676-1683
- Montero-Odasso, M., Verghese, J., Beauchet, O., & Hausdorff, J. M. (2012). Gait and cognition: a complementary approach to understanding brain function and the risk of falling. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(11), 2127-2136. doi: 10.1111/j.1532-5415.2012.04209.x
- Montero-Odasso, M., Verghese, J., Beauchet, O., & Hausdorff, J. M. (2012). Gait and cognition: a complementary approach to understanding brain function and the risk of falling. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(11), 2127-2136.
- Moray, N. (1967). Where is capacity limited? A survey and a model. *Acta Psychologica*, 27, 84-92.

- Moreau, D., & Conway, A. R. (2013). Cognitive enhancement: a comparative review of computerized and athletic training programs. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 6(1), 155-183.
- Moriguchi, Y. (2014). The early development of executive function and its relation to social interaction: a brief review. *Frontiers in Psychology*, 5, 388. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00388
- Morris, J. K., Mutton, D. E., & Alberman, E. (2002). Revised estimates of the maternal age specific live birth prevalence of Down's syndrome. *Journal of Medical Screening*, 9(1), 2-6.
- Morris, M. E., Iansek, R., Matyas, T. A., & Summers, J. J. (1996). Stride length regulation in Parkinson's disease: normalization strategies and underlying mechanisms. *Brain*, 119(2), 551-568.
- Morris, M., Iansek, R., Smithson, F., & Huxham, F. (2000). Postural instability in Parkinson's disease: a comparison with and without a concurrent task. *Gait & Posture*, 12(3), 205-216. doi: 10.1016/S0966-6362(00)00076-X
- Morrison, S. C., Ferrari, J., & Smillie, S. (2012) Are spatio-temporal gait characteristics reliable outcome measures in children with Developmental Coordination Disorder? *Pediatric Physical Therapy*, 24(1), 46 – 50.
- Morrison, S. C., Ferrari, J., & Smillie, S. (2012). Are spatiotemporal gait characteristics reliable outcome measures in children with developmental coordination disorder?. *Pediatric Physical Therapy*, 24(1), 46-50.
- Morton, S. M., & Bastian, A. J. (2003). Relative contributions of balance and voluntary leg-coordination deficits to cerebellar gait ataxia. *Journal of Neurophysiology*, 89(4), 1844-1856.
- Moscovitch M., & Winocur, G. (1992). The neuropsychology of memory and aging. In T. A. Salthouse & F. I. M. Craik, (Eds.). *The Handbook of Aging and Cognition* (pp. 315-372). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Moseley, M. (2002). Diffusion tensor imaging and aging—a review. *NMR in Biomedicine: An International Journal Devoted to the Development and Application of Magnetic Resonance In Vivo*, 15(7-8), 553-560.
- Moss, S. J., & Cxyz, S. H. (2018). Level of agreement between physical activity levels measured by ActiHeart and the International Physical Activity Questionnaire in persons with intellectual disability. *Disability and Rehabilitation*, 40(3), 360-366.
- Movement Disorder Society Task Force on Rating Scales for Parkinson's Disease. (2003). The unified Parkinson's disease rating scale (UPDRS): status and recommendations. *Movement Disorders*, 18(7), 738-750.
- Muir, S. W., Gopaul, K., & Montero Odasso, M. M. (2012). The role of cognitive impairment in fall risk among older adults: a systematic review and meta-analysis. *Age and Ageing*, 41(3), 299-308.
- Muir, S. W., Speechley, M., Wells, J., Borrie, M., Gopaul, K., & Montero-Odasso, M. (2012). Gait assessment in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: the effect of dual-task challenges across the cognitive spectrum. *Gait & Posture*, 35(1), 96-100. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.08.014.
- Muir-Hunter, S. W., & Wittwer, J. E. (2016). Dual-task testing to predict falls in community-dwelling older adults: a systematic review. *Physiotherapy*, 102(1), 29-40.
- Krummenacher, J., & Müller, H. (2017). Aufmerksamkeit. In *Allgemeine Psychologie*, (pp. 103-151). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Müller, U., & Kerns, K. (2015). The Development of Executive Function. *Handbook of Child Psychology and Developmental Science*, 1-53.
- Murrell, F. H. (1970). The effect of extensive practice on age differences in reaction time. *Journal of Gerontology*, 25(3), 268-274.

- Musil, C. M., Warner, C. B., Yobas, P. K., & Jones, S. L. (2002). A comparison of imputation techniques for handling missing data. *Western Journal of Nursing Research, 24*(7), 815-829.
- Muslimović, D., Schmand, B., Speelman, J. D., & De Haan, R. J. (2007). Course of cognitive decline in Parkinson's disease: a meta-analysis. *Journal of the International Neuropsychological Society, 13*(6), 920-932.
- Myers, A. M., Fletcher, P. C., Myers, A. H., & Sherk, W. (1998). Discriminative and evaluative properties of the activities-specific balance confidence (ABC) scale. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 53*(4), M287-M294.
- Myers, A. M., Fletcher, P. C., Myers, A. H., & Sherk, W. (1998). Discriminative and evaluative properties of the activities-specific balance confidence (ABC) scale. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 53*(4), M287-M294.
- Nascimbeni, A., Caruso, S., Salatino, A., Carezza, M., Rigano, M., Raviolo, A., & Ricci, R. (2015). Dual task-related gait changes in patients with mild cognitive impairment. *Functional Neurology, 30*(1), 59-65.
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bedirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., . . . Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society, 53*, 695-699.
- Navon, D. (1984). Resources: A theoretical soup stone?. *Psychological Review, 91*(2), 216-234 .
- Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review, 86*(3), 214-255.
- Neider, M. B., Gaspar, J. G., McCarley, J. S., Crowell, J. A., Kaczmarek, H., & Kramer, A. F. (2011). Walking and talking: dual-task effects on street crossing behavior in older adults. *Psychology and Aging, 26*(2), 260-268. doi: 10.1037/a0021566.
- Nemmi, F., Boccia, M., Piccardi, L., Galati, G., & Guariglia, C. (2013). Segregation of neural circuits involved in spatial learning in reaching and navigational space. *Neuropsychologia, 51*, 1561-1570.
- Neumann, O. (1987). Beyond capacity: A functional view of attention. *Perspectives on Perception and Action, 14*, 361-394.
- Neumann, O. (1992). Theorien der Aufmerksamkeit: Von Metaphern zu Mechanismen. *Psychologische Rundschau, 43*(2), 83-101.
- Neumann, O. (1996): Theories of attention. In O. Neumann & A. F. Sanders (Eds.) *Handbook of Perception and Action* (pp. 389-446). San Diego, CA: Academic Press
- Newport, E. L., Bavelier, D., & Neville, H. J. (2001). Critical thinking about critical periods: Perspectives on a critical period for language acquisition. *Language, Brain and Cognitive Development: Essays in Honor of Jacques Mehler, 481-502*.
- Nordahl, C. W., Ranganath, C., Yonelinas, A. P., DeCarli, C., Fletcher, E., & Jagust, W. J. (2006). White matter changes compromise prefrontal cortex function in healthy elderly individuals. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*(3), 418-429. doi: 10.1162/089892906775990552.
- Nordin, E., Moe-Nilssen, R., Ramnemark, A., & Lundin-Olsson, L. (2010). Changes in step-width during dual-task walking predicts falls. *Gait & Posture, 32*(1), 92-97. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.03.012.
- Norman, D. A., & Bobrow, D. G. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology, 7*(1), 44-64.
- Nougier, V., Stein, J. F., & Bonnel, A. M. (1991). Information processing in sport and 'orienting of attention'. *International Journal of Sport Psychology, 22*(3-4), 307-327.
- Nussbaum, R. L., & Ellis, C. E. (2003). Alzheimer's disease and Parkinson's disease. *New England Journal of Medicine, 348*(14), 1356-1364.

- Nutt, J. G., Marsden, C. D., & Thompson, P. D. (1993). Human walking and higher-level gait disorders, particularly in the elderly. *Neurology*, *43*(2), 268-268.
- O'Malley, G. (2011). Aerobic exercise enhances executive function and academic achievement in sedentary, overweight children aged 7–11 years. *Journal of Physiotherapy*, *57*(4), 255. doi: 10.1016/S1836-9553(11)70056-X.
- Oberauer, K., & Kliegl, R. (2006). A formal model of capacity limits in working memory. *Journal of Memory and Language*, *55*(4), 601-626.
- Oerter, R., & Dreher, E. (1995). Jugendalter. In R. Oerter & L. Montada (Hrsg.) *Entwicklungspsychologie. Ein Lehrbuch*. 3. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, (S. 310-395).
- Ogden, G. D., Levine, J. M., & Eisner, E. J. (1979). Measurement of workload by secondary tasks. *Human Factors. The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *21*(5), 529-548.
- O'Hare, A., & Khalid, S. (2002). The association of abnormal cerebellar function in children with developmental coordination disorder and reading difficulties. *Dyslexia*, *8*(4), 234-248.
- Öhman, A., Flykt, A., & Esteves, F. (2001). Emotion drives attention: detecting the snake in the grass. *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*(3), 466.
- O'Shea, S., Morris, M. E., & Iansek, R. (2002). Dual task interference during gait in people with Parkinson disease: effects of motor versus cognitive secondary tasks. *Physical Therapy*, *82*(9), 888-897.
- Oswald, W. D., Gunzelmann, T., Rupperecht, R., & Hagen, B. (2006). Differential effects of single versus combined cognitive and physical training with older adults: the SimA study in a 5-year perspective. *European Journal of Ageing*, *4*(3), 179-192. doi: 10.1007/s10433-006-0035-z.
- Palisano, R. J., Walter, S. D., Russell, D. J., Rosenbaum, P. L., Gémus, M., Galuppi, B. E., & Cunningham, L. (2001). Gross motor function of children with Down syndrome: creation of motor growth curves. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *82*(4), 494-500.
- Parent, M., & Parent, A. (2010). Substantia nigra and Parkinson's disease: a brief history of their long and intimate relationship. *Canadian Journal of Neurological Sciences*, *37*(3), 313-319.
- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, *60*, 173-196. doi: 10.1146/annurev.psych.59.103006.093656.
- Park, D. C., & Schwarz, N. (2000). *Cognitive Aging: A primer*. Psychology Press.
- Park, D. C., Polk, T. A., Mikels, J. A., Taylor, S. F., & Marshuetz, C. (2001). Cerebral aging: integration of brain and behavioral models of cognitive function. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, *3*(3), 151-165.
- Park, D. C., Polk, T. A., Park, R., Minear, M., Savage, A., & Smith, M. R. (2004). Aging reduces neural specialization in ventral visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(35), 13091-13095. doi: 10.1073/pnas.0405148101.
- Park, D. C., & Minear, M. (2004): Cognitive aging: New directions for old theories. In R. A. Dixon, L. Bäckman, & L.-G. Nilson (Eds.), *New Frontiers in Cognitive Aging* (pp. 19–40). Oxford univ. press.
- Parkin, A. J. (2004). Normal age-related memory loss and its relation to frontal lobe dysfunction. In *Methodology of Frontal and Executive Function* (pp. 179-192). Routledge.
- Patel, P., Lamar, M., & Bhatt, T. (2014). Effect of type of cognitive task and walking speed on cognitive-motor interference during dual-task walking. *Neuroscience*, *260*, 140-148.
- Patterson, D. (2009). Molecular genetic analysis of Down syndrome. *Human Genetics*, *126*(1), 195-214.

- Patterson, T., Rapsey, C. M., & Glue, P. (2013). Systematic review of cognitive development across childhood in Down syndrome: implications for treatment interventions. *Journal of Intellectual Disability Research*, 57(4), 306-318.
- Payer, D., Marshuetz, C., Sutton, B., Hebrank, A., Welsh, R. C., & Park, D. C. (2006). Decreased neural specialization in old adults on a working memory task. *Neuroreport*, 17(5), 487-491.
- Peper, C. L. E., Oorthuizen, J. K., & Roerdink, M. (2012). Attentional demands of cued walking in healthy young and elderly adults. *Gait & Posture*, 36(3), 378-382. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.03.032.
- Perrochon, A., & Kemoun, G. (2014). The Walking Trail-Making Test is an early detection tool for mild cognitive impairment. *Clinical Interventions in Aging*, 9, 111-119.
- Perrochon, A., Kemoun, G., Watelain, E., & Berthoz, A. (2013). Walking Stroop carpet: an innovative dual-task concept for detecting cognitive impairment. *Clinical Interventions in Aging*, 8, 317-328.
- Persson, J., Lustig, C., Nelson, J. K., & Reuter-Lorenz, P. A. (2007). Age differences in deactivation: a link to cognitive control?. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(6), 1021-1032. doi: 10.1162/jocn.2007.19.6.1021.
- Petersen, R. C., Roberts, R. O., Knopman, D. S., Boeve, B. F., Geda, Y. E., Ivnik, R. J., ... & Jack, C. R. (2009). Mild cognitive impairment: ten years later. *Archives of Neurology*, 66(12), 1447-1455.
- Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 73-89.
- Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 73-89. doi: 10.1146/annurev-neuro-062111-150525.
- Petersen, S. E., Van Mier, H., Fiez, J. A., & Raichle, M. E. (1998). The effects of practice on the functional anatomy of task performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3), 853-860.
- Peterson, D. S., Fling, B. W., Mancini, M., Cohen, R. G., Nutt, J. G., & Horak, F. B. (2014). Dual-task interference and brain structural connectivity in people with Parkinson's disease who freeze. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 86(7), 786-792.
- Petitti, D. B. (1994). Meta-analysis, decision analysis and cost-effectiveness analysis. Methods for quantitative synthesis in medicine. *Monographs in Epidemiology and Biostatistics*, 24, 119-123.
- Pettersson, A. F., Olsson, E., & Wahlund, L. O. (2005). Motor function in subjects with mild cognitive impairment and early Alzheimer's disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 19(5-6), 299-304.
- Pettersson, A. F., Olsson, E., & Wahlund, L. O. (2005). Motor function in subjects with mild cognitive impairment and early Alzheimer's disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 19(5-6), 299-304. doi: 10.1159/000084555
- Pettersson, A. F., Olsson, E., & Wahlund, L. O. (2007). Effect of divided attention on gait in subjects with and without cognitive impairment. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 20(1), 58-62. doi: 10.1177/0891988706293528
- Piaget, J., & Inhelder, B. (2008). The psychology of the child. Basic books..
- Piccardi, L., Bianchini, F., Argento, O., De Nigris, A., Maialetti, A., Palermo, L., & Guariglia, C. (2013). The Walking Corsi Test (WalCT): standardization of the topographical memory test in an Italian population. *Neurological Sciences*, 34(6), 971-978.
- Pickering, R. M., Grimbergen, Y. A., Rigney, U., Ashburn, A., Mazibrada, G., Wood, B., ... & Bloem, B. R. (2007). A meta-analysis of six prospective studies of falling in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 22(13), 1892-1900.

- Pinter, J. D., Eliez, S., Schmitt, J. E., Capone, G. T., & Reiss, A. L. (2001). Neuroanatomy of Down's syndrome: a high-resolution MRI study. *American Journal of Psychiatry*, *158*(10), 1659-1665.
- Plassman, B. L., Williams, J. W., Burke, J. R., Holsinger, T., & Benjamin, S. (2010). Systematic review: factors associated with risk for and possible prevention of cognitive decline in later life. *Annals of Internal Medicine*, *153*(3), 182-193.
- Plotnik, M., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2009). Bilateral coordination of gait and Parkinson's disease: the effects of dual tasking. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *80*(3), 347-350.
- Plotnik, M., Giladi, N., Dagan, Y., & Hausdorff, J. M. (2011). Postural instability and fall risk in Parkinson's disease: impaired dual tasking, pacing, and bilateral coordination of gait during the "ON" medication state. *Experimental Brain Research*, *210*(3-4), 529-538.
- Plummer, P., & Eskes, G. (2015). Measuring treatment effects on dual-task performance: a framework for research and clinical practice. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*, 225. doi: 10.3389/fnhum.2015.00225
- Plummer, P., Eskes, G., Wallace, S., Giuffrida, C., Fraas, M., Campbell, G., ... & Skidmore, E. R. (2013). Cognitive-motor interference during functional mobility after stroke: state of the science and implications for future research. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *94*(12), 2565-2574.
- Plummer, P., Villalobos, R. M., Vayda, M. S., Moser, M., & Johnson, E. (2014). Feasibility of dual-task gait training for community-dwelling adults after stroke: a case series. *Stroke Research and Treatment*, e538602.
- Plummer, P., Zukowski, L. A., Giuliani, C., Hall, A. M., & Zurakowski, D. (2016). Effects of physical exercise interventions on gait-related dual-task interference in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Gerontology*, *62*(1), 94-117. doi: 10.1159/000371577.
- Plummer-D'Amato, P., Altmann, L. J., Saracino, D., Fox, E., Behrman, A. L., & Marsiske, M. (2008). Interactions between cognitive tasks and gait after stroke: a dual task study. *Gait & Posture*, *27*(4), 683-688. doi: 10.1016/j.gaitpost.2007.09.001.
- Poldrack, R. A., Sabb, F. W., Foerde, K., Tom, S. M., Asarnow, R. F., Bookheimer, S. Y., & Knowlton, B. J. (2005). The neural correlates of motor skill automaticity. *Journal of Neuroscience*, *25*(22), 5356-5364.
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*(10), 2128-2148. doi: 10.1016/j.clinph.2007.04.019.
- Ponti, M., Bet, P., Oliveira, C. L., & Castro, P. C. (2017). Better than counting seconds: Identifying fallers among healthy elderly using fusion of accelerometer features and dual-task Timed Up and Go. *PLoS ONE*, *12*(4), e0175559. Doi: 10.1371/journal.pone.0175559
- Pontifex, M. B., Raine, L. B., Johnson, C. R., Chaddock, L., Voss, M. W., Cohen, N. J., ... & Hillman, C. H. (2011). Cardiorespiratory fitness and the flexible modulation of cognitive control in pre-adolescent children. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(6), 1332-1345. doi: 10.1162/jocn.2010.21528.
- Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, *78*(5), 391-408.
- Posner, M. I., & Keele, S. W. (1969). Attention demands of movements. In *Proceedings of XVIth congress of applied psychology* (pp. 418-422).
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, *13*(1), 25-42.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, *13*(1), 25-42. doi: 10.1146/annurev.ne.13.030190.000325.

- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2007). Research on Attention Networks as a Model for the Integration of Psychological Science. *Annual Review of Psychology*, *58*, 1-23.
- Powell, L. E., & Myers, A. M. (1995). The activities-specific balance confidence (ABC) scale. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *50*(1), M28-M34.
- Prado, E. L., & Dewey, K. G. (2014). Nutrition and brain development in early life. *Nutrition Reviews*, *72*(4), 267-284.
- Prado, J. M., Stoffregen, T. A., & Duarte, M. (2007). Postural sway during dual tasks in young and elderly adults. *Gerontology*, *53*(5), 274-281.
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, *9*(2), 129-154.
- Prinz, Wolfgang (1984): Modes of linkage between perception and action. In *Cognition and Motor Processes* (pp. 185-193), Springer Verlag.
- Prinz, W., Aschersleben, G., & Koch, I. (2009). *Cognition and Action* (pp. 35-71). Oxford handbook of human action.
- Prull, M. W., Gabrieli, J. D. E., & Bunge, S. A. (2000). Age-related changes in memory: A cognitive neuroscience perspective. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *Handbook of Aging and Cognition* (2nd ed., pp. 91-153). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Prull, M. W., Gabrieli, J. D., & Bunge, S. A. (2000). Age-related changes in memory: A cognitive neuroscience perspective. In F. I. A. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *Handbook of Aging and Cognition*, (2nd ed., pp.91-153), Lawrence Erlbaum Associates.
- Pugh, K. G., & Lipsitz, L. A. (2002). The microvascular frontal-subcortical syndrome of aging. *Neurobiology of Aging*, *23*(3), 421-431.
- Rabbitt, P. (1997). Methodology and Models in the Study of Executive Function. *Methodology of Frontal and Executive Function*, 1-38.
- Ramaker, C., Marinus, J., Stiggelbout, A. M., & Van Hilten, B. J. (2002). Systematic evaluation of rating scales for impairment and disability in Parkinson's disease. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, *17*(5), 867-876.
- Rapp, M. A., Krampe, R. T., & Baltes, P. B. (2006). Adaptive task prioritization in aging: selective resource allocation to postural control is preserved in Alzheimer disease. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, *14*(1), 52-61.
- Rauh (2002). Kognitives Entwicklungstempo und Verhalten. *Leben mit Down-Syndrom*, *39*, 6-10.
- Raz, N., Lindenberger, U., Rodrigue, K. M., Kennedy, K. M., Head, D., Williamson, A., ... & Acker, J. D. (2005). Regional brain changes in aging healthy adults: general trends, individual differences and modifiers. *Cerebral Cortex*, *15*(11), 1676-1689. doi: 10.1093/cercor/bhi044.
- Reed, B. R., Dowling, M., Farias, S. T., Sonnen, J., Strauss, M., Schneider, J. A., ... & Mungas, D. (2011). Cognitive activities during adulthood are more important than education in building reserve. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *17*(4), 615-624.
- Reelick, M. F., Kessels, R. P., Faes, M. C., Weerdesteyn, V., Esselink, R. A., & Rikkert, M. G. O. (2011). Increased intra-individual variability in stride length and reaction time in recurrent older fallers. *Aging Clinical and Experimental Research*, *23*(5-6), 393-399.
- Reitan, R. M. (1955). The relationship of the Trail Making Test to organic brain damage. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, *19*, 393-394.
- Reitan, R. M., & Wolfson, D. (1995). Category Test and Trail Making Test as measures of frontal lobe functions. *The Clinical Neuropsychologist*, *9*(1), 50-56.
- Reitan, R. M., & Wolfson, D. (1985): *The Halstead-Reitan Neuropsychological Test Battery: Theory and Clinical Interpretation*. Tucson, AZ: Neuropsychology Press.

- Remington, A., Cartwright-Finch, U., & Lavie, N. (2014). I can see clearly now: The effects of age and perceptual load on inattention blindness. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 229. doi: 10.3389/fnhum.2014.00229
- Ren, J., Wu, Y. D., Chan, J. S., & Yan, J. H. (2013). Cognitive aging affects motor performance and learning. *Geriatrics & Gerontology International*, 13(1), 19-27. doi: 10.1111/j.1447-0594.2012.00914.x.
- Resnick, S. M., Pham, D. L., Kraut, M. A., Zonderman, A. B., & Davatzikos, C. (2003). Longitudinal magnetic resonance imaging studies of older adults: a shrinking brain. *Journal of Neuroscience*, 23(8), 3295-3301.
- Reusch, A., Zwingmann, C., & Faller, H. (2002). *Empfehlungen zum Umgang mit Daten in der Rehabilitationsforschung*. Regensburg: Roderer.
- Reuter-Lorenz, P. A., & Cappell, K. A. (2008). Neurocognitive aging and the compensation hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*, 17(3), 177-182.
- Reuter-Lorenz, P. A., & Park, D. C. (2010). Human neuroscience and the aging mind: a new look at old problems. *The Journals of Gerontology: Series B*, 65(4), 405-415. doi: 10.1093/geronb/gbq035.
- Reuter-Lorenz, P. A., Park, D. C. (2014): How does it STAC up? Revisiting the scaffolding theory of aging and cognition. *Neuropsychology Review*, 24(3), 355-370. doi: 10.1007/s11065-014-9270-9.
- Reuter-Lorenz, Patricia A. (2000): Cognitive neuropsychology of the aging brain. In D.C. Park, & N. Schwartz (Eds.), *Cognitive Aging: A Primer* (pp. 93-114). Psychology Press, Taylor & Francis; Philadelphia PA.
- Review Manager (RevMan) [Computer program]. Version 5.3. Copenhagen: The Nordic Cochrane Centre, The Cochrane Collaboration, 2014.
- Riby, L., Perfect, T., & Stollery, B. (2004). The effects of age and task domain on dual task performance: A meta-analysis. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(6), 863-891.
- Richter, S. (2001). Vorwärtsmodelle und die Vorhersage des Bewegungsverlaufs. Inaugural-Dissertation: Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät.
- Ridler, K., Veijola, J. M., Tanskanen, P., Miettunen, J., Chitnis, X., Suckling, J., ... & Bullmore, E. T. (2006). Fronto-cerebellar systems are associated with infant motor and adult executive functions in healthy adults but not in schizophrenia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(42), 15651-15656.
- Rigoldi, C., Galli, M., & Albertini, G. (2011). Gait development during lifespan in subjects with Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities*, 32(1), 158-163.
- Riley, M. A., Baker, A. A., & Schmit, J. M. (2003). Inverse relation between postural variability and difficulty of a concurrent short-term memory task. *Brain Research Bulletin*, 62(3), 191-195.
- Riley, M. A., Stoffregen, T. A., Grocki, M. J., & Turvey, M. T. (1999). Postural stabilization for the control of touching. *Human Movement Science*, 18(6), 795-817.
- Riley, M. A., Stoffregen, T. A., Grocki, M. J., & Turvey, M. T. (1999). Postural stabilization for the control of touching. *Human Movement Science*, 18(6), 795-817.
- Ristic, J., & Enns, J. T. (2015b). The changing face of attentional development. *Current Directions in Psychological Science*, 24(1), 24-31.
- RISTIC, J., & ENNS, J. T. (2015). Attentional Development. *Handbook of Child Psychology and Developmental Science, Cognitive Processes*, 2, 158.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Reviews. Neuroscience.*, 27, 169-192.

- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(9), 661-670.
- Rochester, L., Galna, B., Lord, S., & Burn, D. (2014). The nature of dual-task interference during gait in incident Parkinson's disease. *Neuroscience*, 265, 83-94.
- Rochester, L., Nieuwboer, A., Baker, K., Hetherington, V., Willems, A. M., Kwakkel, G., ... & Jones, D. (2008). Walking speed during single and dual tasks in Parkinson's disease: which characteristics are important?. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 23(16), 2312-2318.
- Rochester, L., Nieuwboer, A., Baker, K., Hetherington, V., Willems, A. M., Kwakkel, G., ... & Jones, D. (2008). Walking speed during single and dual tasks in Parkinson's disease: which characteristics are important?. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 23(16), 2312-2318.
- Rodrigue, K. M., Kennedy, K. M., & Park, D. C. (2009). Beta-amyloid deposition and the aging brain. *Neuropsychology Review*, 19(4), 436-450.
- Rodrigue, K. M., Kennedy, K. M., & Raz, N. (2005). Aging and longitudinal change in perceptual-motor skill acquisition in healthy adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 60(4), P174-P181.
- Rodrigue, K. M., Kennedy, K. M., Devous, M. D., Rieck, J. R., Hebrank, A. C., Diaz-Arrastia, R., ... & Park, D. C. (2012). β -Amyloid burden in healthy aging: regional distribution and cognitive consequences. *Neurology*, 78(6), 387-395.
- Rodrigue, K. M., Kennedy, K. M., Devous, M. D., Rieck, J. R., Hebrank, A. C., Diaz-Arrastia, R., ... & Park, D. C. (2012). β -Amyloid burden in healthy aging: regional distribution and cognitive consequences. *Neurology*, 78(6), 387-395. doi: 10.1212/WNL.0b013e318245d295.
- Roeber, B. J., Gunnar, M. R., & Pollak, S. D. (2014). Early deprivation impairs the development of balance and bilateral coordination. *Developmental Psychobiology*, 56(5), 1110-1118.
- Roebbers, C. M., & Kauer, M. (2009). Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds. *Developmental Science*, 12(1), 175-181.
- Roebbers, C. M., Röthlisberger, M., Neuenschwander, R., Cimeli, P., Michel, E., & Jäger, K. (2014). The relation between cognitive and motor performance and their relevance for children's transition to school: a latent variable approach. *Human Movement Science*, 33, 284-297.
- Rohrschneider, L. (2007). *Behandlung fehlender Daten* (Master's thesis, Humboldt-Universität zu Berlin, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät).
- Romberg, M. H. (1853): A manual of the nervous diseases of man: Sydenham Society.
- Roos, P. E., & Dingwell, J. B. (2013). Using dynamic walking models to identify factors that contribute to increased risk of falling in older adults. *Human Movement Science*, 32(5), 984-996. doi: 10.1016/j.humov.2013.07.001.
- Rosano, C., Brach, J., Studenski, S., Longstreth Jr, W. T., & Newman, A. B. (2007). Gait variability is associated with subclinical brain vascular abnormalities in high-functioning older adults. *Neuroepidemiology*, 29(3-4), 193-200. doi: 10.1159/000111582.
- Rosano, C., Studenski, S. A., Aizenstein, H. J., Boudreau, R. M., Longstreth, W. T., & Newman, A. B. (2012). Slower gait, slower information processing and smaller prefrontal area in older adults. *Age and Ageing*, 41(1), 58-64. doi: 10.1093/ageing/afr113
- Rosano, C., Studenski, S. A., Aizenstein, H. J., Boudreau, R. M., Longstreth Jr, W. T., & Newman, A. B. (2011). Slower gait, slower information processing and smaller prefrontal area in older adults. *Age and Ageing*, 41(1), 58-64. doi: 10.1093/ageing/afr113.
- Rothbart, M. K., & Posner, M. I. (2015). The developing brain in a multitasking world. *Developmental Review*, 35, 42-63.

- Rowe, J., Lavender, A., & Turk, V. (2006). Cognitive executive function in Down's syndrome. *British Journal of Clinical Psychology, 45*(1), 5-17.
- Ruffieux, J., Keller, M., Lauber, B., & Taube, W. (2015). Changes in standing and walking performance under dual-task conditions across the lifespan. *Sports Medicine, 45*(12), 1739-1758.
- Sala-Llonch, R., Bartrés-Faz, D., & Junqué, C. (2015). Reorganization of brain networks in aging: a review of functional connectivity studies. *Frontiers in Psychology, 6*, 663. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00663.
- Salat, D. H., Buckner, R. L., Snyder, A. Z., Greve, D. N., Desikan, R. S., Busa, E., ... & Fischl, B. (2004). Thinning of the cerebral cortex in aging. *Cerebral Cortex, 14*(7), 721-730. doi: 10.1093/cercor/bhh032.
- Salat, D. H., Kaye, J. A., & Janowsky, J. S. (2002). Greater orbital prefrontal volume selectively predicts worse working memory performance in older adults. *Cerebral Cortex, 12*(5), 494-505.
- Salat, D. H., Tuch, D. S., Greve, D. N., Van Der Kouwe, A. J. W., Hevelone, N. D., Zaleta, A. K., ... & Dale, A. M. (2005). Age-related alterations in white matter microstructure measured by diffusion tensor imaging. *Neurobiology of Aging, 26*(8), 1215-1227. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2004.09.017.
- Salkind, N. J. (2010). *Encyclopedia of Research Design* (Vol. 2). Los Angeles: Sage.
- Salkovic, D., Hobert, M. A., Bellut, C., Funer, F., Renno, S., Haertner, L., ... & Fallgatter, A. J. (2017). Evidence for a selectively regulated prioritization shift depending on walking situations in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience, 9*, 75. doi: 10.3389/fnagi.2017.00075
- Salthouse, T. A. (1984). Effects of age and skill in typing. *Journal of Experimental Psychology: General, 113*(3), 345.
- Salthouse, T. A. (2011). What cognitive abilities are involved in trail-making performance?. *Intelligence, 39*(4), 222-232.
- Salthouse, T. A., Mitchell, D. R., Skovronek, E., & Babcock, R. L. (1989). Effects of adult age and working memory on reasoning and spatial abilities. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 15*(3), 507-516.
- Salthouse, T. A., Rogan, J. D., & Prill, K. A. (1984). Division of attention: Age differences on a visually presented memory task. *Memory & Cognition, 12*(6), 613-620.
- Sánchez, J. L., Rodríguez, M., & Carro, J. (2002). Influence of cognitive reserve on neuropsychologic functioning in Alzheimer's disease type sporadic in subjects of Spanish nationality. *Cognitive and Behavioral Neurology, 15*(2), 113-122.
- Santangelo, G., Siciliano, M., Pedone, R., Vitale, C., Falco, F., Bisogno, R., ... & Trojano, L. (2015). Normative data for the Montreal Cognitive Assessment in an Italian population sample. *Neurological Sciences, 36*(4), 585-591.
- Saxena, S., Cinar, E., Majnemer, A., & Gagnon, I. (2017). Does dual tasking ability change with age across childhood and adolescence? A systematic scoping review. *International Journal of Developmental Neuroscience, 58*, 35-49.
- Saxena, S., Majnemer, A., Li, K., Beauchamp, M., & Gagnon, I. (2019). A cross-sectional analysis on the effects of age on dual tasking in typically developing children. *Psychological Research, 83*(1), 104-115.
- Schack, T. (2007). Repräsentation und Bewegungssteuerung. Die kognitiv-perzeptuelle Perspektive. *Zeitschrift für Sportpsychologie, 14*(3), 104-113.
- Schaefer, S. (2014). The ecological approach to cognitive–motor dual-tasking: findings on the effects of expertise and age. *Frontiers in Psychology, 5*, 1167. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01167.

- Schaefer, S., & Schumacher, V. (2011). The interplay between cognitive and motor functioning in healthy older adults: findings from dual-task studies and suggestions for intervention. *Gerontology, 57*(3), 239-246. doi: 10.1159/000322197.
- Schaefer, S., Jagenow, D., Verrel, J., & Lindenberger, U. (2015). The influence of cognitive load and walking speed on gait regularity in children and young adults. *Gait & Posture, 41*(1), 258-262. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.10.013.
- Schaefer, S., Krampe, R. T., Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (2008). Age Differences Between Children and Young Adults in the Dynamics of Dual-Task Prioritization: Body (Balance) Versus Mind (Memory). *Developmental Psychology, 44*(3), 747-757. doi: 10.1037/0012-1649.44.3.747.
- Schaefer, S., Lövdén, M., Wieckhorst, B., & Lindenberger, U. (2010). Cognitive performance is improved while walking: Differences in cognitive–sensorimotor couplings between children and young adults. *European Journal of Developmental Psychology, 7*(3), 371-389.
- Schafer, J.L. & Graham, J.W. (2002). Missing Data: Our View of the State of the Art. *Psychological Methods, 7*(2), 147-177.
- Scheff, S. W., Price, D. A., Schmitt, F. A., & Mufson, E. J. (2006). Hippocampal synaptic loss in early Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Neurobiology of Aging, 27*(10), 1372-1384.
- Scherder, E., Eggermont, L., Swaab, D., van Heuvelen, M., Kamsma, Y., de Greef, M., ... & Mulder, T. (2007). Gait in ageing and associated dementias; its relationship with cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 31*(4), 485-497.
- Schlegel, A. (2006). Entwicklung kognitiver Funktionen (Doctoral dissertation, Niedersächsische Staats-und Universitätsbibliothek Göttingen).
- Schlicht, W., & Schott, N. (2013). Körperlich aktiv Altern. Beltz Juventa.
- Schlomer, G. L., Bauman, S., & Card, N. A. (2010). Best practices for missing data management in counseling psychology. *Journal of Counseling Psychology, 57*(1), 1-10.
- Schmidt, R. A., & Wrisberg, C. A. (2004). *Motor Learning and Performance, A Problem-Based Approach*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Schmidt, R. (1975). *Motor Skills*: HarperCollins Publishers.
- Schoene, D., Smith, S. T., Davies, T. A., Delbaere, K., & Lord, S. R. (2013). A Stroop Stepping Test (SST) using low-cost computer game technology discriminates between older fallers and non-fallers. *Age and Ageing, 43*(2), 285-289.
- Schott, N. & Holfelder, B. (2015). Relationship between motor skill competency and executive function in children with Down's syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research, 59*(9), 860-872
- Schott, N. & Klotzbier, T., & (2018). The motor–cognitive connection: indicator of future developmental success in children and adolescents?. In *Physical Activity and Educational Achievement* (pp. 133-151). Routledge.
- Schott, N. (2000). *Prognostizierbarkeit und Stabilität von sportlichen Leistungen über einen Zeitraum von 20 Jahren: eine Nachuntersuchung bei 28jährigen Erwachsenen*. Dissertation, Karlsruhe. (online: <http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/eva/index.html>).
- Schott, N. (2007). Korrelate der Sturzangst im Alter. *Zeitschrift für Sportpsychologie, 14*(2), 74-86.
- Schott, N. (2014). Reliability and validity of the German short version of the Activities specific Balance Confidence (ABC-D6) scale in older adults. *Archives of Gerontology and Geriatrics, 59*(2), 272-279.
- Schott, N. (2015). Trail walking test for assessment of motor cognitive interference in older adults: Development and evaluation of the psychometric properties of the procedure. *Zeitschrift fuer Gerontologie und Geriatrie, 48*(8), 722-733. doi: 10.1007/s00391-015-0866-3

- Schott, N. (2015). Trail Walking Test zur Erfassung der motorisch-kognitiven Interferenz bei älteren Erwachsenen. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 48(8), 722-733. doi: 10.1007/s00391-015-0866-3.
- Schott, N. (2017). Mobilität im Alter-Doppelaufgabentraining als Therapieform bei neurologischen Patienten. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin & Sporttraumatologie*, 66(4), 33-40.
- Schott, N. (2019). Dual-Task Performance in Developmental Coordination Disorder (DCD): Understanding Trade-offs and Their Implications for Training. *Current Developmental Disorders Reports*, 6(2), 87-101.
- Schott, N., & Holfelder, B. (2015). Relationship between motor skill competency and executive function in children with Down's syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, 59(9), 860-872.
- Schott, N., & Holfelder, B. (2015). Relationship between motor skill competency and executive function in children with Down's syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, 59(9), 860-872.
- Schott, N., & Klotzbier, T. J. (2018). Profiles of Cognitive-Motor Interference During Walking in Children: Does the Motor or the Cognitive Task Matter?. *Frontiers in Psychology*, 9, 947. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00947
- Schott, N., & Kurz, A. K. (2008). Stürze bei älteren Erwachsenen: Risikofaktoren–Assessment–Prävention: Ein Review. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 15(2), 45-62.
- Schott, N., El-Rajab, I., & Klotzbier, T. (2016). Cognitive-motor interference during fine and gross motor tasks in children with Developmental Coordination Disorder (DCD). *Research in Developmental Disabilities*, 57, 136-148.
- Schott, N., Holfelder, B. & Mousouli, O. (2014). Motor skill assessment in children with Down Syndrome: Relationship between performance-based and teacher-report measures. *Research in Developmental Disabilities*, 35, 3299-3312.
- Schott, N., Holfelder, B., & Mousouli, O. (2014). Motor skill assessment in children with Down Syndrome: Relationship between performance-based and teacher-report measures. *Research in Developmental Disabilities*, 35(12), 3299-3312.
- Schupp, H. T., Stockburger, J., Codispoti, M., Junghöfer, M., Weike, A. I., & Hamm, A. O. (2007). Selective visual attention to emotion. *Journal of Neuroscience*, 27(5), 1082-1089.
- Schweizer, Karl (2006): Leistung und Leistungsdiagnostik: Springer-Verlag.
- Schweizer, T. A., Ware, J., Fischer, C. E., Craik, F. I., & Bialystok, E. (2012). Bilingualism as a contributor to cognitive reserve: Evidence from brain atrophy in Alzheimer's disease. *Cortex*, 48(8), 991-996. doi: 10.1016/j.cortex.2011.04.009.
- Seamster, T. L., Redding, R. E., Cannon, J. R., Ryder, J. M., & Purcell, J. A. (1993). Cognitive task analysis of expertise in air traffic control. *The international Journal of Aviation Psychology*, 3(4), 257-283.
- Sedlmeier, P., & Renkewitz, F. (2008). *Forschungsmethoden und Statistik in der Psychologie*. München: Pearson Studium.
- Segal, S. J., & Fusella, V. (1970). Influence of imaged pictures and sounds on detection of visual and auditory signals. *Journal of Experimental Psychology*, 83(3), 458-464.
- Shaheen, S. (2013). Motor assessment in pediatric neuropsychology: Relationships to executive function. *Applied Neuropsychology: Child*, 2(2), 116-124. doi: 10.1080/21622965.2013.792668.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 298(1089), 199-209.
- Shanmugan, S., & Satterthwaite, T. D. (2016). Neural Markers of the Development of Executive Function: Relevance for Education. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 7-13.

- Shea, A. M. (1987). *Motor Development in Down Syndrome*. Cambridge, MA: Harvard University Dissertation
- Shelton, A. L., & McNamara, T. P. (2001). Systems of spatial reference in human memory. *Cognitive Psychology*, 43(4), 274-310.
- Shenkin, S. D., Bastin, M. E., Macgillivray, T. J., Deary, I. J., Starr, J. M., Rivers, C. S., & Wardlaw, J. M. (2005). Cognitive correlates of cerebral white matter lesions and water diffusion tensor parameters in community-dwelling older people. *Cerebrovascular Diseases*, 20(5), 310-318. doi: 10.1159/000087930.
- Sheridan, P. L., Solomont, J., Kowall, N., & Hausdorff, J. M. (2003). Influence of executive function on locomotor function: divided attention increases gait variability in Alzheimer's disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(11), 1633-1637.
- Sheridan, T. B., & Stassen, H. G. (1979). Definitions, models and measures of human workload. In *Mental Workload* (pp. 219-233). Springer, Boston, MA.
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84(2), 127-190.
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1984). Automatic and controlled processing revisited. *Psychological Review*, 91(2), 269-276.
- Shillcock, R., Thomas, J., & Bailes, R. (2019). Mirror neurons, prediction and hemispheric coordination: the prioritizing of intersubjectivity over 'intrasubjectivity'. *Axiomathes*, 29(2), 139-153.
- Shirom, Arie (2003): Job-Related Burnout: A Review. In J. Campbell & L. E. Tetrick (Eds.), *Handbook of Occupational Health Psychology* (pp. 245-264). Washington, DC, US: American Psychological Association.
- Shonkoff, J. P. (2007): The Timing and Quality of Early Experiences Combine to Shape Brain Architecture: Working Paper. In *National Scientific Council on the Developing Child*. Cambridge, MA
- Shonkoff, J. P., Cameron, J., Duncan, G., Fox, N. A., Greenough, W., & Gunnar, M. R. (2004). *Children's Emotional Development is Built into the Architecture of their Brains. Working Paper 2: USA: Harvard University, National Scientific Council on the Developing Child.*
- Shonkoff, J. P., Levitt, P., Fox, N. A., Bunge, S. A., Cameron, J. L., & Duncan, G. J. (2016). *From Best Practices to Breakthrough Impacts: A Science-Based Approach for Building a More Promising Future for Young Children and Families*. Cambridge, MA: Harvard University, Center on the Developing Child.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (1985). Dynamics of postural control in the child with Down syndrome. *Physical Therapy*, 65(9), 1315-1322.
- Shumway-Cook, A., Baldwin, M., Polissar, N. L., & Gruber, W. (1997). Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults. *Physical Therapy*, 77(8), 812-819.
- Shumway-Cook, A., Brauer, S., & Woollacott, M. (2000). Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Physical Therapy*, 80(9), 896-903.
- Shumway-Cook, A., Woollacott, M., Kerns, K. A., & Baldwin, M. (1997). The effects of two types of cognitive tasks on postural stability in older adults with and without a history of falls. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 52(4), M232-M240.
- Shweiki, D., Itin, A., Soffer, D., & Keshet, E. (1992). Vascular endothelial growth factor induced by hypoxia may mediate hypoxia-initiated angiogenesis. *Nature*, 359(6398), 843-845. doi: 10.1038/359843a0.

- Silkis, I. (2001). The cortico-basal ganglia-thalamocortical circuit with synaptic plasticity. II. Mechanism of synergistic modulation of thalamic activity via the direct and indirect pathways through the basal ganglia. *Biosystems*, 59(1), 7-14.
- Simoni, D., Rubbieri, G., Baccini, M., Rinaldi, L., Becheri, D., Forconi, T., ... & Di Bari, M. (2013). Different motor tasks impact differently on cognitive performance of older persons during dual task tests. *Clinical Biomechanics*, 28(6), 692-696.
- Singh-Manoux, A., Richards, M., & Marmot, M. (2003). Leisure activities and cognitive function in middle age: evidence from the Whitehall II study. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 57(11), 907-913.
- Siu, K. C., & Woollacott, M. H. (2007). Attentional demands of postural control: the ability to selectively allocate information-processing resources. *Gait & Posture*, 25(1), 121-126. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.02.002.
- Siu, K. C., Catena, R. D., Chou, L. S., Van Donkelaar, P., & Woollacott, M. H. (2008a). Effects of a secondary task on obstacle avoidance in healthy young adults. *Experimental Brain Research*, 184(1), 115-120.
- Siu, K. C., Chou, L. S., Mayr, U., Donkelaar, P. V., & Woollacott, M. H. (2008). Does inability to allocate attention contribute to balance constraints during gait in older adults?. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 63(12), 1364-1369.
- Smilek, D., & Frisken, A. (2013). The "cold" and "hot" sides of attention. *Oxford handbook of social cognition*, 313-328.
- Smiley-Oyen, A. L., Lowry, K. A., Francois, S. J., Kohut, M. L., & Ekkekakis, P. (2008). Exercise, fitness, and neurocognitive function in older adults: the "selective improvement" and "cardiovascular fitness" hypotheses. *Annals of Behavioral Medicine*, 36(3), 280-291. doi: 10.1007/s12160-008-9064-5.
- Smith, C. D., Umberger, G. H., Manning, E. L., Slevin, J. T., Wekstein, D. R., Schmitt, F. A., ... & Gash, D. M. (1999). Critical decline in fine motor hand movements in human aging. *Neurology*, 53(7), 1458-1458.
- Smith, E., Cusack, T., & Blake, C. (2016). The effect of a dual task on gait speed in community dwelling older adults: A systematic review and meta-analysis. *Gait & Posture*, 44, 250-258. doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.12.017.
- Smith, M. D., & Chamberlin, C. J. (1992). Effect of adding cognitively demanding tasks on soccer skill performance. *Perceptual and Motor Skills*, 75(3), 955-961. doi: 10.2466/pms.1992.75.3.955.
- Smolders, C., Doumas, M., & Krampe, R. T. (2010). Posture and cognition interfere in later adulthood even without concurrent response production. *Human Movement Science*, 29(5), 809-819. doi: 10.1016/j.humov.2009.07.009.
- Sobol, N. A., Hoffmann, K., Vogel, A., Lolk, A., Gottrup, H., Høgh, P., ... & Beyer, N. (2016). Associations between physical function, dual-task performance and cognition in patients with mild Alzheimer's disease. *Aging & Mental Health*, 20(11), 1139-1146.
- Soh, S. E., Morris, M. E., & McGinley, J. L. (2011). Determinants of health-related quality of life in Parkinson's disease: a systematic review. *Parkinsonism & Related Disorders*, 17(1), 1-9.
- Solé-Padullés, C., Bartrés-Faz, D., Junqué, C., Vendrell, P., Rami, L., Clemente, I. C., ... & Barrios, M. (2009). Brain structure and function related to cognitive reserve variables in normal aging, mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*, 30(7), 1114-1124.
- Solso, R. L. (1979). *Cognitive Psychology*. New York: Harcourt Brace Jovanovich.
- Somberg, B. L., & Salthouse, T. A. (1982). Divided attention abilities in young and old adults. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 8(5), 651-663.

- Soumaré, A., Tavernier, B., Alperovitch, A., Tzourio, C., & Elbaz, A. (2009). A cross-sectional and longitudinal study of the relationship between walking speed and cognitive function in community-dwelling elderly people. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 64(10), 1058-1065.
- Spanò, M., Mercuri, E., Randò, T., Pantò, T., Gagliano, A., Henderson, S., & Guzzetta, F. (1999). Motor and perceptual-motor competence in children with Down syndrome: variation in performance with age. *European Journal of Paediatric Neurology*, 3(1), 7-14.
- Sperandio, J. C. (1978) The regulation of working methods as a function of work-load among air traffic controllers. *Ergonomics*, 21(3), 195-202.
- Sperling, G., & Melchner, M. J. (1978). The attention operating characteristic: Examples from visual search. *Science*, 202(4365), 315-318.
- Spildooren, J., Vercruyssen, S., Desloovere, K., Vandenberghe, W., Kerckhofs, E., & Nieuwboer, A. (2010). Freezing of gait in Parkinson's disease: the impact of dual-tasking and turning. *Movement Disorders*, 25(15), 2563-2570.
- Spiriduso, W. W., Poon, L. W., & Chodzko-Zajko, W. J. (2007). *Exercise and its mediating effects on cognition* (Vol. 2). Human Kinetics.
- Spiriduso, W. W., Francis, K. L., & MacRae, P. G. (1995). *Physical Dimensions of Aging*. Human Kinetics
- Spitzer, M. (2002). *Lernen. Gehirnforschung und die Schukle des Lebens*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Springer, S., Giladi, N., Peretz, C., Yogev, G., Simon, E. S., & Hausdorff, J. M. (2006). Dual-tasking effects on gait variability: The role of aging, falls, and executive function. *Movement Disorders*, 21(7), 950-957.
- Stalenhoef, P. A., Diederiks, J. P. M., Knottnerus, J. A., Kester, A. D. M., & Crebolder, H. F. J. M. (2002). A risk model for the prediction of recurrent falls in community-dwelling elderly: a prospective cohort study. *Journal of Clinical Epidemiology*, 55(11), 1088-1094.
- Stangl, W. (2016, 28. Dezember). Explizites Gedächtnis. *Lexikon für Psychologie und Pädagogik*. Zugriff unter <http://lexikon.stangl.eu/2288/explizites-gedaechtnis/>
- Starkstein, S. E., Mizrahi, R., Capizzano, A. A., Acion, L., Brockman, S., & Power, B. D. (2009). Neuroimaging correlates of apathy and depression in Alzheimer's disease. *The Journal of neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 21(3), 259-265. doi: 10.1176/jnp.2009.21.3.259.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2010): Demografischer Wandel in Deutschland, Heft 2: Auswirkungen auf Krankenhausbehandlungen und Pflegebedürftige im Bund und in den Ländern: Wiesbaden.
- Stegemöller, E. L., Wilson, J. P., Hazamy, A., Shelley, M. C., Okun, M. S., Altmann, L. J., & Hass, C. J. (2014). Associations between cognitive and gait performance during single-and dual-task walking in people with Parkinson disease. *Physical Therapy*, 94(6), 757-766.
- Stern, Y. (2002). What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8, 448-460.
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015-2028. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.004.
- Sternberg, S. (1966). High-speed scanning in human memory. *Science*, 153(3736), 652-654.
- Stewart, A. L., Mills, K. M., King, A. C., Haskell, W. L., Gillis, D. A. W. N., & Ritter, P. L. (2001). CHAMPS physical activity questionnaire for older adults: outcomes for interventions. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(7), 1126-1141.
- Stock, A., & Stock, C. (2004). A short history of ideo-motor action. *Psychological Research*, 68(2-3), 176-188.

- Stoffregen, T. A., Hove, P., Bardy, B. G., Riley, M., & Bonnet, C. T. (2007). Postural stabilization of perceptual but not cognitive performance. *Journal of Motor Behavior*, 39(2), 126-138.
- Stoffregen, T. A., Pagulayan, R. J., Bardy, B. G., & Hettinger, L. J. (2000). Modulating postural control to facilitate visual performance. *Human Movement Science*, 19(2), 203-220.
- Stoffregen, T. A., Smart, L. J., Bardy, B. G., & Pagulayan, R. J. (1999). Postural stabilization of looking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(6), 1641-1658.
- Stoodley, C. J., Valera, E. M., & Schmahmann, J. D. (2012). Functional topography of the cerebellum for motor and cognitive tasks: an fMRI study. *Neuroimage*, 59(2), 1560-1570.
- Strayer, D. L., & Drews, F. A. (2007a). Cell-phone-induced driver distraction. *Current Directions in Psychological Science*, 16(3), 128-131.
- Strayer, D. L., & Drews, F. A. (2007b). Multi-tasking in the automobile. *Attention: From Theory to Practice*, 121-133.
- Strayer, D. L., & Johnston, W. A. (2001). Driven to distraction: Dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. *Psychological Science*, 12(6), 462-466.
- Strouwen, C., Molenaar, E. A., Keus, S. H., Münks, L., Heremans, E., Vandenbergh, W., ... & Nieuwboer, A. (2016). Are factors related to dual-task performance in people with Parkinson's disease dependent on the type of dual task?. *Parkinsonism & Related Disorders*, 23, 23-30.
- Sturnieks, D. L., St. George, R., Fitzpatrick, R. C., & Lord, S. R. (2008). Effects of spatial and non-spatial memory tasks on choice stepping reaction time in older people. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 63(10), 1063-1068.
- Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological Research*, 63(3-4), 289-298.
- Suchy, Y. (2009). Executive functioning: Overview, assessment, and research issues for non-neuropsychologists. *Annals of Behavioral Medicine*, 37(2), 106-116.
- Sullivan, E. V., & Pfefferbaum, A. (2006). Diffusion tensor imaging and aging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(6), 749-761. doi: 10.1016/j.neubiorev.2006.06.002.
- Sutton, A. J., Abrams, K. R., Jones, D. R., Jones, D. R., Sheldon, T. A., & Song, F. (2000). *Methods for Meta-Analysis in Medical Research* (Vol. 348). Chichester: Wiley.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150(3700), 1187-1188.
- Šveljo, O., Čulić, M., Koprivšek, K., & Lučić, M. (2014). The functional neuroimaging evidence of cerebellar involvement in the simple cognitive task. *Brain Imaging and Behavior*, 8(4), 480-486.
- Swan, L., Otani, H., Loubert, P. V., Sheffert, S. M., & Dunbar, G. L. (2004). Improving balance by performing a secondary cognitive task. *British Journal of Psychology*, 95(1), 31-40.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293.
- Swoap, R. A., Norvell, N., Graves, J. E., & Pollock, M. L. (1994). High versus moderate intensity aerobic exercise in older adults: psychological and physiological effects. *Journal of Aging and Physical Activity*, 2(4), 293-303.
- Tabachnick, B. G., and Fidell, L. S. (2013). *Using Multivariate Statistics*, 6th Edn. Boston, MA: Pearson.
- Takakusaki, K., Oohinata-Sugimoto, J., Saitoh, K., & Habaguchi, T. (2004). Role of Basal Ganglia-Brainstem Systems in the Control of Postural Muscle Tone and Locomotion. *Progress in Brain Research*, 143, 231-237.

- Takkouche, B., Cadarso-Suarez, C., & Spiegelman, D. (1999). Evaluation of old and new tests of heterogeneity in epidemiologic meta-analysis. *American Journal of Epidemiology*, *150*(2), 206-215.
- Tal-Saban, M., Zarka, S., Grotto, I., Ornoy, A., & Parush, S. (2012). The functional profile of young adults with suspected developmental coordination disorder (DCD). *Research in Developmental Disabilities*, *33*(6), 2193-2202.
- Tarnanas, I., Papaqiannopoulos, S., Kazis, D., Wiederhold, M., Widerhold, B., & Tsolaki, M. (2015). Reliability of a novel serious game using dual-task gait profiles to early characterize aMCI. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *7*(50), 1-15.
- Taylor, J. E. T., Witt, J. K., & Sugovic, M. (2011). When walls are no longer barriers: Perception of wall height in parkour. *Perception*, *40*(6), 757-760.
- Taylor, M. E., Delbaere, K., Mikolaizak, A. S., Lord, S. R., & Close, J. C. (2013). Gait parameter risk factors for falls under simple and dual task conditions in cognitively impaired older people. *Gait & Posture*, *37*(1), 126-130. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.06.024
- Teicher, M. H., & Samson, J. A. (2016). Annual research review: enduring neurobiological effects of childhood abuse and neglect. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *57*(3), 241-266.
- Teigen, K. H. (1994). Yerkes-Dodson: A law for all seasons. *Theory & Psychology*, *4*(4), 525-547.
- Thalmann, B., Monsch, A. U., & Bernasconi, F. (1998). Die CERAD Neuropsychologische Testbatterie. Ein gemeinsames minimales Instrumentarium zur Demenzabklärung. Memory Clinic, Geriatriische Universitätsklinik, Helbelstrasse, 10.
- Thomas, A. J., O'Brien, J. T., Davis, S., Ballard, C., Barber, R., Kalaria, R. N., & Perry, R. H. (2002). Ischemic basis for deep white matter hyperintensities in major depression: a neuropathological study. *Archives of General Psychiatry*, *59*(9), 785-792.
- Timmann, D., Drepper, J., Frings, M., Maschke, M., Richter, S., Gerwig, M. E. E. A., & Kolb, F. P. (2010). The human cerebellum contributes to motor, emotional and cognitive associative learning. A review. *Cortex*, *46*(7), 845-857.
- Timmer, A., & Richter, B. (2008). Systematische Übersichtsarbeiten zu Fragen der Therapie und Prävention. *Arzneimitteltherapie*, *26*, 299-303.
- Tirapu-Ustarroz, J., Luna-Lario, P., Iglesias-Fernandez, M. D., & Hernaez-Goni, P. (2011). Cerebellar contribution to cognitive process: current advances. *Revista de Neurologia*, *53*(5), 301-315.
- Tisserand, D. J., Visser, P. J., Van Boxtel, M. P. J., & Jolles, J. (2000). The relation between global and limbic brain volumes on MRI and cognitive performance in healthy individuals across the age range. *Neurobiology of Aging*, *21*(4), 569-576.
- Titchener, Edward Bradford (1908): Lectures on the elementary psychology of feeling and attention: Macmillan.
- Titz, C., & Karbach, J. (2014). Working memory and executive functions: effects of training on academic achievement. *Psychological Research*, *78*(6), 852-868. doi: 10.1007/s00426-013-0537-1.
- Tombaugh, T. N. (2004). Trail Making Test A and B: normative data stratified by age and education. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *19*(2), 203-214.
- Tombu, M., & Jolicoeur, P. (2003). A central capacity sharing model of dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*(1), 3-18.
- Tomporowski, P. D. (2006): Physical activity, cognition, and aging: A review of reviews. In: *Active Living, Cognitive Functioning, and Aging*, (1), 15-32.
- Tomporowski, P. D., Horvat, M. A., & McCullick, B. A. (2010). *Role of Contextual Interference and Mental Engagement on Learning*. Nova Science Publishers.

- Torriani-Pasin, C., Bonuzzi, G. M., Soares, M. A., Antunes, G. L., Palma, G. C., Monteiro, C. B., ... & Corrêa, U. C. (2013). Performance of Down syndrome subjects during a coincident timing task. *International Archives of Medicine*, *6*(1), 15.
- Treisman, A., Davies, A., & Kornblum, S. (1973). Divided attention between eye and ear. In S. Kornblum (Eds.), *Attention and Performance*. Academic Press, New York.
- Tsai, C. L., Pan, C. Y., Cherng, R. J., & Wu, S. K. (2009). Dual-task study of cognitive and postural interference: A preliminary investigation of the automatization deficit hypothesis of developmental co-ordination disorder. *Child: Care, Health and Development*, *35*, 551-560.
- Tseng, B. Y., Cullum, C. M., & Zhang, R. (2014). Older adults with amnesic mild cognitive impairment exhibit exacerbated gait slowing under dual-task challenges. *Current Alzheimer Research*, *11*(5), 494–500.
- Tseng, J., Jeng, C., & Yuan, R. Y. (2012). Comparisons of forward and backward gait between poorer and better attention capabilities in early Parkinson's disease. *Gait & Posture*, *36*(3), 367-371.
- Tudella, E., Pereira, K., Basso, R. P., & Savelsbergh, G. J. (2011). Description of the motor development of 3–12 month old infants with Down syndrome: The influence of the postural body position. *Research in Developmental Disabilities*, *32*(5), 1514-1520.
- Ulrich, D. A., Ulrich, B. D., Angulo-Kinzler, R. M., & Yun, J. (2001). Treadmill training of infants with Down syndrome: evidence-based developmental outcomes. *Pediatrics*, *108*(5), e84. doi: 10.1542/peds.108.5.e84
- Underwood, G. (1982). Attention and awareness in cognitive and motor skills. *Aspects of Consciousness*, *3*, 111-145.
- Ungerleider, L. G. (1982). Two cortical visual systems. *Analysis of Visual Behavior*, 549-586.
- Vaillant, J., Martigné, P., Vuillerme, N., Caillat-Mioussé, J. L., Parisot, J., Juvin, R., & Nougier, V. (2006). Modification des performances au Timed «Up and Go» test et à l'appui monopodal par l'addition d'une charge cognitive: valeur discriminative des résultats. In *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, *49*(1), S 1–7. doi: 10.1016/j.annrmp.2005.07.002.
- Vallesi, A. (2016). Dual-task costs in aging are predicted by formal education. *Aging Clinical and Experimental Research*, *28*(5), 959–964.
- Van Allen, M. I., Fung, J., & Jurenka, S. B. (1999). Health care concerns and guidelines for adults with Down syndrome. *American Journal of Medical Genetics*, *89*(2), 100-110.
- van der Fels, I. M., te Wierike, S. C., Hartman, E., Elferink-Gemser, M. T., Smith, J., & Visscher, C. (2015). The relationship between motor skills and cognitive skills in 4–16 year old typically developing children: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *18*(6), 697-703.
- van Iersel, M. B., Hoefsloot, W., Munneke, M., Bloem, B. R., & Olde Rikkert, M. G. M. (2004). Systematic review of quantitative clinical gait analysis in patients with dementia. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, *37*(1), 27–32. doi: 10.1007/s00391-004-0176-7
- Van Kan, G. A., Rolland, Y., Andrieu, S., Bauer, J., Beauchet, O., Bonnefoy, M., ... & Nourhashemi, F. (2009). Gait speed at usual pace as a predictor of adverse outcomes in community-dwelling older people an International Academy on Nutrition and Aging (IANA) Task Force. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, *13*(10), 881-889.
- Van Kan, G. A., Rolland, Y., Andrieu, S., Bauer, J., Beauchet, O., Bonnefoy, M., ... & Nourhashemi, F. (2009). Gait speed at usual pace as a predictor of adverse outcomes in community-dwelling older people an International Academy on Nutrition and Aging (IANA) Task Force. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, *13*(10), 881-889.
- van Roon, D., Caeyenberghs, K., Swinnen, S. P., & Smits-Engelsman, B. C. (2008). Development of feedforward control in a dynamic manual tracking task. *Child Development*, *79*, 852-865.

- van Trotsenburg, A. P., Heymans, H. S., Tijssen, J. G., de Vijlder, J. J., & Vulsma, T. (2006). Comorbidity, hospitalization, and medication use and their influence on mental and motor development of young infants with Down syndrome. *Pediatrics*, *118*(4), 1633-1639.
- Vance, R. C., Healy, D. G., Galvin, R., & French, H. P. (2015). Dual tasking with the timed "up & go" test improves detection of risk of falls in people with Parkinson disease. *Physical Therapy*, *95*(1), 95-102.
- Vandendriessche, J. B., Vandorpe, B., Coelho-e-Silva, M. J., Vaeyens, R., Lenoir, M., Lefevre, J., & Philippaerts, R. M. (2011). Multivariate association among morphology, fitness, and motor coordination characteristics in boys age 7 to 11. *Pediatric Exercise Science*, *23*(4), 504-520.
- Verghese, J., Buschke, H., Viola, L., Katz, M., Hall, C., Kuslansky, G., & Lipton, R. (2002). Validity of divided attention tasks in predicting falls in older individuals: a preliminary study. *Journal of the American Geriatrics Society*, *50*(9), 1572-1576.
- Verghese, J., Holtzer, R., Lipton, R. B., & Wang, C. (2009). Quantitative gait markers and incident fall risk in older adults. *The Journals of Gerontology: Series A*, *64*(8), 896-901. doi: 10.1093/gerona/glp033.
- Verghese, J., Kuslansky, G., Holtzer, R., Katz, M., Xue, X., Buschke, H., & Pahor, M. (2007). Walking while talking: effect of task prioritization in the elderly. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *88*(1), 50-53.
- Verghese, J., Lipton, R. B., Katz, M. J., Hall, C. B., Derby, C. A., Kuslansky, G., ... & Buschke, H. (2003). Leisure activities and the risk of dementia in the elderly. *New England Journal of Medicine*, *348*(25), 2508-2516. doi: 10.1056/NEJMoa022252.
- Verghese, J., Mahoney, J., Ambrose, A.F., Wang, C.L., & Holtzer, R. (2010). Effect of cognitive remediation on gait in sedentary seniors. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *65*, 1338-1343.
- Verghese, J., Robbins, M., Holtzer, R., Zimmerman, M., Wang, C., Xue, X., & Lipton, R. B. (2008). Gait dysfunction in mild cognitive impairment syndromes. *Journal of the American Geriatrics Society*, *56*(7), 1244-1251.
- Verghese, J., Wang, C., Lipton, R. B., & Holtzer, R. (2012). Motoric cognitive risk syndrome and the risk of dementia. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, *68*(4), 412-418.
- Verrel, J., Lövdén, M., Schellenbach, M., Schaefer, S., & Lindenberger, U. (2009). Interacting effects of cognitive load and adult age on the regularity of whole-body motion during treadmill walking. *Psychology and Aging*, *24*(1), 75-81.
- Vervoort, G., Heremans, E., Bengevoerd, A., Strouwen, C., Nackaerts, E., Vandenberghe, W., & Nieuwboer, A. (2016). Dual-task-related neural connectivity changes in patients with Parkinson disease. *Neuroscience*, *317*, 36-46.
- Virji-Babul, N., Kerns, K., Zhou, E., Kapur, A., & Shiffrar, M. (2006). Perceptual-motor deficits in children with Down syndrome: Implications for intervention. *Down Syndrome Research and Practice*, *10*(2), 74-82.
- Visser, J. (2007). Subtypes and co-morbidities. In R. H. Geuze (Ed.), *Developmental Coordination Disorder: A Review of Current Approaches* (pp. 83-110). Marseille, France: Solal.
- Voelcker-Rehage, C. (2008). Motor-skill learning in older adults—a review of studies on age-related differences. *European Review of Aging and Physical Activity*, *5*(1), 5-16.
- Voelcker-Rehage, C., & Willimczik, K. (2006). Motor plasticity in a juggling task in older adults—a developmental study. *Age and Ageing*, *35*(4), 422-427
- Vogel, A. C., Power, J. D., Petersen, S. E. & Schlaggar, B. L. (2010). Development of the brain's functional network architecture. *Neuropsychology Review*, *20*, 362-375.

- Volkow, N. D., Gur, R. C., Wang, G. J., Fowler, J. S., Moberg, P. J., Ding, Y. S., ... & Logan, J. (1998). Association between decline in brain dopamine activity with age and cognitive and motor impairment in healthy individuals. *American Journal of Psychiatry*, *155*(3), 344-349. doi: 10.1176/ajp.155.3.344.
- Voss, M. W., Erickson, K. I., Chaddock, L., Prakash, R. S., Colcombe, S. J., Morris, K. S., ... & Kramer, A. F. (2008). Dedifferentiation in the visual cortex: an fMRI investigation of individual differences in older adults. *Brain Research*, *1244*, 121-131. doi: 10.1016/j.brainres.2008.09.051.
- Vuillerme, N., & Nafati, G. (2007). How attentional focus on body sway affects postural control during quiet standing. *Psychological Research*, *71*(2), 192-200.
- Vuillerme, N., & Nougier, V. (2004). Attentional demand for regulating postural sway: the effect of expertise in gymnastics. *Brain Research Bulletin*, *63*(2), 161-165. doi: 10.1016/j.brainres-bull.2004.02.006.
- Vuillerme, N., & Vincent, H. (2006). How performing a mental arithmetic task modify the regulation of centre of foot pressure displacements during bipedal quiet standing. *Experimental Brain Research*, *169*(1), 130-134.
- Vuillerme, N., Nougier, V., & Teasdale, N. (2000). Effects of a reaction time task on postural control in humans. *Neuroscience Letters*, *291*(2), 77-80.
- Wade, M. G., Emmerick, R. V., & Kernozek, T. W. (2000). Atypical dynamics of motor behavior in Down syndrome. *Perceptual-Motor Behavior in Down Syndrome*, 277-303.
- Walshe, E. A., Patterson, M. R., Commins, S., & Roche, R. A. (2015). Dual-task and electrophysiological markers of executive cognitive processing in older adult gait and fall-risk. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*, 200. doi: 10.3389/fnhum.2015.00200
- Wang, H. Y., Long, I. M., & Liu, M. F. (2012). Relationships between task-oriented postural control and motor ability in children and adolescents with Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities*, *33*(6), 1792-1798
- Wang, Z., Devine, R. T., Wong, K. K., & Hughes, C. (2016). Theory of mind and executive function during middle childhood across cultures. *Journal of Experimental Child Psychology*, *149*, 6-22.
- Wassenberg, R., Feron, F. J., Kessels, A. G., Hendriksen, J. G., Kalff, A. C., Kroes, M., ... & Vles, J. S. (2005). Relation between cognitive and motor performance in 5-to 6-year-old children: Results from a large-scale cross-sectional study. *Child Development*, *76*(5), 1092-1103.
- Wasserman, T., & Wasserman, L. D. (2012). The sensitivity and specificity of neuropsychological tests in the diagnosis of attention deficit hyperactivity disorder. *Applied Neuropsychology: Child*, *1*(2), 90-99. doi: 10.1080/21622965.2012.702025.
- Wasserman, T., & Wasserman, L. D. (2013). Toward an integrated model of executive functioning in children. *Applied Neuropsychology: Child*, *2*(2), 88-96. doi:10.1080/21622965.2013.748394.
- Watanabe, D., Savion-Lemieux, T., & Penhune, V. B. (2007). The effect of early musical training on adult motor performance: evidence for a sensitive period in motor learning. *Experimental Brain Research*, *176*(2), 332-340
- Watson, G. S., & Leverenz, J. B. (2010). Profile of cognitive impairment in Parkinson's disease. *Brain Pathology*, *20*(3), 640-645.
- Watson, N. L., Rosano, C., Boudreau, R. M., Simonsick, E. M., Ferrucci, L., Sutton-Tyrrell, K., ... & Harris, T. B. (2010). Executive function, memory, and gait speed decline in well-functioning older adults. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, *65*(10), 1093-1100.
- Weerdesteyn, V., Schillings, A. M., Van Galen, G. P., & Duysens, J. (2003). Distraction affects the performance of obstacle avoidance during walking. *Journal of Motor Behavior*, *35*(1), 53-63.

- Weir, J. P. (2005). Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(1), 231-240.
- Weisz, J. R., & Yeates, K. O. (1981). Cognitive development in retarded and nonretarded persons: Piagetian tests of the similar structure hypothesis. *Psychological Bulletin*, 90(1), 153.
- Weisz, J. R., & Zigler, E. (1979). Cognitive development in retarded and nonretarded persons: Piagetian tests of the similar sequence hypothesis. *Psychological Bulletin*, 86(4), 831-851.
- Welford, A. T. (1952). The 'psychological refractory period' and the timing of high-speed performance—a review and a theory. *British Journal of Psychology. General Section*, 43(1), 2-19.
- Wen, W., & Sachdev, P. (2004). The topography of white matter hyperintensities on brain MRI in healthy 60-to 64-year-old individuals. *Neuroimage*, 22(1), 144-154. doi: 10.1016/j.neuroimage.2003.12.027.
- Wenning, G. K., Ebersbach, G., Verny, M., Chaudhuri, K. R., Jellinger, K., McKee, A., ... & Litvan, I. (1999). Progression of falls in postmortem-confirmed parkinsonian disorders. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 14(6), 947-950.
- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin*, 120(2), 272-292.
- Whitall, J. (1991). The developmental effect of concurrent cognitive and locomotor skills: Time-sharing from a dynamical perspective. *Journal of Experimental Child Psychology*, 51(2), 245-266.
- Wickens, C. D. (1976). The effects of divided attention on information processing in manual tracking. *Journal of experimental psychology. Human Perception and Performance*, 2(1), 1-13.
- Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. *Attention and Performance*, 8, 239-257.
- Wickens, C. D. (1984a): Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.), *Varieties of Attention*. Academic Press, London.
- Wickens, C. D. (1984b): *Engineering Psychology and Human Performance*. Columbus: Merrill.
- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449-455.
- Wickens, C. D., & Liu, Y. (1988). Codes and modalities in multiple resources: A success and a qualification. *Human Factors*, 30(5), 599-616.
- Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2015). *Engineering Psychology & Human Performance*. Psychology Press.
- Wickens, C. D. (1992): *Engineering Psychology and Human Performance*: HarperCollins Publishers.
- Wild, L. B., de Lima, D. B., Balardin, J. B., Rizzi, L., Giacobbo, B. L., Oliveira, H. B., ... & Bromberg, E. (2013). Characterization of cognitive and motor performance during dual-tasking in healthy older adults and patients with Parkinson's disease. *Journal of Neurology*, 260(2), 580-589.
- Will, E., Fidler, D. J., Daunhauer, L., & Gerlach-McDonald, B. (2017). Executive function and academic achievement in primary-grade students with Down syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research*, 61(2), 181-195. doi: 10.1111/jir.12313.
- Williams, P., & Lord, S. R. (1997). Effects of group exercise on cognitive functioning and mood in older women. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 21(1), 45-52.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625-636.
- Wilson, P. H. (2015). Neurocognitive processing deficits in children with Developmental Coordination Disorder. In J. Cairney (Ed.), *Developmental Coordination Disorder and its consequences* (pp. 138-165). Toronto, Canada: University of Toronto Press.

- Wilson, P. H., Ruddock, S., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Blank, R. (2013). Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: a meta-analysis of recent research. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *55*(3), 217–228.
- Wilson, P. H., Smits-Engelsman, B., Caeyenberghs, K., Steenbergen, B., Sugden, D., Clark, J., ... & Blank, R. (2017). Cognitive and neuroimaging findings in developmental coordination disorder: new insights from a systematic review of recent research. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *59*(11), 1117-1129.
- Wilson, R. S., Bennett, D. A., Bienias, J. L., Aggarwal, N. T., De Leon, C. M., Morris, M. C., ... & Evans, D. A. (2002). Cognitive activity and incident AD in a population-based sample of older persons. *Neurology*, *59*(12), 1910-1914.
- Wilson, R. S., Boyle, P. A., Yu, L., Barnes, L. L., Schneider, J. A., & Bennett, D. A. (2013). Life-span cognitive activity, neuropathologic burden, and cognitive aging. *Neurology*, *81*(4), 314-321.
- Wilson, R. S., De Leon, C. F. M., Barnes, L. L., Schneider, J. A., Bienias, J. L., Evans, D. A., & Bennett, D. A. (2002). Participation in cognitively stimulating activities and risk of incident Alzheimer disease. *Jama*, *287*(6), 742-748. doi: 10.1001/jama.287.6.742
- Winders, P. C. (1997). *Gross Motor Skills in Children with Down syndrome: A Guide for Parents and Professionals*. Bethesda, MD: Woodbine House.
- Wirtz, M. (2004). Über das Problem fehlender Werte: Wie der Einfluss fehlender Informationen auf Analyseergebnisse entdeckt und reduziert werden kann. *Die Rehabilitation*, *43*(02), 109-115.
- Wisniewski, K. E. (1990). Down syndrome children often have brain with maturation delay, retardation of growth, and cortical dysgenesis. *American Journal of Medical Genetics*, *37*(S7), 274-281.
- Wittwer, J. E., Webster, K. E., & Hill, K. (2014). The effects of a concurrent motor task on walking in Alzheimer's disease. *Gait & Posture*, *39*(1), 291-296. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.07.126
- Wolbers, T., & Wiener, J. M. (2014). Challenges for identifying the neural mechanisms that support spatial navigation: the impact of spatial scale. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 571. doi: 10.3389/fnhum.2014.00571.
- Wolbers, T., & Wiener, J. M. (2014). Challenges for identifying the neural mechanisms that support spatial navigation: the impact of spatial scale. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*(571), 1-12.
- Wollesen, B., & Voelcker-Rehage, C. (2014). Training effects on motor–cognitive dual-task performance in older adults. *European Review of Aging and Physical Activity*, *11*(1), 5-24.
- Wollesen, B., Voelcker-Rehage, C., Regenbrecht, T., & Mattes, K. (2016). Influence of a visual–verbal Stroop test on standing and walking performance of older adults. *Neuroscience*, *318*, 166-177.
- Wolpert, D. M., Miall, R. C., & Kawato, M. (1998). Internal models in the cerebellum. *Trends in Cognitive Sciences*, *2*(9), 338-347.
- Wood, B. H., Bilclough, J. A., Bowron, A., & Walker, R. W. (2002). Incidence and prediction of falls in Parkinson's disease: a prospective multidisciplinary study. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *72*(6), 721-725.
- Woodruff-Pak, D. S. (1997). *The Neuropsychology of Aging*. Blackwell Publishing.
- Woollacott, M. H. (1986). The development of the postural and voluntary motor control systems in Down's syndrome children. In *Advances in Psychology* (Vol. 31, pp. 45-71). North-Holland.
- Woollacott, M. H. (1993). Age-related changes in posture and movement. *Journal of Gerontology*, *48*, 56-60.
- Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, *16*(1), 1-14. doi: 10.1016/S0966-6362(01)00156-4

- World Health Organization (WHO) (1995) Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee. Technical Report Series No. 854. WHO, Geneva
- World Health Organization. (2000). Internationale Klassifikation psychischer Störungen: ICD-10, Kapitel V (F); diagnostische Kriterien für Forschung und Praxis.
- Pugh, K. G., & Lipsitz, L. A. (2002). The microvascular frontal-subcortical syndrome of aging. *Neurobiology of Aging*, 23(3), 421-431.
- World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *Jama*, 310(20), 2191-2194.
- Wu, T., Kansaku, K., & Hallett, M. (2004). How self-initiated memorized movements become automatic: a functional MRI study. *Journal of Neurophysiology*, 91(4), 1690-1698.
- Wulf, G., McNevin, N., & Shea, C. H. (2001). The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 54(4), 1143-1154.
- Wulf, G., Mercer, J., McNevin, N., & Guadagnoli, M. A. (2004). Reciprocal influences of attentional focus on postural and suprapostural task performance. *Journal of Motor Behavior*, 36(2), 189-199.
- Wundt, Wilhelm Max (1874): Grundzüge de physiologischen Psychologie: W. Engelman.
- Xu, F., Han, Y., Sabbagh, M. A., Wang, T., Ren, X., & Li, C. (2013). Developmental differences in the structure of executive function in middle childhood and adolescence. *PLoS ONE*, 8(10), e77770.
- Yaffe, K., Fiocco, A. J., Lindquist, K., Vittinghoff, E., Simonsick, E. M., Newman, A. B., ... & Harris, T. B. (2009). Predictors of maintaining cognitive function in older adults The Health ABC Study. *Neurology*, 72(23), 2029-2035.
- Yamada, M., & Ichihashi, N. (2010). Predicting the probability of falls in community-dwelling elderly individuals using the trail-walking test. *Environmental Health & Preventive Medicine*, 15, 386-391.
- Yamada, M., Tanaka, B., Nagai, K., Aoyama, T., & Ichihashi, N. (2010). Trail-Walking Exercise and Fall Risk Factors in Community-Dwelling Older Adults: Preliminary Results of a Randomized Controlled Trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 58(10), 1946-1951.
- Yan, J. H. (2000). Effects of aging on linear and curvilinear aiming arm movements. *Experimental Aging Research*, 26(4), 393-407.
- Yan, J. H., Abernethy, B., & Li, X. (2010). The effects of ageing and cognitive impairment on on-line and off-line motor learning. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 24(2), 200-212.
- Yan, J. H., Thomas, J. R., Stelmach, G. E., & Thomas, K. T. (2000). Developmental features of rapid aiming arm movements across the lifespan. *Journal of Motor Behavior*, 32(2), 121-140.
- Yardley, L., Gardner, M., Bronstein, A., Davies, R., Buckwell, D., & Luxon, L. (2001). Interference between postural control and mental task performance in patients with vestibular disorder and healthy controls. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 71(1), 48-52.
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18(5), 459-482.
- Yesavage, J. A., & Sheikh, J. I. (1986). 9/1 Geriatric depression scale (GDS) recent evidence and development of a shorter version. *Clinical Gerontologist*, 5(1-2), 165-173.
- Yogev, G., Giladi, N., Peretz, C., Springer, S., Simon, E. S., & Hausdorff, J. M. (2005). Dual tasking, gait rhythmicity, and Parkinson's disease: which aspects of gait are attention demanding?. *European Journal of Neuroscience*, 22(5), 1248-1256.

- Yogev, G., Plotnik, M., Peretz, C., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2007). Gait asymmetry in patients with Parkinson's disease and elderly fallers: when does the bilateral coordination of gait require attention?. *Experimental Brain Research*, 177(3), 336-346.
- Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 23(3), 329-342. doi: 10.1002/mds.21720.
- Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2012). Do we always prioritize balance when walking? Towards an integrated model of task prioritization. *Movement Disorders*, 27(6), 765-770. doi: 10.1002/mds.24963
- Yogev-Seligmann, G., Rotem-Galili, Y., Dickstein, R., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2012). Effects of explicit prioritization on dual task walking in patients with Parkinson's disease. *Gait & Posture*, 35(4), 641-646. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.12.016.
- Yogev-Seligmann, G., Rotem-Galili, Y., Mirelman, A., Dickstein, R., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2010). How does explicit prioritization alter walking during dual-task performance? Effects of age and sex on gait speed and variability. *Physical Therapy*, 90(2), 177-186.
- Zakzanis K. K., Mraz R., Graham S. J. (2005). An fMRI study of the Trail Making Test. *Neuropsychologia*, 43, 1878-1886.
- Zampieri, C., Salarian, A., Carlson-Kuhta, P., Aminian, K., Nutt, J. G., & Horak, F. B. (2010). The instrumented timed up and go test: potential outcome measure for disease modifying therapies in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 81(2), 171-176.
- Zanjani, F., Downer, B. G., Kruger, T. M., Willis, S. L., & Schaie, K. W. (2013). Alcohol effects on cognitive change in middle-aged and older adults. *Aging & Mental Health*, 17(1), 12-23. doi: 10.1080/13607863.2012.717254.
- Zelazo, P. D., Anderson, J. E., Richler, J., Wallner-Allen, K., Beaumont, J. L., & Weintraub, S. (2013). II. NIH Toolbox Cognition Battery (CB): Measuring executive function and attention. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 78(4), 16-33.
- Zelazo, P. D., & Müller, U. (2002). Executive function in typical and atypical development. *Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development*, 445-469.
- Zelinski, E. M., & Burnight, K. P. (1997). Sixteen-year longitudinal and time lag changes in memory and cognition in older adults. *Psychology and Aging*, 12(3), 503.
- Zelinski, E. M., & Stewart, S. T. (1998). Individual differences in 16-year memory changes. *Psychology and Aging*, 13(4), 622-630.
- Ziegler, E. (1982). Motivational and personality factors in the performance of the retarded. E. Ziegler & D. Balla. *Mental Retardation. The developmental Difference Controversy*, 9-26.
- Zigler, E. (1969). Developmental versus difference theories of mental retardation and the problem of motivation. *American Journal of Mental Deficiency*, 73(4), 536-556.
- Zigler, E., & Balla, D. (Eds.). (2013). *Mental retardation: The Developmental-Difference Controversy*. Routledge.
- Zijlstra, A., Ufkes, T., Skelton, D. A., Lundin-Olsson, L., & Zijlstra, W. (2008). Do dual tasks have an added value over single tasks for balance assessment in fall prevention programs? A mini-review. *Gerontology*, 54(1), 40-49. doi: 10.1159/000117808.
- Zimber, A. (2016). Multitasking besser verstehen und bewältigen. In *Gesund trotz Multitasking* (pp. 1-24). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Zimmerman, M. E., Brickman, A. M., Paul, R. H., Grieve, S. M., Tate, D. F., Gunstad, J., ... & Whitford, T. J. (2006). The relationship between frontal gray matter volume and cognition varies across the healthy adult lifespan. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 14(10), 823-833. doi: 10.1097/01.JGP.0000238502.40963.ac.

Anhang

A. Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertation: „Muster motorisch-kognitiver Interferenzen über die Lebensspanne bei motorischer und kognitiver Beeinträchtigung“ selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Alle Stellen, einschließlich Tabellen und Abbildungen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, habe ich unter genauer Angabe der Quelle deutlich als Entlehnung kenntlich gemacht.

Die Dissertation wurde in dieser oder in einer ähnlichen Form an keiner anderen Stelle des In- oder Auslands zum Zwecke einer Prüfungs- oder Qualifikationsleistung vorgelegt.

Die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung sind mir bekannt. Ich versichere an Eides statt, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit erklärt und nichts verschwiegen habe.

Stuttgart, den 19.09.2019



Unterschrift

B. Einverständniserklärung

1. Hiermit erkläre ich mich einverstanden, dass alle von mir erfassten Daten im Rahmen des Forschungsprojektes „Muster motorisch-kognitive Interferenzen über die Lebensspanne bei motorischer und kognitiver Einschränkung“, für wissenschaftliche Aufbereitungen und Auswertungen genutzt werden dürfen. Bei Präsentationen und Publikationen werden die Angaben zur Person so verändert, dass die Anonymität gewährleistet ist.

ja nein

2. Ich bin mir darüber im Klaren, dass es mir freisteht, die Teilnahme am Versuch zu verweigern und dass ich jederzeit eine einmal gegebene Zustimmung widerrufen kann. Ich wurde darüber aufgeklärt, dass ich jederzeit, ohne Angabe von Gründen das Experiment abbrechen kann. Daraus resultieren keine Konsequenzen für mich.

ja nein

3. Zusätzlich erkläre ich mich damit einverstanden, dass alle Daten im wissenschaftlichen Bereich zum Zwecke der Forschung und Weiterbildung unter Gewährleistung der Anonymität verwendet werden dürfen.

ja nein

4. Abschließend bestätige ich meine Aufklärung hinsichtlich Dauer, Durchführung, Vor- und Nachteile, Vergütung und Abbruchmöglichkeit der durchzuführenden Untersuchung.

ja nein

Datum, Ort

Unterschrift (bei Minderjährigen: Unterschrift eines Erziehungsberechtigten)

.....

.....

Der Untersuchungsleiter verpflichtet sich hiermit, zur Einhaltung der Datenschutzbestimmungen und zur Gewährleistung der Anonymität.

Datum, Ort

Name Untersuchungsleiter

.....

.....

Unterschrift Untersuchungsleiter

.....

C. Informationsblatt

Informationsblatt für Studienteilnehmer/innen

Studie: „Muster motorisch-kognitiver Interferenzen über die Lebensspanne bei motorischer und kognitiver Einschränkung“

Ziel und Inhalt der geplanten Studie

In der experimentellen Psychologie existiert eine lange Forschungstradition, die Effekte bei der simultanen Ausführung von in der Regel zwei Aufgaben untersucht. Dabei kommt das „Doppelaufgabenparadigma“ zur Anwendung. Häufig müssen die Versuchspersonen eine eher kognitive Aufgabe und eine eher sensomotorische Aufgabe ausführen. Im Mittelpunkt des Interesses stehen dabei die sogenannten „Doppelaufgabenkosten“ („dual task costs“, DTC). Diese beschreiben den Leistungsverlust in einer Aufgabe (im Sinne von Einbußen an Genauigkeit oder Geschwindigkeit), der durch die simultane Ausführung der jeweils anderen Aufgabe bewirkt wird.

Neuere Studien zu Altersunterschieden in der simultanen Ausführung von kognitiven und sensomotorischen Aufgaben weisen darauf hin, dass das Gleichgewicht im Alter zunehmend „kognitiver“ wird, das heißt, es erfordert mehr kognitive Ressourcen. Demnach müssten die Leistungseinbußen („Doppelaufgabenkosten“) der kognitiven Aufgabe bei älteren Versuchspersonen höher ausfallen, als bei jüngeren Versuchspersonen (Brown, Shumway-Cook & Woollacott, 2000; Li et al., 2001).

Yamada und Ichihashi (2010) untersuchten die Prognosefähigkeit eines von ihnen entwickelten Trail - Walking Test (TWT) im Hinblick auf das Sturzrisiko älterer Personen. Unter Berücksichtigung der Validität und Reliabilität war der TWT das zutreffendste Instrument, um das Sturzrisiko bei älteren Personen vorherzusagen. Es zeigte sich, dass die Personen, die zwischen der Erstuntersuchung und der follow-up Periode (Nachuntersuchung) gestürzt sind, schlechtere bzw. verlängerte Zeiten im TWT hatten. Dies deutet darauf hin, dass der TWT ein möglicher Prädiktor (Variable, die eine andere vorhersagt) für die Stürze darstellt. Ein neu entworfener TWT soll im Rahmen dieser Studie evaluiert werden und auch bei Kindern und älteren Erwachsenen mit motorischer und kognitiver Einschränkung eingesetzt werden.

Inhalte und Methoden der geplanten Studie

Innerhalb der Studie sollen verschiedene Messinstrumente eingesetzt werden, durch die eine solche Evaluation möglich wird. Zum anderen sollen zusätzliche Daten zur Leistungsfähigkeit des visuellen räumlichen Subsystems des Kurzzeitgedächtnisses und zum Arbeitsgedächtnis erfasst werden. Im Folgenden werden ausschließlich die zentralen Messinstrumente der Studie erwähnt:

Kognitiver Test

TMT „Trail – Making – Test“

Der TMT besteht aus zwei Teilen. Der **erste Teil** kann zur Erfassung der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit benutzt werden und ist dem Zahlen-Verbindungs-Test sehr ähnlich. Auf einem Blatt sind in randomisierter Anordnung Kreise mit Zahlen von 1-25 gedruckt. Diese sollen möglichst schnell mit einem Bleistift verbunden werden. Der **zweite Teil** dient zur Erfassung der Aufmerksamkeitsteilung. Dreizehn Kreise enthalten Zahlen von 1-13 und zwölf Kreise enthalten Buchstaben von A-L. Ein Proband hat die Aufgabe, Zahlen und Buchstaben in alternierender Reihenfolge (1-A-2-B-3-C usw.), so schnell wie möglich, zu verbinden.

Doppelaufgaben

TWT „Trail - Walking Test“

Im TWT „Trail - Walking Test“ werden in einem 16m² (4m*4m) großen Feld, Hütchen mit einer Banderole und einer entsprechenden Bezeichnung in einer vorgegebenen Reihenfolge aufgestellt. Der Test besteht aus insgesamt 3 Bedingungen:

- Bedingung 1 In der ersten Bedingung besteht die Aufgabe darin, den auf der Plane vorgezeigten Weg, so schnell wie möglich abzulaufen.
- Bedingung 2 Hier besteht die Aufgabe darin, sich vom Starthütchen (1) so schnell wie möglich zu dem Endhütchen (15) zu bewegen. Es muss jede Zahl und zwar in aufsteigender Reihenfolge angelaufen werden.
- Bedingung3 In der dritten Bedingung werden Zahlen und Buchstaben auf den dafür vorgesehenen Banderolen präsentiert. Aufgabe besteht diesmal darin, die Zahlen und Buchstaben abwechselnd in aufsteigender Reihenfolge anzulaufen. Auch hier besteht die Aufgabe darin, sich so schnell wie möglich vom Hütchen (1) zum Hütchen (8) zu bewegen.

Fragebogen

Im Anschluss werden 5 Fragebögen zur körperlich – sportlichen Aktivität, dem physischen Selbstkonzept, zu den demografischen Angaben und der sportlichen Biographie abgefragt.

Datenschutz/Anonymität

Es wird hiermit versichert, dass persönliche Daten und Informationen vertraulich behandelt und die Testergebnisse anonym verarbeitet werden. In Publikationen und anderen Veröffentlichungen werden Ergebnisse von Probanden ausschließlich durch einen Probanden-code angegeben. Daten und Informationen der Probanden werde nicht länger aufbewahrt als notwendig und für keinerlei weitere Zwecke verwendet.

Auswertung der Daten

Die erhobenen Daten werden ausschließlich im Rahmen der Forschung verwendet. Im Falle einer Veröffentlichung der Studienergebnisse in einer wissenschaftlichen Zeitschrift bleibt die Vertraulichkeit der persönlichen Daten gewährleistet.

Dieses Informationsblatt gut aufbewahren, damit die Möglichkeit bestehen bleibt noch einmal in Ruhe die Entscheidung zur Teilnahme zu überdenken, bevor eine Einverständnis gegeben wird.

Kontakt Untersuchungsleiter:

Thomas Klotzbier
Universität Stuttgart
Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft
Allmandring 28, 70569 Stuttgart
Phone: +49 711 685 60312
thomas.klotzbier@inspo.uni-stuttgart.de

D. Instruktionstext Trail-Walking Test

Tab. 35: Instruktionstext für die Bedingungen des TWT differenziert nach Erwachsenen und Kindern.

Bedingung	Instruktionen für Erwachsene	Instruktionen für Kinder
TWT-M	„Sie sehen auf der Plane einen vorgezeigten Weg. Versuchen Sie so schnell wie möglich diesen Weg nachzulaufen ohne dabei zu rennen. Wir beginnen von Startposition (START) und laufen bis der Weg nicht mehr angezeigt wird. Bitte achten Sie darauf, die Kreise um die entsprechenden Hütchen zu berühren. Wenn es keine Fragen gibt, kann auf mein Kommando losgelaufen werden. Auf die Plätze, fertig, los!“	„Du siehst auf dem Feld einen vorgezeigten Weg. Versuche so schnell wie möglich, diesen Weg zu gehen. Bitte nicht rennen. Du fängst bei der Startposition (START) an und läufst dem Weg solange nach, bis dieser nichtmehr angezeigt wird. Wichtig ist, dass du mit mindestens einem Fuß die Kreise um ein Hütchen berührst. Hast du den Ablauf verstanden? Wenn ja, kannst du auf mein Kommando loslaufen. Auf die Plätze, fertig, los!“
TWT-A	„Auf der Plane sehen Sie Zahlen von 1 bis 15. Aufgabe ist es, die Zahlen von 1 bis 15 in aufsteigender Reihenfolge so schnell wie möglich anzulaufen ohne dabei zu rennen. Bitte achten Sie darauf, den Kreis um das Hütchen mit mind. einem Fuß zu berühren. Versuchen Sie aber auch, die Hütchen nicht umzuwerfen. Wenn es keine Fragen gibt, kann auf mein Kommando losgelaufen werden. Auf die Plätze, fertig, los!“	„Auf dem Feld stehen einige Hütchen. Auf den Hütchen siehst du verschiedene Zahlen. Siehst du die Zahlen? Du musst versuchen, die Zahlen nacheinander (in aufsteigender Reihenfolge) und so schnell wie möglich anzulaufen. Bitte nicht rennen D.h. du musst von Hütchen 1 zu 2 laufen, von 2 zu 3 usw. Wichtig ist, dass du mit mindestens einem Fuß die Kreise um ein Hütchen berührst, dieses aber nicht umwirfst. Hast du den Ablauf verstanden? Wenn ja, kannst du auf mein Kommando loslaufen. Auf die Plätze, fertig, los!“
TWT-B	„Auf dem Feld sehen Sie Zahlen von 1 bis 8 und Buchstaben von A bis G. Aufgabe ist es, die Zahlen und Buchstaben abwechselnd und in aufsteigender Reihenfolge anzulaufen. Sie laufen von Starthütchen 1 zu Hütchen A, dann zur 2, dann zu B usw. Tun Sie dies so schnell wie möglich ohne dabei zu rennen und achten sie darauf den Kreis um das Hütchen zu berühren. Versuchen Sie aber auch die Hütchen nicht umzuwerfen. Wenn es keine Fragen gibt, kann auf mein Kommando losgelaufen werden. Auf die Plätze, fertig, los!“	„Auf dem Feld stehen einige Hütchen. Auf den Hütchen siehst du diesmal Zahlen und Buchstaben. Siehst du die Zahlen? Siehst du auch die Buchstaben? Du musst versuchen die Zahlen und die Buchstaben abwechselnd und in aufsteigender Reihenfolge so schnell wie möglich anzulaufen. Bitte nicht rennen. D.h. du musst von Hütchen 1 zu A laufen, von A weiter zu der Zahl 2 und dann wieder zu dem Buchstaben B usw. Wichtig ist, dass du mit mindestens einem Fuß die Kreise um ein Hütchen berührst, dieses aber nicht umwirfst. Hast du den Ablauf verstanden? Wenn ja, kannst du auf mein Kommando loslaufen. Auf die Plätze, fertig, los!“

Anmerkung. Die Instruktionen wurden bei den Stichproben mit kognitiver Einschränkung entsprechend angepasst um sicherzustellen, dass die Aufgabenstellung verstanden wurde.

E. Instruktionstext Trail-Making Test

Tab. 36: Instruktionstext für die Bedingungen des TMT differenziert nach Erwachsenen und Kindern.

Bedingung	Instruktionen für Erwachsene	Instruktionen für Kinder
TMT-M	„Sie sehen auf dem Din-A 4 Blatt einen durch Pfeilen vorgezeigten Weg. Versuchen Sie so schnell wie möglich diesen Weg nachzuzeichnen. Wir beginnen von Startposition (START) und fahren den Pfeilen so lange nach bis der Weg nicht mehr angezeigt wird. Bitte achten Sie darauf, die Kreise zu berühren. Es ist dabei nicht wichtig exakt auf der Linie zu zeichnen. Wenn es keine Fragen gibt, können die Kreise auf mein Kommando verunden werden. Auf die Plätze, fertig, los!“	„Du siehst auf dem Din-A 4 Blatt einen durch Pfeilen vorgezeigten Weg. Versuch so schnell wie möglich diesen Weg nachzuzeichnen. Wir beginnen von Startposition (START) und fahren den Pfeilen so lange nach bis der Weg nicht mehr angezeigt wird. Bitte achte darauf, die Kreise zu berühren. Es ist dabei nicht wichtig exakt auf der Linie zu zeichnen. Wenn es keine Fragen gibt, können die Kreise auf mein Kommando verunden werden. Auf die Plätze, fertig, los!“
TMT-A	„Auf dem Din-A 4 Blatt sehen Sie Kreise mit Zahlen von 1 bis 25. Aufgabe ist es, die Kreise von 1 bis 25 in aufsteigender Reihenfolge so schnell wie möglich zu verbinden. Bitte achten Sie darauf, die Kreise mit dem Stift zu berühren. Wenn es keine Fragen gibt, kann auf mein Kommando gestartet werden. Auf die Plätze, fertig, los!“	„Auf dem Din-A 4 Blatt siehst du Kreise mit Zahlen von 1 bis 25. Aufgabe ist es, die Kreise von 1 bis 25 in aufsteigender Reihenfolge so schnell wie möglich zu verbinden. Bitte achte darauf, die Kreise mit dem Stift zu berühren. Wenn es keine Fragen gibt, kann auf mein Kommando gestartet werden. Auf die Plätze, fertig, los!“
TMT-B	„Auf dem Din-A 4 Blatt sehen Sie Kreise mit Zahlen von 1 bis 13 und Buchstaben von A bis L. Aufgabe ist es, die Kreise in aufsteigender und alternierender Reihenfolge so schnell wie möglich zu verbinden (1-A-3-B usw.) Bitte achten Sie darauf, die Kreise mit dem Stift zu berühren. Wenn es keine Fragen gibt, kann auf mein Kommando gestartet werden. Auf die Plätze, fertig, los!“	„Auf dem Din-A 4 Blatt siehst du Kreise mit Zahlen von 1 bis 13 und Buchstaben von A bis L. Aufgabe ist es, die Kreise in aufsteigender und abwechselnder Reihenfolge so schnell wie möglich zu verbinden (1-A-3-B usw.) Bitte achte darauf, die Kreise mit dem Stift zu berühren. Wenn es keine Fragen gibt, kann auf mein Kommando gestartet werden. Auf die Plätze, fertig, los!“

Anmerkung. Die Instruktionen wurden bei den Stichproben mit kognitiver Einschränkung analog zum TWT angepasst bis die Aufgabenstellung verstanden wurde.

F. Ergebnisse der Bedingungen des TMT bei „gesunden“ Probanden

Tab. 37: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse für die Bedingungen des TMT bei „gesunden“ Probanden (Kontrollgruppen) aus den 4 Einzelstudien.

Deskriptive Statistik							
Altersbereich	n	TMT-M		TMT-A		TMT-B	
		M	SD	M	SD	M	SD
5.9 ± 1.21 J.	12	58,9	25,3	192	87,8	217	75,4
8.4 ± 1.19 J.	39	26,2	12,5	39,3	15,5	79,7	32,2
10.5 ± 1.07 J.	12	34,9	12,9	35,3	5,40	65,8	17,0
23.9 ± 1.98 J.	42	10,9	2,40	18,5	5,29	33,2	10,1
67.5 ± 6.88 J.	24	17,6	4,51	32,3	7,33	63,4	21,9
72.4 ± 5.53 J.	20	20,3	7,04	32,1	8,88	58,7	26,4
ANOVA multivariat							
TMT-M	$F(5,143) = 41.9, p < .001, \eta^2_p = .599$						
TMT-A	$F(5,143) = 66.1, p < .001, \eta^2_p = .755$						
TMT-B	$F(5,143) = 68.6, p < .001, \eta^2_p = .710$						
Post-hoc Tests TMT-M							
	5.9 ± 1.21 J.	8.4 ± 1.19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.	
5.9 ± 1.21 J.		,000	,000	,000	,000	,000	
8.4 ± 1.19 J.			,257	,000	,051	,711	
10.5 ± 1.07 J.				,000	,000	,005	
23.9 ± 1.98 J.					,347	,025	
67.5 ± 6.88 J.						1,000	
72.4 ± 5.53 J.							
Post-hoc Tests TMT-A							
	5.9 ± 1.21 J.	8.4 ± 1.19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.	
5.9 ± 1.21 J.		,000	,000	,000	,000	,000	
8.4 ± 1.19 J.			1,000	,008	1,000	1,000	
10.5 ± 1.07 J.				,799	1,000	1,000	
23.9 ± 1.98 J.					,784	,894	
67.5 ± 6.88 J.						1,000	
72.4 ± 5.53 J.	-	-	-	-	-	-	

Post-hoc Tests TMT-B						
	5.9 ± 1.21 J.	8.4 ± 1.19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.
5.9 ± 1.21 J.		,000	,000	,000	,000	,000
8.4 ± 1.19 J.			1,000	,000	,762	,212
10.5 ± 1.07 J.				,023	1,000	1,000
23.9 ± 1.98 J.					,005	,040
67.5 ± 6.88 J.						1,000
72.4 ± 5.53 J.						

Anmerkung. Mittelwerte in s; für Post-hoc Tests: $p < .05$ (signifikant); $p < .01$ (stark signifikant); $p < .001$ (hoch signifikant).

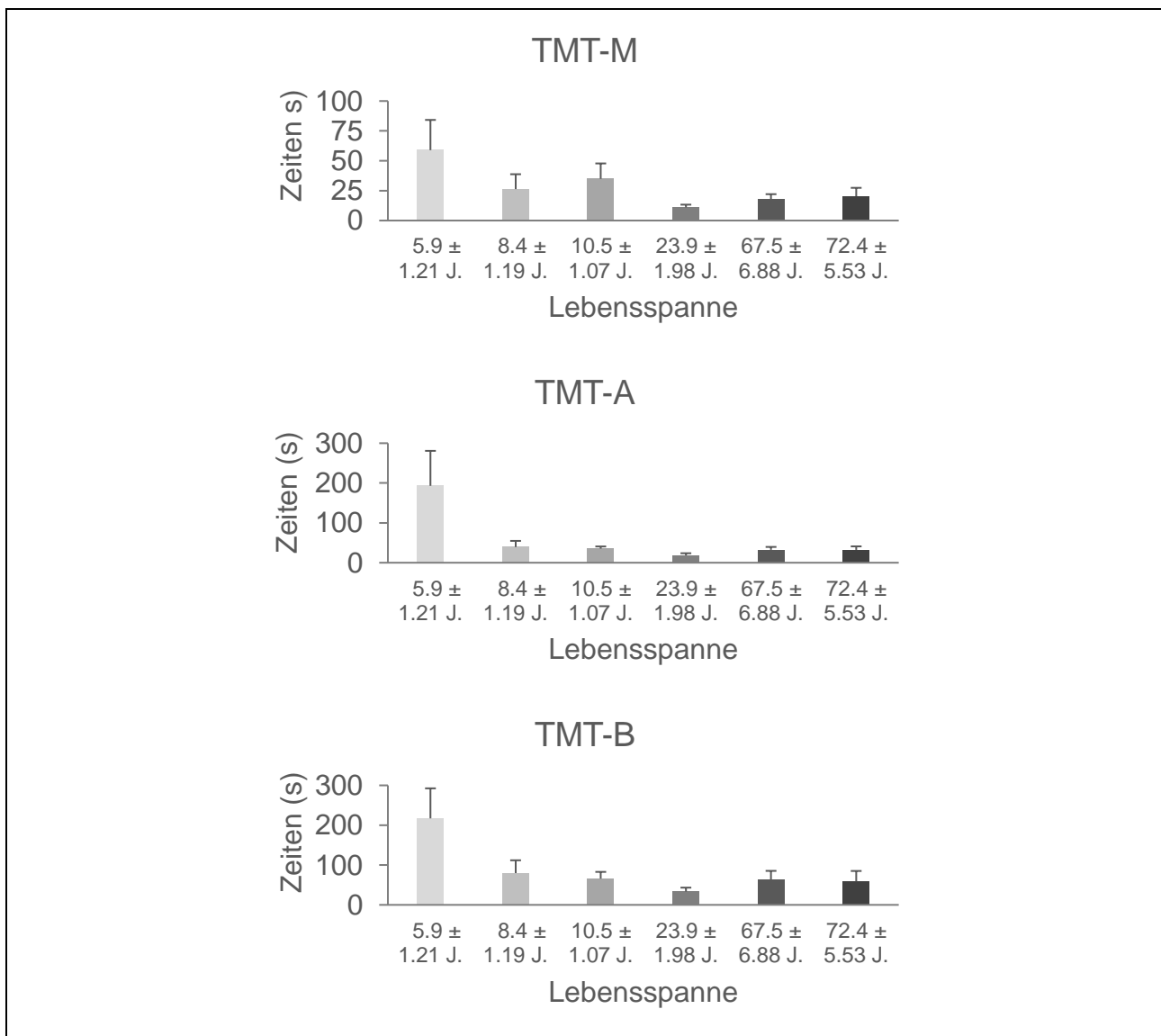


Abb. 53: Bearbeitungszeiten der Bedingungen des TMT über die Lebensspanne bei typisch entwickelten Probanden.

G. Ergebnisse der Bedingungen des TWT bei „gesunden“ Probanden.

Tab. 38: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse für die Bedingungen des TWT bei „gesunden“ Probanden (Kontrollgruppen) aus den 4 Einzelstudien.

Deskriptive Statistik							
Altersbereich	n	TWT-M		TWT-A		TWT-B	
		M	SD	M	SD	M	SD
5.9 ± 1.21 J.	12	38,1	13,2	89,8	43,0	122	46,1
8.4 ± 1.19 J.	39	30,0	3,60	43,6	8,96	67,9	18,8
10.5 ± 1.07 J.	12	24,8	4,38	35,1	7,34	50,4	9,4
23.9 ± 1.98 J.	42	22,9	2,85	28,9	4,80	36,5	6,9
67.5 ± 6.88 J.	24	33,1	6,11	44,9	8,56	57,8	10,6
72.4 ± 5.53 J.	20	39,7	7,53	49,5	7,29	62,8	16,7
ANOVA multivariat							
TWT-M	$F(5,143) = 31.0, p < .001, \eta^2_p = .526$						
TWT-A	$F(5,143) = 37.1, p < .001, \eta^2_p = .570$						
TWT-B	$F(5,143) = 44.1, p < .001, \eta^2_p = .612$						
Post-hoc Tests TWT-M							
	5.9 ± 1.21 J.	8.4 ± 1.19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.	
5.9 ± 1.21 J.		,001	,000	,000	,291	1,000	
8.4 ± 1.19 J.			,108	,000	,830	,000	
10.5 ± 1.07 J.				1,000	,002	,000	
23.9 ± 1.98 J.					,000	,000	
67.5 ± 6.88 J.						,006	
72.4 ± 5.53 J.							
Post-hoc Tests TWT-A							
	5.9 ± 1.21 J.	8.4 ± 1.19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.	
5.9 ± 1.21 J.		,000	,000	,000	,000	,000	
8.4 ± 1.19 J.			1,000	,000	1,000	1,000	
10.5 ± 1.07 J.				1,000	,842	,086	
23.9 ± 1.98 J.					,001	,000	
67.5 ± 6.88 J.						1,000	
72.4 ± 5.53 J.							

Post-hoc Tests TWT-B						
	5.9 ± 1.21 J.	8.4 ± 1.19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.
5.9 ± 1.21 J.		,000	,000	,000	,000	,000
8.4 ± 1.19 J.			,068	,000	,647	1,000
10.5 ± 1.07 J.				,332	1,000	,996
23.9 ± 1.98 J.					,000	,000
67.5 ± 6.88 J.						1,000
72.4 ± 5.53 J.						

Anmerkung. Mittelwerte in s; für Post-hoc Tests: $p < .05$ (signifikant); $p < .01$ (stark signifikant); $p < .001$ (hoch signifikant).

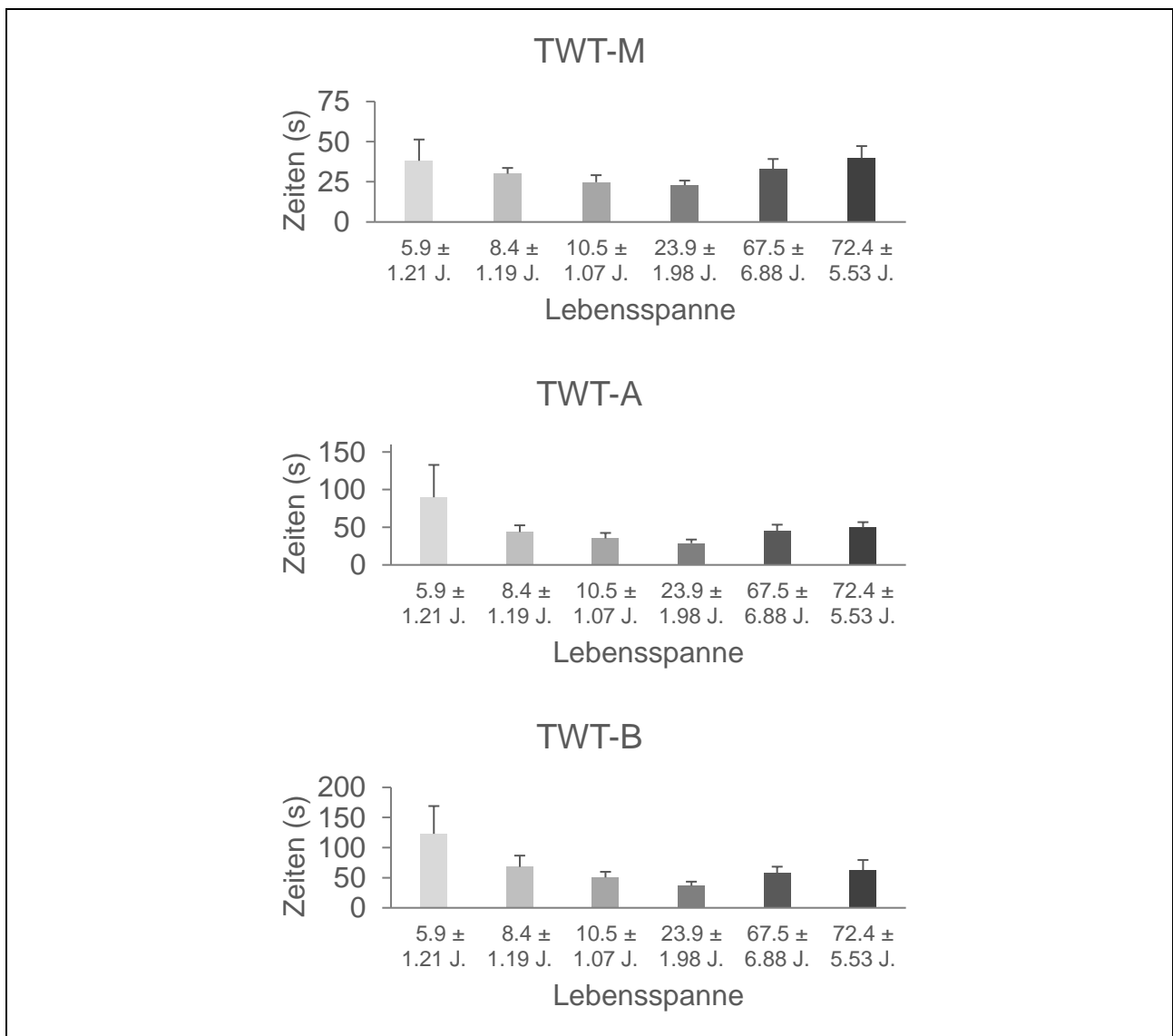


Abb. 54: Bearbeitungszeiten der Bedingungen des TWT über die Lebensspanne bei typisch entwickelten Probanden.

H. Ergebnisse der motorischen DAK in fein- (TMT) und grobmotorischer Fertigkeit (TWT) bei „gesunden“ Probanden.

Tab. 39: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse für die motorischen DAK in fein- (TMT) und grobmotorischer Fertigkeit (TWT) bei „gesunden“ Probanden (Kontrollgruppen) aus den 4 Einzelstudien.

Deskriptive Statistik									
Altersbereich	n	mDAK TMT-A		mDAK TMT-B		mDAK TWT-A		mDAK TWT-B	
		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
5.9 ± 1.21 J.	12	-235,9	146	-249	98,9	-138	103	-221	44,0
8.4 ± 1.19 J.	39	-68,7	76,5	-241	143,9	-46,3	30,0	-125	54,4
10.5 ± 1.07 J.	12	-10,0	31,9	-109	92,4	-42,6	21,8	-108	50,5
23.9 ± 1.98 J.	42	-68,5	44,8	-217	112,5	-26,2	16,9	-59,8	27,3
67.5 ± 6.88 J.	24	-92,6	55,7	-254	112,4	-36,9	24,1	-76,5	29,5
72.4 ± 5.53 J.	20	-68,4	58,1	-195	109	-26,6	17,6	-58,2	26,8

ANOVA multivariat	
mDAK TMT-A	$F(5,143) = 15.1, p < .001, \eta^2_p = .351$
mDAK TMT-B	$F(5,143) = 2.99, p = .013, \eta^2_p = .097$
mDAK TWT-A	$F(5,143) = 19.2, p < .001, \eta^2_p = .406$
mDAK TWT-B	$F(5,143) = 39.7, p < .001, \eta^2_p = .586$

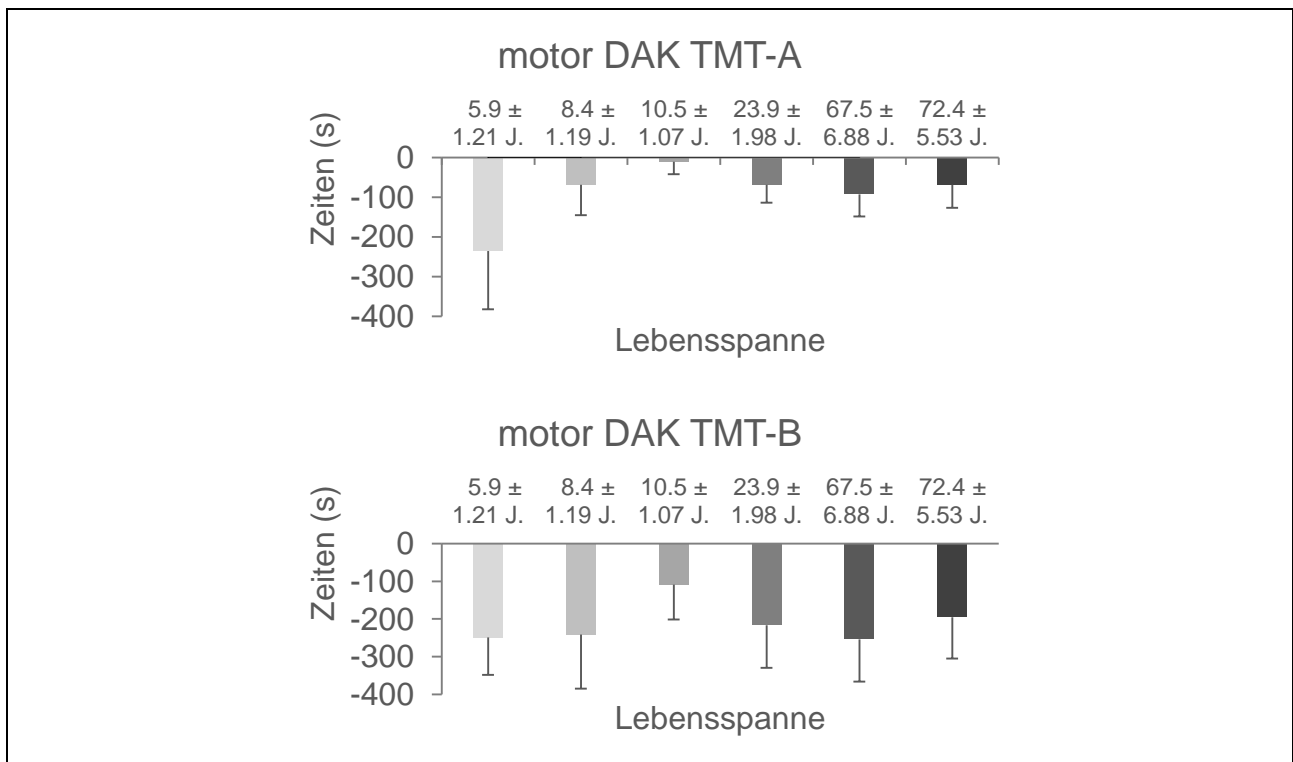
Post-hoc Tests mDAK TMT-A						
	5.9 ± 1.21 J.	8.44 ± 1,19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.
5.9 ± 1.21 J.		,000	,000	,000	,000	,000
8.4 ± 1.19 J.			,177	1,000	1,000	1,000
10.5 ± 1.07 J.				,171	,020	,348
23.9 ± 1.98 J.					1,000	1,000
67.5 ± 6.88 J.						1,000
72.4 ± 5.53 J.						

Post-hoc Tests mDAK TMT-B						
	5.9 ± 1.21 J.	8.44 ± 1,19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.
5.9 ± 1.21 J.		1,000	,069	1,000	1,000	1,000
8.4 ± 1.19 J.			,015	1,000	1,000	1,000
10.5 ± 1.07 J.				,096	,015	,732
23.9 ± 1.98 J.					1,000	1,000
67.5 ± 6.88 J.						1,000
72.4 ± 5.53 J.						

Post-hoc Tests mDAK TWT-A						
	5.9 ± 1.21 J.	8.44 ± 1,19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.
5.9 ± 1.21 J.		,000	,000	,000	,000	,000
8.4 ± 1.19 J.			1,000	,219	1,000	,775
10.5 ± 1.07 J.				1,000	1,000	1,000
23.9 ± 1.98 J.					1,000	1,000
67.5 ± 6.88 J.						1,000
72.4 ± 5.53 J.						

Post-hoc Tests mDAK TWT-B						
	5.9 ± 1.21 J.	8.44 ± 1,19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.
5.9 ± 1.21 J.		,000	,000	,000	,000	,000
8.4 ± 1.19 J.			1,000	,000	,000	,000
10.5 ± 1.07 J.				,004	,405	,010
23.9 ± 1.98 J.					1,000	1,000
67.5 ± 6.88 J.						1,000
72.4 ± 5.53 J.						

Anmerkung. Mittelwerte in %; für Post-hoc Tests: $p < .05$ (signifikant); $p < .01$ (stark signifikant); $p < .001$ (hoch signifikant); mDAK = motorische Doppelaufgabenkosten.



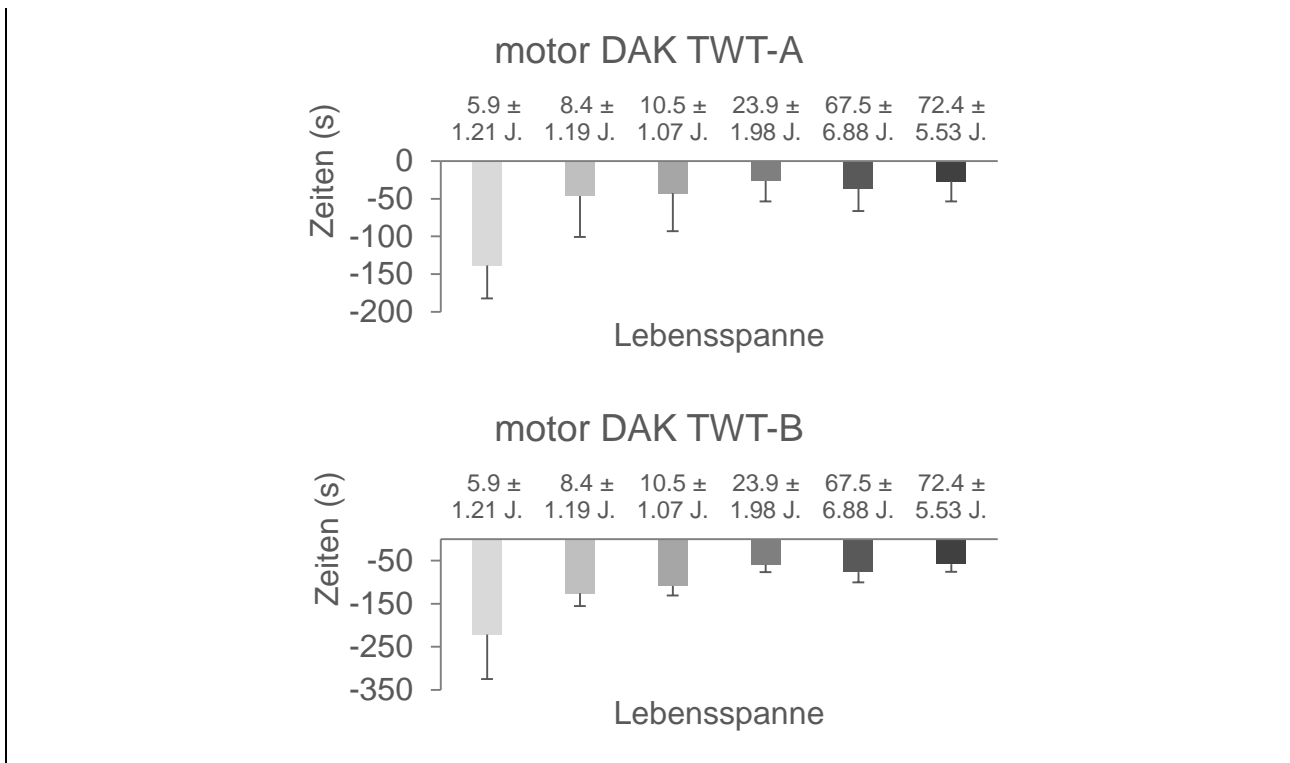


Abb. 55: Motorische Doppelaufgabenkosten über die Lebensspanne in den Bedingungen des TMT und TWT bei typisch entwickelten Probanden (Kontrollgruppen).

I. Ergebnisse der motorischen DAK in fein- (TMT) und grobmotorischer Fertigkeit (TWT) bei „gesunden“ Probanden.

Tab. 40: Deskriptive und inferenzstatistische Ergebnisse für die motorischen DAK in fein- (TMT) und grobmotorischer Fertigkeit (TWT) bei „gesunden“ Probanden (Kontrollgruppen) der 4 Einzelstudien.

Deskriptive Statistik									
Altersbereich	n	cDAK TMT-A		cDAK TMT-B		cDAK TWT-A		cDAK TWT-B	
		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
5.9 ± 1.21 J.	12	-83,9	111	-46,1	35,5	2,87	83,3	12,7	40,7
8.4 ± 1.19 J.	39	-313	441	-22,1	254	-364	460	-48,6	68,2
10.5 ± 1.07 J.	12	-176	339	-36,6	370	-490	888	-16,4	305
23.9 ± 1.98 J.	42	-206	142	-58,6	32,6	-431	324	-87,5	79,7
67.5 ± 6.88 J.	24	-173	153	-47,3	25,8	-305	251	-49,0	62,9
72.4 ± 5.53 J.	20	-163	142	-68,9	39,9	-317	284	-103	90,8

ANOVA multivariat	
cDAK TMT-A	$F(5,143) = 1.84, p = .109, \eta^2_p = .062$
cDAK TMT-B	$F(5,143) = .279, p = .924, \eta^2_p = .010$
cDAK TWT-A	$F(5,143) = 2.44, p = .037, \eta^2_p = .080$
cDAK TWT-B	$F(5,143) = 2.66, p < .025, \eta^2_p = .087$

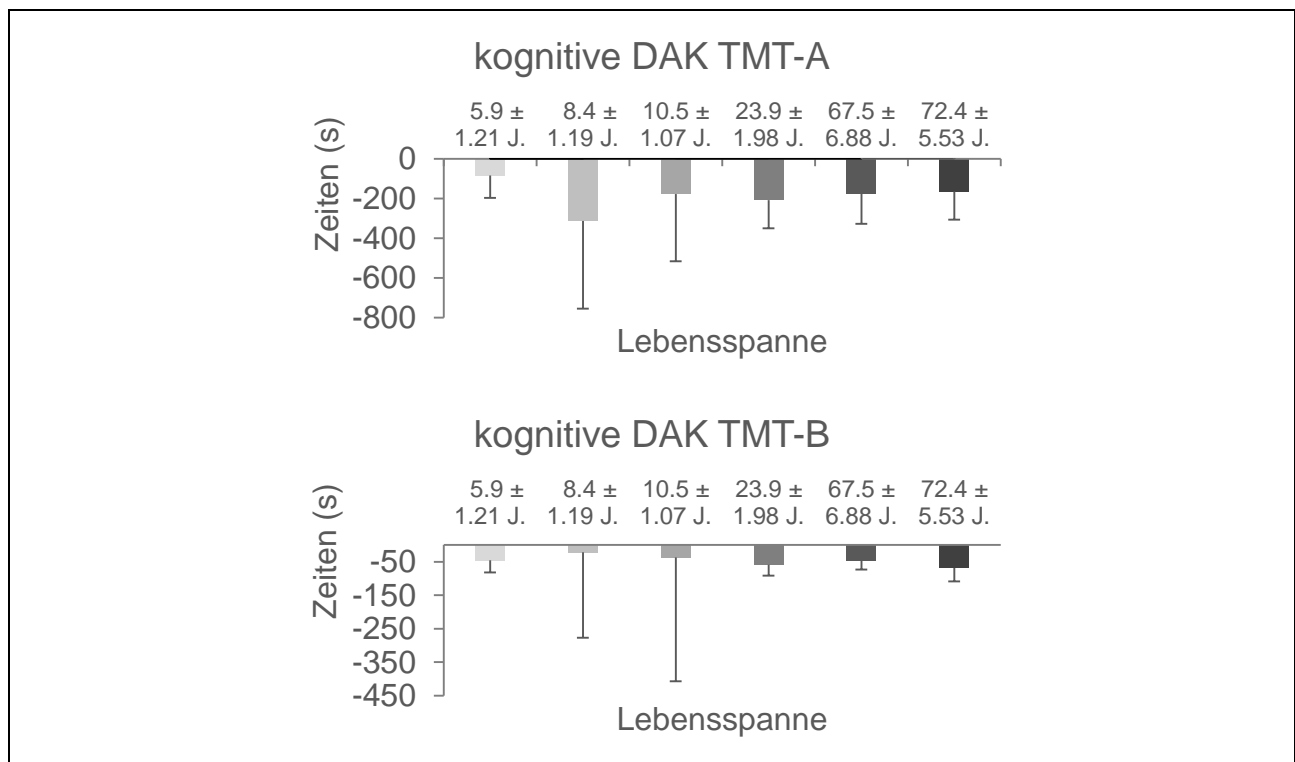
Post-hoc Tests cDAK TMT-A						
	5.9 ± 1.21 J.	8.44 ± 1,19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.
5.9 ± 1.21 J.		,000	,000	,000	,000	,000
8.4 ± 1.19 J.			,177	1,000	1,000	1,000
10.5 ± 1.07 J.				,171	,020	,348
23.9 ± 1.98 J.					1,000	1,000
67.5 ± 6.88 J.						1,000
72.4 ± 5.53 J.						

Post-hoc Tests cDAK TMT-B						
	5.9 ± 1.21 J.	8.44 ± 1,19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.
5.9 ± 1.21 J.		1,000	,069	1,000	1,000	1,000
8.4 ± 1.19 J.			,015	1,000	1,000	1,000
10.5 ± 1.07 J.				,096	,015	,732
23.9 ± 1.98 J.					1,000	1,000
67.5 ± 6.88 J.						1,000
72.4 ± 5.53 J.						

Post-hoc Tests cDAK TWT-A						
	5.9 ± 1.21 J.	8.44 ± 1,19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.
5.9 ± 1.21 J.		,000	,000	,000	,000	,000
8.4 ± 1.19 J.			1,000	,219	1,000	,775
10.5 ± 1.07 J.				1,000	1,000	1,000
23.9 ± 1.98 J.					1,000	1,000
67.5 ± 6.88 J.						1,000
72.4 ± 5.53 J.						

Post-hoc Tests cDAK TWT-B						
	5.9 ± 1.21 J.	8.44 ± 1,19 J.	10.5 ± 1.07 J.	23.9 ± 1.98 J.	67.5 ± 6.88 J.	72.4 ± 5.53 J.
5.9 ± 1.21 J.		,000	,000	,000	,000	,000
8.4 ± 1.19 J.			1,000	,000	,000	,000
10.5 ± 1.07 J.				,004	,405	,010
23.9 ± 1.98 J.					1,000	1,000
67.5 ± 6.88 J.						1,000
72.4 ± 5.53 J.						

Anmerkung. Mittelwerte in %; für Post-hoc Tests: $p < .05$ (signifikant); $p < .01$ (stark signifikant); $p < .001$ (hoch signifikant); mDAK = motorische Doppelaufgabenkosten.



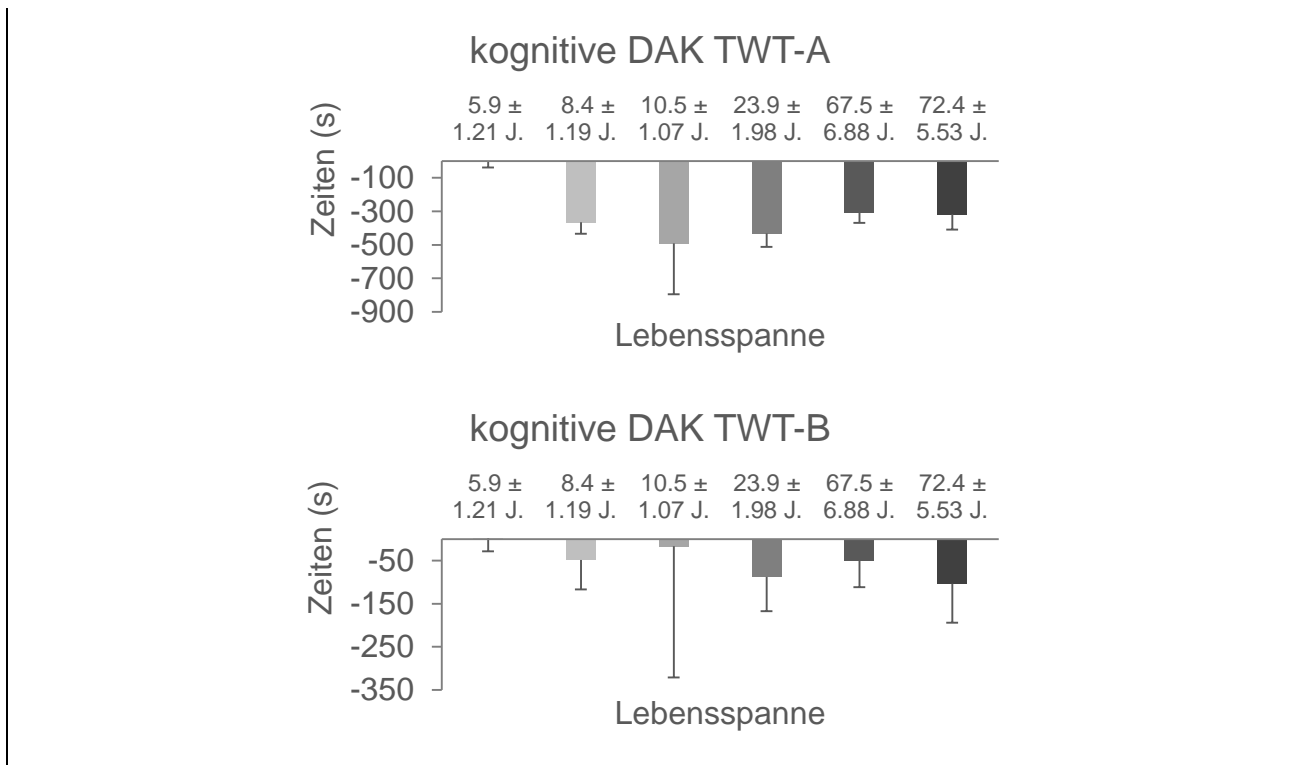


Abb. 56: Kognitive Doppelaufgabenkosten über die Lebensspanne in den Bedingungen des TMT und TWT bei typisch entwickelten Probanden (Kontrollgruppe)

