

Aus der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie  
der Medizinischen Fakultät der Charité - Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Transfer von Arbeitsgedächtnistraining auf die  
fluide Intelligenz**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

**Johanna Onken**  
aus Berlin

Gutachter/in:

1. Priv.-Doz. Dr. med. Dr. phil. M. A. Rapp
2. Prof. Dr. med. H. Gutzmann
3. Prof. Dr. med. F. M. Reischies

**Datum der Promotion: 23.06.2013**

## Abstract

Fluid intelligence describes the ability to think abstract, to adapt to new situations and to solve unknown problems. It is important for learning as well as for academic and professional success. Working memory is characterized as a cognitive system, that saves information over a short period of time in spite of possible distractions. Moreover, working memory is able to assess the relevance of information while requirements change. Effective implicit training is able to increase the working memory capacity. Furthermore it was shown that working memory training may also cause transfer effects to higher cognitive abilities such as fluid intelligence. To clarify the underlying processes of this transfer, various transfer models were presented, which either accentuate the relevance of processing speed, executive functions or short time memory. The purpose of this survey was to confirm transfer effects of working memory training to different cognitive abilities and, on the other hand, to investigate the mechanism of the transfer according to the proposed transfer models. 30 healthy subjects [age 22-30 years] participated in the study and were randomly assigned to either training or control group. The training group practiced an adaptive N-back working memory task for four weeks. Before, after one week and after four weeks of the training, a range of neuropsychological tasks was performed by the participants, testing for different cognitive abilities. Relative to the control group that did not participate in the training, transfer effects to processing speed, executive functions and fluid intelligence tasks have been found. Additionally, the training resulted in a significant shortening of reaction time. In summary, the present study demonstrates that complex cognitive abilities can be improved through effective working memory training. The question on which cognitive mechanisms the transfer is based could not be answered definitively by this study. The results suggest that the adaptive working memory training has led mainly to faster basal cognitive processes, which in turn resulted in a faster processing of intelligence tests.

## Kurzfassung

Fluide Intelligenz beschreibt die Fähigkeit abstrakt zu denken, sich auf neue Situationen einzustellen und Lösungsansätze für unbekannte Probleme zu erarbeiten und ist einer der wichtigsten Faktoren für das Lernen, akademischen und beruflichen Erfolg. Als Arbeitsgedächtnis wird ganz allgemein ein kognitives System bezeichnet, das Informationen trotz möglicher Ablenkung über einen kurzen Zeitraum speichern sowie bei wechselnden Anforderungen die Relevanz der Informationen neu bewerten kann. Durch effektives, implizites Arbeitsgedächtnistraining kann die Arbeitsgedächtniskapazität vergrößert werden. Darüber hinaus zeigte sich, dass Arbeitsgedächtnistraining auch zu Transfereffekten auf höhere kognitive Leistungen wie die fluide Intelligenz führt. Um die zugrundeliegenden Prozesse dieses Transfers zu klären, wurden verschiedene Transfermodelle vorgestellt, welche entweder die Geschwindigkeit basaler kognitiver Verarbeitung, die zentrale exekutive Funktionen oder die Kurzzeitspeicherkapazität im Vordergrund sehen. Ziel dieser Studie war es zum einen, Transfereffekte von Arbeitsgedächtnistraining auf andere kognitive Funktionen aufzuzeigen und zum anderen, die Mechanismen des Transfers entsprechend der beschriebenen Transfermodelle zu untersuchen. 30 gesunde Probanden [Alter 22-30 Jahre] nahmen an der Studie teil und wurden zufällig der Trainings- bzw. Kontrollgruppe zugeteilt. Die Trainingsgruppe trainierte vier Wochen lang ein adaptives N-back-Arbeitsgedächtnisprogramm. Zu Beginn, nach einer Woche und nach dem vierwöchigen Training wurde eine neuropsychologische Testbatterie durchgeführt, welche verschiedene kognitive Fähigkeiten prüft. Im Vergleich mit einer Kontrollgruppe, welche nicht am Arbeitsgedächtnistraining teilnahm, zeigten sich Transfereffekte auf Tests der Verarbeitungsgeschwindigkeit, exekutiver Funktionen und fluider Intelligenztests. Zusätzlich führte das Training zu einer signifikanten Abnahme der Reaktionszeiten. Zusammenfassend zeigt die vorliegende Studie, dass durch effektives Arbeitsgedächtnistraining komplexe kognitive Fähigkeiten verbessert werden können. Die Frage auf welchen basalen Prozessen dieser Transfer beruht konnte durch diese Studie nicht endgültig geklärt werden. Es finden sich jedoch Hinweise darauf, dass das adaptive Arbeitsgedächtnistraining vor allem zu einem schnelleren Ablauf basaler kognitiver Prozesse geführt zu haben, welcher wiederum zu einer schnelleren Bearbeitung der Intelligenztests führte.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Arbeitsgedächtnis . . . . .	1
1.1.1	Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley . . . . .	1
1.1.2	Arbeitsgedächtnismodell nach Cowan . . . . .	3
1.1.3	Arbeitsgedächtnismodell nach Engle . . . . .	3
1.2	Intelligenz . . . . .	4
1.2.1	Die Ein-Faktor-Konzeption . . . . .	4
1.2.2	Die Zwei-Faktoren-Theorie der Intelligenz . . . . .	4
1.2.3	Theorie der fluiden und kristallinen Intelligenz . . . . .	5
1.3	Exekutive Funktionen . . . . .	5
1.4	Verarbeitungsgeschwindigkeit . . . . .	6
1.5	Aktuelle wissenschaftliche Situation und Fragestellung . . . . .	6
1.5.1	Effekte von Arbeitsgedächtnistraining . . . . .	6
1.5.2	Effektives Training . . . . .	11
1.5.3	Mechanismen der Übertragung von Lerneffekten . . . . .	12
1.5.4	Transfermodelle . . . . .	12
1.5.5	Ziel- und Fragestellung . . . . .	13
1.5.6	Hypothesen . . . . .	14
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>17</b>
2.1	Probanden . . . . .	17
2.2	Prozedere . . . . .	19
2.2.1	Aufbau des N-Back-Paradigmas . . . . .	19
2.2.2	Adaptives Training . . . . .	21
2.3	Neuropsychologische Testbatterie . . . . .	21
2.3.1	Reihenfolge der neuropsychologischen Testbatterie . . . . .	21
2.3.2	Arbeitsgedächtnis . . . . .	23

2.3.3	Verarbeitungsgeschwindigkeit . . . . .	25
2.3.4	Exekutive Funktionen . . . . .	25
2.3.5	Fluide Intelligenz . . . . .	26
2.3.6	Kristalline Intelligenz . . . . .	27
2.4	Statistische Analyse . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>31</b>
3.1	Probanden . . . . .	31
3.2	Arbeitsgedächtnistraining . . . . .	32
3.3	Reaktionszeiten . . . . .	37
3.4	Zugewinne in nicht-trainierten Tests . . . . .	39
3.4.1	Arbeitsgedächtnis . . . . .	41
3.4.2	Verarbeitungsgeschwindigkeit . . . . .	42
3.4.3	Exekutive Funktionen . . . . .	43
3.4.4	Fluide Intelligenz . . . . .	46
3.4.5	Kristalline Intelligenz . . . . .	47
3.5	Korrelationen zwischen neuropsychologischer Testperformanz und N-Back- Training . . . . .	47
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>51</b>
4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .	51
4.2	Beurteilung der Trainingseffekte (Hypothese 1) . . . . .	51
4.2.1	Arbeitsgedächtnistraining (Hypothese 1.a) . . . . .	51
4.2.2	Reaktionszeiten (Hypothese 1.b) . . . . .	52
4.3	Beurteilung der Transfereffekte (Hypothese 2) . . . . .	53
4.3.1	Nicht-trainierte Arbeitsgedächtnistests (Hypothese 2.a) . . . . .	53
4.3.2	Andere neuropsychologische Tests (Hypothese 2.b) . . . . .	53
4.3.3	Tests der fluiden Intelligenz (Hypothese 2.c) . . . . .	55
4.4	Beurteilung der Korrelationen (Hypothese 3) . . . . .	55
4.4.1	Nicht-trainierte Tests, auf die das Arbeitsgedächtnistraining einen Ein- fluss hatte . . . . .	55

4.5	Grundlage des Transfers . . . . .	56
4.5.1	Die Verarbeitungsgeschwindigkeit basaler kognitiver Prozesse als Verbindung zwischen dem Arbeitsgedächtnis und der fluiden Intelligenz (1.Transfermodell) . . . . .	56
4.5.2	Exekutive Funktionen als Grundlage zielgerichteten Handelns und kontrollierter Aufmerksamkeit bei Arbeitsgedächtnis- und Intelligenztests (2. Transfermodell) . . . . .	58
4.5.3	Speicherkapazität als Grundlage des Zusammenhangs von Arbeitsgedächtnis und fluiden Intelligenz (3. Transfermodell) . . . . .	60
4.6	Methodische Aspekte und Kritik . . . . .	62
4.6.1	Studienablauf . . . . .	62
4.6.2	Arbeitsgedächtnistraining . . . . .	63
4.6.3	Geschwindigkeit-Exaktheit-Konflikt . . . . .	64
4.6.4	Neuropsychologische Testung . . . . .	66
4.7	Fazit und Ausblick . . . . .	67
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>70</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>72</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>83</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>85</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>87</b>
	<b>Lebenslauf</b>	<b>88</b>
	<b>Publikationsverzeichnis</b>	<b>89</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Arbeitsgedächtnis

Als Arbeitsgedächtnis wird die Fähigkeit bezeichnet, Informationen trotz möglicher Ablenkung über einen kurzen Zeitraum zu speichern [1]. Das Arbeitsgedächtnis ist laut Miller, Galanter und Pribram ein besonderer Zustand oder ein spezieller Ort im kognitiven System, an dem vor allem kurzfristige Pläne und Ziele gespeichert werden [2]. Ihre Definition betont, dass die Informationen in der Regel nicht zum Selbstzweck, sondern zur Lösung von Aufgaben und Ausführung von Plänen gespeichert werden. Weiterhin umfasst das Arbeitsgedächtnis Prozesse, welche die Relevanz von Informationen neu bewerten, falls sich die Anforderungen verändern [3]. Diese Funktion ist für eine Vielzahl kognitiver Herausforderungen und akademischen Erfolg von zentraler Bedeutung [4].

Es gibt zahlreiche verschiedene Arbeitsgedächtnismodelle. Die für diese Arbeit wichtigsten Modelle werden im Folgenden kurz vorgestellt.

### 1.1.1 Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley



Abbildung 1.1: Das ursprüngliche Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch umfasst zwei Speichersysteme und eine übergeordnete exekutive Verarbeitungszentrale [5].

Baddeley und Hitch schlugen erstmals 1974 ein Arbeitsgedächtnismodell vor, mit welchem sie das Kurzzeitgedächtnis genauer beschreiben und unter einem funktionellen Blickwinkel betrachten wollten [5, 6] (s. Abb. 1.1). Die Entwicklung dieses Modells kann als der Start in die moderne Arbeitsgedächtnisforschung betrachtet werden. Es beschreibt eine übergeord-



nete exekutive Kontrollebene und zwei Speichersysteme. Die phonologische Schleife (Phonological Loop) ist für die Speicherung von sprachbasierten Informationen zuständig. Der visuell-räumliche Notizblock (Visuospatial Sketchpad) speichert visuelle nonverbale Informationen. Die exekutive Kontrollebene ist verantwortlich für die Verarbeitung und Integration der Informationen in aktuelle Prozesse sowie die Verteilung der Kapazitäten auf parallel zu bewältigende Aufgaben [6].

In der Weiterentwicklung dieses Modells wurde ein episodischer Zwischenspeicher eingeführt. Laut Baddeley stellt dieser eine temporäre Schnittstelle zwischen den Speichersystemen des ursprünglichen Modells und dem Langzeitgedächtnis dar. Er wird ebenfalls von der zentralen Exekutive kontrolliert (s. Abb. 1.2) [7].

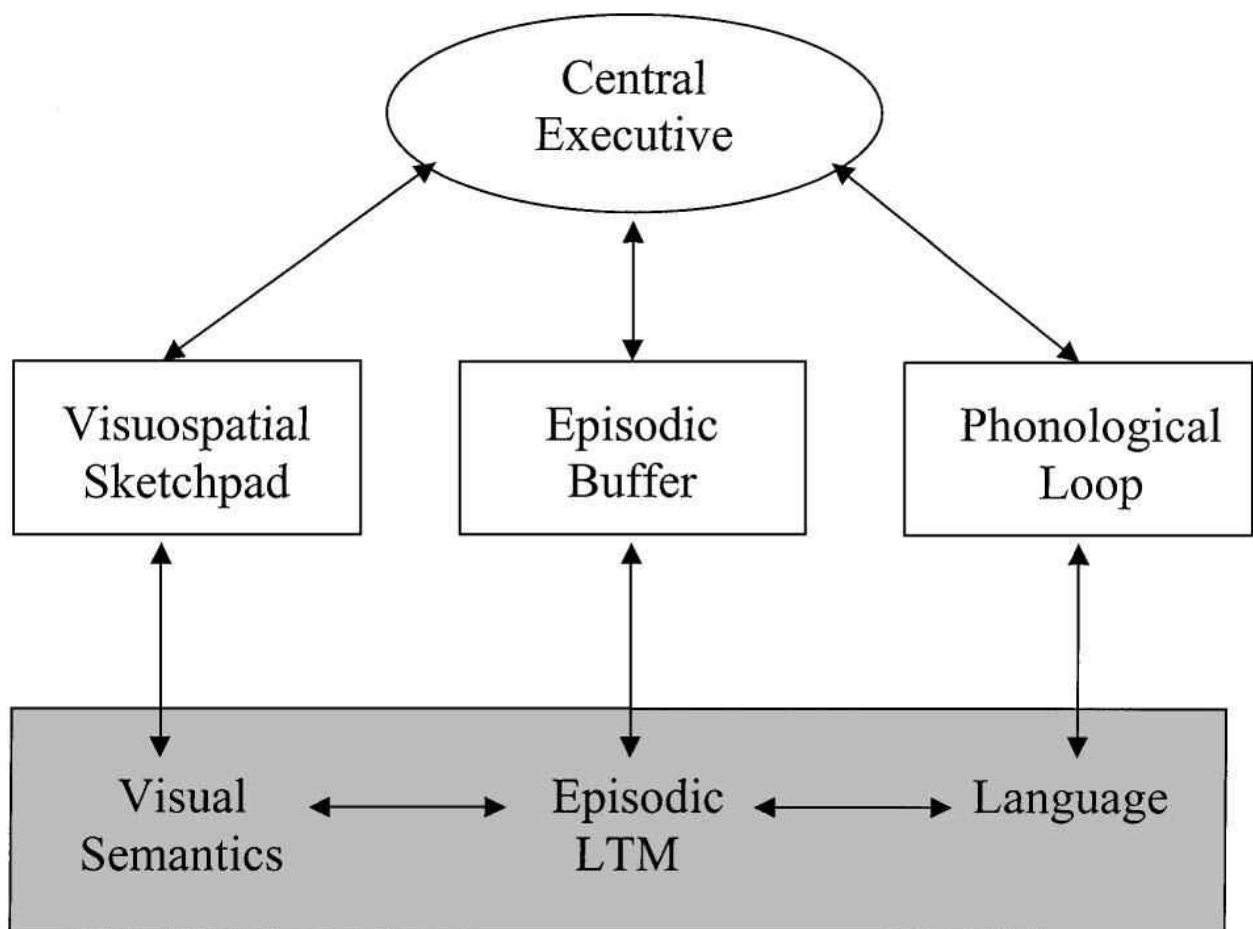


Abbildung 1.2: Überarbeitetes Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley. Der neu eingeführte episodische Zwischenspeicher stellt eine Schnittstelle zwischen den Kurzzeitspeichersystemen und dem Langzeitgedächtnis dar. Grau unterlegte Bereiche beschreiben kristalline kognitive Systeme, die Wissen und Gelerntes speichern. Nicht unterlegte Bereiche stehen für fluide, also vom Lernen unabhängige Funktionen [7].

### 1.1.2 Arbeitsgedächtnismodell nach Cowan

Cowan konzentriert sich in seinem Modell („Embedded processing model of working memory“) mehr auf die Funktionen als auf die Struktur und Modalitäten des Arbeitsgedächtnisses [3]. Das Modell beschreibt im Wesentlichen die hierarchische Anordnung von Langzeitgedächtnis, aktivierten Erinnerungen und der Aufmerksamkeit. Das Arbeitsgedächtnis definiert Cowan als kognitive Prozesse, die Informationen in einem besonders zugänglichen Zustand – nämlich im Fokus der Aufmerksamkeit – halten, um komplexe kognitive Aufgaben zu lösen. Diese Aktivierung der Informationen kann sowohl durch interne als auch durch externe Stimuli erfolgen. Die Kapazität der Daten, die im Fokus der Aufmerksamkeit stehen, und somit für informationsverarbeitende Prozesse greifbar sind, ist begrenzt. Sie ist gleichbedeutend mit der Arbeitsgedächtniskapazität. Das Arbeitsgedächtnis ist laut Cowan in das Langzeitgedächtnis eingebettet. Ob Daten aktiviert werden und in den Aufmerksamkeitsfokus rücken, steuert eine zentrale Exekutive [8].

### 1.1.3 Arbeitsgedächtnismodell nach Engle

Engle versucht durch sein Modell vor allem die individuellen Unterschiede der Arbeitsgedächtniskapazität und deren Ursachen zu erklären. Er bezieht sich hierzu auf das Arbeitsgedächtnismodell von Cowan und beschreibt das Arbeitsgedächtnis als Summe des Kurzzeitgedächtnisses und der Aufmerksamkeitskontrolle [9]. Laut Engle funktioniert das Arbeitsgedächtnis gebietsfrei. Gebietsspezifische Speicher wie z.B. Baddeleys phonologische Schleife oder visuell-räumlicher Notizblock werden nicht abgelehnt, sind jedoch nur zwei Beispiele für zahlreiche verschiedene Speichersysteme. In Abgrenzung zu Cowan betont er nicht die begrenzte Größe des Fokus der Aufmerksamkeit, sondern die Ablenkung und Interferenz als limitierende Faktoren. Ferner vermutet Engle die Repräsentation der individuellen fluiden Intelligenz durch die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses. In experimentellen Studien teilte er Probanden in solche mit hoher bzw. niedriger Arbeitsgedächtniskapazität ein und fand Korrelationen zu anderen kognitiven Fähigkeiten wie dem Leseverständnis und logischem Denken [10].

Einschränkungen des Arbeitsgedächtnisses treten auch im Rahmen des normalen Alterungsprozesses und vieler neuropsychiatrischer Erkrankungen auf, wie z.B. traumatische Hirnverletzungen, Hirninfarkt, mentale Retardierung, Schizophrenie, Demenz und ADHS (Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitäts-Syndrom) [11]. Es ist also nicht verwunderlich, dass

Versuche, das Arbeitsgedächtnis zu trainieren, eine beachtliche Tradition haben.

## 1.2 Intelligenz

Intelligenz einheitlich zu definieren ist in der wissenschaftlichen Literatur bis heute aufgrund der Komplexität des Themas nicht gelungen. Es existieren viele verschiedene Erklärungen, Umschreibungen und Modelle, die versuchen den Begriff „Intelligenz“ zu verdeutlichen.

„Intelligenz“ lässt sich auf das lateinische „intellegentia“ zurückführen, das drei Bedeutungsschattierungen aufweist, generelles Denkvermögen (Verstand, Einsicht, Erkenntnisvermögen, Verständnis), wissensnahe (Kenntnis, Kennerschaft und Geschmack) und epistemische Abstrakta (Begriff, Vorstellung, Idee) [12].

Intelligenz beinhaltet nicht nur das Lösen von Intelligenztestaufgaben, sondern schließt über das reine Schlussfolgern hinaus auch Abstraktion, Verstehen und Einsicht ein [13].

Die wichtigsten Intelligenzmodelle für die vorliegende Arbeit werden im Folgenden kurz vorgestellt.

### 1.2.1 Die Ein-Faktor-Konzeption

Das einfachste Intelligenzmodell beschreibt die Annahme, dass es sich bei der Intelligenz um eine ganzheitliche, homogene Fähigkeit handelt. Intelligenz wird nicht weiter differenziert oder unterteilt. Eine Struktur wird nicht beschrieben. Es gibt nur den globalen Intelligenzwert [14]. Auf der Grundlage dieser Vorstellung entwickelten Binet und Simon den ersten modernen Intelligenztest [15]. Das Ergebnis des Tests liefert einen einzigen Intelligenzwert.

### 1.2.2 Die Zwei-Faktoren-Theorie der Intelligenz

Spearman entwickelte mithilfe von Korrelationsrechnungen und später der Faktorenanalyse seine Zwei-Faktoren-Theorie der Intelligenz, indem er gemeinsame Faktoren aus Intelligenztestdaten extrahierte [14]. Er beschreibt hierbei neben einem Generalfaktor der Intelligenz (g-Faktor), den alle verschiedenen Tests messen, auch mehrere spezifische Intelligenzfaktoren (s-Faktoren). Den g-Faktor beschreibt er als generellen, alle Leistungsbereiche beeinflussenden Intelligenzfaktor, der die intellektuelle Leistung einer Person bestimmt. Die s-Faktoren sind dem g-Faktor hierarchisch untergeordnet und voneinander unabhängig. Sie bestimmen die Leistung in bestimmten Bereichen wie mathematischen Aufgaben, verbalen oder räumlichen Fragestellungen [16]. Spearmans Konzept wurde vielfach kritisiert und weiterentwickelt.

Es ist umstritten, ob die Annahme einer generellen geistigen Fähigkeit und vor allem unabhängiger s-Faktoren sinnvoll ist [17]. Heute besagen gängige Theorien, dass der g-Faktor die individuellen Unterschiede in der Informationsverarbeitung, der Kapazität und Effektivität kognitiver Prozesse beschreibt, die Lernen ermöglichen [18].

### 1.2.3 Theorie der fluiden und kristallinen Intelligenz

Ein grundlegendes Intelligenzmodell entwickelte Cattell 1943, indem er die Zwei-Faktoren-Theorie von Spearman modifizierte [19]. Er führte das Konzept der fluiden Intelligenz (Gf) und der kristallinen Intelligenz (Gc) ein.

#### 1.2.3.1 Fluide Intelligenz (Gf)

Cattells Intelligenzmodell beschreibt fluide Intelligenz als die Fähigkeit des Individuums, schnell und abstrakt zu denken sowie daraufhin zu handeln [19]. Sie gibt Menschen die Möglichkeit sich auf neue Situationen einzustellen und denkgestützte Lösungsansätze für unbekannte Probleme zu finden [20, 21]. Laut Cattell ist die fluide Intelligenz in der Effizienz physiologischer Vorgänge begründet und somit weitestgehend unabhängig von Erziehung und kultureller Prägung [19].

Fluide Intelligenz ist einer der wichtigsten Faktoren für das Lernen und ist eng verknüpft mit beruflichem und schulischem Erfolg [22, 23].

#### 1.2.3.2 Kristalline Intelligenz (Gc)

Kristalline Intelligenz umfasst alle Fähigkeiten, die im Laufe des Lebens erlernt bzw. durch die Umwelt bestimmt werden [21]. Sie wird z.B. durch Wissens- und Sprachtests widerspiegelt und umfasst sowohl explizites Wissen (semantisches und episodisches, wie z.B. Faktenwissen), als auch implizit Gelerntes (z.B. bestimmte Verhaltensweisen, Rechnen und Fahrradfahren). Fluide Intelligenz ist die Grundlage zum Erlangen von kristalliner Intelligenz. Abgesehen davon spielen auch individuelle Faktoren wie Motivation, Bildung und die gesellschaftlichen Möglichkeiten eine große Rolle [19].

## 1.3 Exekutive Funktionen

Das Konzept der exekutiven Kontrolle beschreibt die Überprüfung kognitiver Prozesse, wobei innere Absichten und Ziele sowie die Berücksichtigung der umgebenden Bedingungen das

Verhalten steuern. Dazu werden auch Aufmerksamkeitssteuerung, Impulskontrolle, Selbstkorrektur und das Abrufen gelernten Wissens gezählt. Es stellt die Grundlage dar, zielgerichtete Pläne zu erarbeiten und wird als Funktion des Frontalhirns, insbesondere des präfrontalen Kortex charakterisiert [24]. Wie bereits erwähnt, spielt die exekutive Kontrolle auch in den Arbeitsgedächtnismodellen von Baddeley und Cowan eine zentrale Rolle (s. Kapitel 1.1). Sie dient der Integration der Informationen aus den Kurzzeit-Speichersystemen in sinnvolle Prozesse [5, 6].

### 1.4 Verarbeitungsgeschwindigkeit

Verarbeitungsgeschwindigkeit beschreibt generell die Geschwindigkeit von zerebralen Verarbeitungsprozessen, die neben dem Wissen und der Strategie das Lösen von kognitiven Aufgaben beeinflusst [25].

Verarbeitungsgeschwindigkeits-Tests bestehen aus Aufgaben, die der Proband ohne zeitliche Begrenzung problemlos richtig lösen könnte (siehe auch Zahlenverbindungs-Test in Kapitel 2.3.3.1 und Zahlen-Symbol-Test in Kapitel 2.3.3.2). Es geht also nicht um die Lösbarkeit der einzelnen Aufgaben, sondern darum wie schnell und akkurat sie in Folge gelöst werden können [26].

Auch bei komplexeren kognitiven Aufgaben spielt die Verarbeitungsgeschwindigkeit eine Rolle, vor allem, wenn die Lösung der Tests zeitlich begrenzt ist. Stehen die Ergebnisse der zu Grunde liegenden basalen Verarbeitungsprozesse erst später zur Verfügung, so bleibt für die Weiterverarbeitung auf höherem Level weniger Zeit. Das Lösen der Aufgabe innerhalb der zeitlichen Grenzen wird auf diese Weise beeinflusst [25].

### 1.5 Aktuelle wissenschaftliche Situation und Fragestellung

#### 1.5.1 Effekte von Arbeitsgedächtnistraining

Miller postulierte 1956, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses eine feststehende Größe sei, die auf physiologischen Prozessen beruhe,  $7 \pm 2$  Einheiten umfasse und nicht darüber hinaus trainiert werden könne [27].

Dennoch gab es stets Versuche, die Kapazität durch Arbeitsgedächtnistraining zu verbessern. Zunächst versuchte man Arbeitsgedächtnistraining durch explizite Methoden zu erreichen, indem man den Probanden Strategien vermittelte, die es ermöglichten, sich Test-

spezifisch viele Stimuli einzuprägen. Die Arbeitsgedächtniskapazität wird jedoch als eine Test-unspezifische Größe definiert [28]. Schon kleine Modifikationen der Bedingungen, wie die Änderung der Stimuli von Zahlen zu Buchstaben, zeigten, dass es durch diese expliziten Methoden zu keiner Erhöhung der Arbeitsgedächtniskapazität kam [29].

Aktuelle Studien demonstrieren allerdings, dass eine Vergrößerung der Arbeitsgedächtniskapazität sowie eine Erhöhung der zerebralen Aktivität durch implizites Training durchaus möglich ist [30, 31, 28].

Darüber hinaus kann Training jedoch auch die Leistung in nicht-trainierten Tests verbessern [32, 28]. Im Fall einer Übertragung von Lerneffekten von einer geübten Aufgabe auf eine neue Aufgabe spricht man von Transfer [33]. Entsprechend dem Grad der Unterschiedlichkeit von der Lernaufgabe und der Transferaufgabe wird zwischen nahem bzw. fernem Transfer unterschieden ([34], s. Kapitel 1.5.3). So wurde in vielen Studien, in welchen das Arbeitsgedächtnis trainiert wurde, auch eine Verbesserung in Arbeitsgedächtnistests nachgewiesen, die nicht in der Trainingsbatterie enthalten waren (naher Transfer). Einige Ergebnisse zeigten sogar einen Einfluss auf Tests, die andere neuropsychologische Funktionen prüfen, wie z.B. exekutive Funktionen, die Verarbeitungsgeschwindigkeit oder die fluide Intelligenz (ferner Transfer) (zur Übersicht s. [28]).

Jaeggi *et al.* führten zu diesem Thema eine Studie mit jungen, gesunden Erwachsenen durch, in der sie das Arbeitsgedächtnis mithilfe eines adaptiven computerisierten Paradigmas über maximal vier Wochen (19 Sitzungen je 25 Min.) trainierten. Es konnten Verbesserungen im trainierten N-Back-Test sowie in einem nicht-trainierten Arbeitsgedächtnistest (naher Transfer) und einem Test der fluiden Intelligenz (ferner Transfer) nachgewiesen werden. Es zeigte sich ein direkter Zusammenhang zwischen der Trainingsdauer und der Größe des Transfer-effekts [35].

Eine weitere Studie mit jungen und älteren gesunden Erwachsenen stammt von Dahlin *et al.*. Es wurde das Arbeitsgedächtnis mit einem teilweise adaptiven Computerprogramm fünf Wochen lang (15 Sitzungen je 45 Min.) trainiert. Die Trainingsgruppen der jungen und älteren Probanden verbesserte sich signifikant im trainierten Test. Innerhalb der jungen Trainingsgruppe fanden sich Transfereffekte auf eine nicht-trainierte Arbeitsgedächtnisaufgabe. Es fand sich jedoch weder ein Transfereffekt auf zwei weitere nicht-trainierte komplexe Arbeitsgedächtnistests, noch auf den Zahlen-Symbol-Test, der die Verarbeitungsgeschwindigkeit prüft (s. Kapitel 2.3.3.2), den Wortflüssigkeitstest, der exekutive Funktionen prüft (s. Ka-

pitel 2.3.4.2) oder den Raven-Matrizen-Test, einen Test der fluiden Intelligenz (s. Kapitel 2.3.5.1) [36].

Auch Li *et al.* trainierten junge und ältere gesunde Erwachsene mittels verschiedener Arbeitsgedächtnistests (45 Sitzungen je 15 Min.). Es zeigte sich eine signifikante Verbesserung der jungen und älteren Trainingsgruppe in den trainierten Tests sowie Transfereffekte auf schwierigere räumliche und numerische N-Back-Tests. Die Effekte waren auch in einer Folgetestung drei Monate nach Beendigung des Trainings noch nachweisbar. Es konnte kein Transfer auf komplexere Arbeitsgedächtnistests gezeigt werden [37].

Thorell *et al.* versuchten mit einer Studie zu überprüfen, ob Arbeitsgedächtnistraining auch bei gesunden Vorschulkindern möglich ist und Transfereffekte hervorruft. Zu diesem Zweck trainierten sie die Probanden fünf Wochen lang (25 Sitzungen je 15 Min.) mit einem räumlich-visuellen Computerprogramm. Außerdem schlossen sie eine aktive Kontrollgruppe, die im gleichen Zeitrahmen Computerspiele spielte, und eine passive Kontrollgruppe in die Studie ein. Die Trainingsgruppe verbesserte ihre Leistung in den trainierten Tests gegenüber beiden Kontrollgruppen signifikant. Des Weiteren konnten Transfereffekte der Trainingsgruppe auf verschiedene nicht-trainierte räumliche und verbale Arbeitsgedächtnistests sowie Aufmerksamkeitstests nachgewiesen werden [38].

Holmes *et al.* untersuchten den Einfluss und Transfereffekte von Arbeitsgedächtnistraining bei jungen Schulkindern (8-11 Jahre) mit geringer Arbeitsgedächtnisfunktion. Mittels verschiedener Arbeitsgedächtnistests im Rahmen eines Routine-Screenings in Schulen ermittelten sie Kinder mit geringer Arbeitsgedächtnisleistung, die daraufhin fünf bis sieben Wochen lang (mind. 20 Sitzungen je 35 Min.) an einem Arbeitsgedächtnistraining teilnahmen. Hierbei trainierte eine Gruppe mit einem adaptiven, eine Andere mit einem nicht-adaptiven Programm. Es zeigte sich, dass das adaptive Training weitaus effektiver war als das nicht-adaptive Programm. Das adaptive Training führte zu einem signifikanten Leistungszugewinn in den trainierten Aufgaben, der auch noch sechs Monate nach dem Training messbar war, sowie zu Transfereffekten auf nicht-trainierte Arbeitsgedächtnistests. Auch das logische mathematische Denken<sup>1</sup> verbesserte sich innerhalb der Gruppe, die adaptiv trainierte. Ein Einfluss auf den allgemeinen Wechsler-Intelligenztest<sup>2</sup> konnte nicht nachgewiesen werden [41].

---

<sup>1</sup>Gemessen mittels WOND (Wechsler Objective Number Dimensions) [39]

<sup>2</sup>Wechsler Abbreviated Scales of Intelligence (WASI) misst einen verbalen, nonverbalen und generellen Intelligenzquotienten [40].

In einer weiteren Studie von Homes *et al.* wurde der Einfluss von Arbeitsgedächtnistraining auf die Arbeitsgedächtnisfunktion von ADHS-kranken Kindern<sup>3</sup> untersucht. Das Arbeitsgedächtnistraining wurde wiederum in mindestens 20 Sitzungen (je 25 Min.) mithilfe eines adaptiven Programms durchgeführt. Das Training führte zu Leistungszugewinnen in allen trainierten sowie in einigen nicht-trainierten Arbeitsgedächtnistests. Ein Einfluss auf den Wechsler-Intelligenztest<sup>4</sup> konnte wiederum nicht nachgewiesen werden [43].

Auch Klingberg *et al.* führten zwei Studien mit ADHS-kranken Kindern durch. In einer ersten doppelt blinden, Placebo-kontrollierten Studie wurden die Probanden mit einem adaptiven Arbeitsgedächtnisparadigma trainiert. Es konnte eine Verbesserung in der trainierten Aufgabe nachgewiesen werden. Ferner fanden sich signifikante Leistungszugewinne in einem nicht-trainierten räumlich-visuellen Arbeitsgedächtnistest, einem Tests der exekutiven Funktionen<sup>5</sup> und im Raven-Matrizen-Test der fluiden Intelligenz (s. auch Kapitel 2.3.5.1). Weiterhin wurde die motorische Aktivität<sup>6</sup> in der Trainingsgruppe signifikant reduziert. Vergleichbare Ergebnisse konnten ebenfalls für junge Erwachsene ohne ADHS nachgewiesen werden [42].

Eine weitere Studie mit ADHS-kranken Kindern bestätigte die Ergebnisse direkt nach dem Training und in einer Folgetestung drei Monate nach Beendigung des Trainings. Darüber hinaus verringerten sich in der Trainingsgruppe auch Symptome wie Unaufmerksamkeit und Hyperaktivität, die durch eine Elternbefragung erhoben wurden [45].

Westerberg *et al.* untersuchten den Einfluss von Arbeitsgedächtnistraining unter Patienten mit Hirninfarkt (mind. ein Jahr nach dem Infarkt). Die Trainingsgruppe trainierte das Arbeitsgedächtnis fünf Wochen lang (mind. 20 Sitzungen je 40 Min.) mithilfe eines adaptiven Computerprogramms, bestehend aus verschiedenen Arbeitsgedächtnistests. Es zeigten sich signifikante Verbesserungen gegenüber der Kontrollgruppe in nicht-trainierten Arbeits-

---

<sup>3</sup>ADHS (Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitäts-Syndrom) ist ein multifaktoriell bedingtes Störungsbild und geht neben anderen Symptomen auch mit Arbeitsgedächtniseinschränkungen einher, die einer Störung des Frontalhirns geschuldet sind [42].

<sup>4</sup>Wechsler Abbreviated Scales of Intelligence (WASI) misst einen verbalen, nonverbalen und generellen Intelligenzquotienten [40]

<sup>5</sup>Stroop-Interferenz-Test: Die Farbe in der Wörter geschrieben sind muss wiedergegeben werden. Wenn das Wort „blau“ in gelber Farbe geschrieben ist, dauert es länger bis zur richtigen Antwort, als wenn Wortsinn und Farbe übereinstimmen (Stroop-Effekt). Der Test wird eingesetzt um exekutive Funktionen, insbesondere Aufmerksamkeits- und Impulskontrolle, zu testen [44].

<sup>6</sup>Die motorische Aktivität wurde durch die Kopfbewegungen während eines computerisierten Tests gemessen.



gedächtnistests. Es zeigte sich jedoch kein Einfluss auf den Stroop-Test, der exekutive Funktionen testet, oder den Raven-Matrizen-Test der fluiden Intelligenz [46].

Neben vielen unterschiedlichen Ergebnissen wiesen alle Studien einen Transfer des Arbeitsgedächtnistrainings auf andere nicht-trainierte Arbeitsgedächtnistests nach.

Es gibt Theorien, die besagen, dass ein Transfer nur möglich ist, wenn die Verarbeitung des Ausgangstasks und des Transfertasks zumindest teilweise in denselben Hirnregionen stattfindet [47]. Die Größe des Transfers beschreibt hierbei das Ausmaß der Überlappung der verarbeitenden neuronalen Netzwerke [30].

Diese Trainingseffekte auf die Test-Performanz können mit neuronalen Veränderungen auf zellulärer und struktureller Ebene einhergehen und somit ein Beispiel für neuronale Plastizität sein [48, 49].

Olesen *et al.* führten zu dieser Thematik eine Studie durch, in welcher gesunde Erwachsene Probanden fünf Wochen lang (etwa 20 Sitzungen je 20 Min.) adaptiv das Arbeitsgedächtnis trainierten. Die zerebrale Aktivität wurde mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) vor, während und nach dem Training gemessen. Das Training hatte Einfluss auf die arbeitsgedächtnisbezogene zerebrale Aktivität unter anderem im dorsolateralen-präfrontalen Kortex und in parietalen Regionen. Dieses Ergebnis kann als Anhaltspunkt für trainingsinduzierte Plastizität in neuronalen Systemen angesehen werden [30].

Auch Dahlin *et al.* trainierten fünf Wochen lang das Arbeitsgedächtnis von jungen gesunden Probanden (vgl. S. 7). Es zeigte sich ein signifikanter Leistungszugewinn im trainierten Test sowie ein Transfereffekt auf ähnliche nicht-trainierte Arbeitsgedächtnistests [36, 49]. Der Effekt könnte laut Dahlin *et al.* auf der erhöhten striatalen Aktivität beruhen, die wiederum mittels fMRT gemessen wurde. Im dorsolateralen-präfrontalen Kortex fand sich eine reduzierte Aktivität. Es wurde kein Transfereffekt auf Tests festgestellt, die nicht vorrangig striatale Netzwerke beanspruchen. Dies bestätigt die These, dass Transfer besonders zwischen Tests stattfinden kann, die überlappende neuronale Netzwerken fordern [47, 49]. In einer Gruppe älterer Probanden fand sich keine erhöhte striatale Aktivität. Diese Tatsache wurde als Grund für den in dieser Gruppe ebenfalls fehlenden Transfer auf die nicht-trainierten Tests angesehen [49].

Wexler *et al.* versuchten Defizite des verbalen Gedächtnisses unter Schizophrenie-Patienten

durch kognitives Training zu mildern. Hierzu führten die Probanden zehn Wochen lang täglich ein adaptives verbales Gedächtnistraining durch. Die Gedächtnisleistung und regionale zerebrale Aktivierung bei Durchführung des Trainingstests wurden vor und nach der Trainingsperiode ermittelt. Die Probanden zeigten Leistungszugewinne im verbalen, jedoch nicht im non-verbalen Gedächtnis. Es fand sich weiterhin eine erhöhte Aktivierung im linken inferioren frontalen Kortex [50].

Die durchaus verschiedenen Ergebnisse zeigen, dass die aktivierten Hirnregionen auch von der Art des verwendeten Arbeitsgedächtnistests abhängen. Einfache Span-Tests, die nur die Speicherung von Stimuli erfordern, aktivieren meist sehr spezifische Bereiche, die einen Zusammenhang mit der Modalität der Stimuli aufweisen [51, 52, 53]. Arbeitsgedächtnistests, die eine zusätzliche Verarbeitung fordern (z.B. Updating), zeigen jedoch übereinstimmend Veränderungen der Aktivierung im dorsolateralen-präfrontalen Kortex, im Striatum und im vorderen Gyrus cinguli [53, 54, 55, 49, 30].

Die Forschungsergebnisse deuten daher darauf hin, dass sowohl die Arbeitsgedächtniskapazität als auch exekutive Kontrolle und Intelligenz vom dorsolateralen-präfrontalen Kortex abhängig sind und bei dessen Training aktiviert werden [56, 57, 58].

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse die Hypothese, dass es durch effektives Training zu trainingsinduzierter neuronaler Plastizität kommt, die wiederum Grundlage für bihaviorale Transfereffekte auf nicht-trainierte Aufgaben sein könnte [47, 48, 49].

Damit neuronale Plastizität zu Stande kommt, muss stets ein Missverhältnis zwischen Anforderungen und kognitiven Kapazitäten vorliegen. Dieses Missverhältnis stellt einen Reiz zur Plastizität dar.

### 1.5.2 Effektives Training

Ein effektives Training zeichnet sich durch eine „Übertragung der erlernten Inhalte und Fähigkeiten auf andere als im Training realisierte Aufgabenanforderungen (im Sinne von Generalisierung/Transfer)“ aus ([59], s. Kapitel 1.5.3). Auch kurzfristige Verhaltensänderungen als Folge motivationaler Einflüsse oder durch Situationsänderungen werden fälschlicherweise oft als Lerneffekt bezeichnet. Daher ist die Generalisierung des Erlernten eines der wichtigsten Kriterien für einen effektiven Lernprozess [60]. Klingberg *et al.* schlagen diesbezüglich ein intensives adaptives Arbeitsgedächtnistraining unter standardisierten Bedin-

gungen als effektives Arbeitsgedächtnistraining vor. Hierzu zählt auch die Durchführung des Trainings mit Computerprogrammen über etwa fünf Wochen einzeln oder in kleinen Gruppen (insgesamt etwa 15 Stunden) [28]. Adaptive Training beschreibt die Anpassung des Schwierigkeitsgrades an die Leistung des Probanden. Je besser die Performanz des Probanden ist, desto schwieriger wird die zu lösende Aufgabe [61]. Hierbei kommt es stets zu einem neuen Missverhältnis von Anforderungen und kognitiven Ressourcen des Probanden. Dieses Missverhältnis fordert die Anpassung der kognitiven Leistung im Sinne eines Trainingseffekts und der neuronalen Netzwerke im Sinne von Plastizität.

### 1.5.3 Mechanismen der Übertragung von Lerneffekten

In den oben genannten Studien wird stets der Transfereffekt von Arbeitsgedächtnistraining untersucht. Transfer bezeichnet ganz allgemein den Prozess der Übertragung von Lerneffekten von einer bekannten, geübten Aufgabe auf eine veränderte oder neue Aufgabe [33]. Konkreter ist in diesem Fall ein positiver bzw. proaktiver Transfer gemeint, bei dem es dank vorangegangener Lernerfahrungen durch Generalisierung des Gelernten zu einer schnelleren oder akkurateren Bearbeitung von neuen Aufgaben kommt, die sich von den trainierten Aufgaben unterscheiden. Der Grad der Unterschiedlichkeit zwischen ursprünglicher Lernaufgabe und späterer Transferaufgabe ist ein entscheidendes Kriterium für die Übertragung von Lerneffekten. Es wurde daher die Unterscheidung zwischen nahem und fernem Transfer eingeführt. Eine Transferwirkung ist umso erstaunlicher, je weiter der Transfertest von der ursprünglichen Lernanforderung entfernt ist [34]. Übertragen auf den Zusammenhang von Arbeitsgedächtnis und fluider Intelligenz lässt sich formulieren, dass es vermutlich zu einem Transfer kommt, da Arbeitsgedächtnistraining zu Leistungszugewinnen eines kognitiven Konstrukts führt, welches ebenso für die Performanz von anderen neuropsychologischen Tests wie z.B. Intelligenztests verantwortlich ist [62]. Es existieren verschiedene neuropsychologische Theorien darüber, um welches Konstrukt es sich hierbei handelt. Die wichtigsten werden im Folgenden kurz vorgestellt.

### 1.5.4 Transfermodelle

#### 1. Transfermodell (Verarbeitungsgeschwindigkeit)

Die Leistung des Arbeitsgedächtnisses hängt vom Kurzzeitspeicher und einer verarbeitenden Komponente ab [63]. Einige Studien argumentieren, dass die Geschwindigkeit dieser Verarbeitungsprozesse möglicherweise Grund der engen Verbindung zwischen

Arbeitsgedächtnis und Intelligenz sein könnte [64, 25, 65]. Die Korrelation zwischen Verarbeitungsgeschwindigkeit und Arbeitsgedächtnis wird zwischen  $r = .29$  und  $r = .59$  angegeben [66, 67, 26].

Des weiteren findet sich eine robuste negative Korrelation zwischen der Reaktionszeit in sogenannten elementaren kognitiven Tests und der Intelligenz [68, 69]. Auf diesen Beobachtungen beruht die Vermutung, dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit eine wichtige Komponente für die individuellen Unterschiede der Intelligenz sein könnte [70].

### 2. Transfermodell (Zentrale Exekutive)

Conway *et al.* fanden keinen Anhalt dafür, dass sich der Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnis und fluider Intelligenz durch die Verarbeitungsgeschwindigkeit erklären lassen könnte [71]. Auch Engle *et al.* gehen davon aus, dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit keine grundlegende Relevanz für die Korrelation zwischen Arbeitsgedächtnis und Intelligenz hat. Ihre Theorie besagt, dass die zentrale Exekutive des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley (s. Kapitel 1.1) die Verbindung zwischen den beiden Konstrukten darstellt [9, 72]. Sie vermuten, dass der Grad zu dem die exekutive Aufmerksamkeit gefordert wird, den gemeinsamen Faktor zwischen Arbeitsgedächtnis- und fluiden Intelligenztests bestimmt [56]. Tuholski *et al.* zeigten, dass sich die Unterschiede zwischen Probanden mit geringer und hoher Arbeitsgedächtniskapazität nur dann auf die Performanz in anderen neuropsychologischen Tests auswirken, wenn diese Tests kontrollierte Aufmerksamkeit fordern [73].

### 3. Transfermodell (Kurzzeitspeicherkapazität)

Bühner *et al.* fanden in einer Studie weder einen signifikanten Einfluss der Aufmerksamkeit auf die fluide Intelligenz, noch Hinweise darauf, dass der Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnis und fluider Intelligenz durch die Verarbeitungsgeschwindigkeit vermittelt wird [74]. Ebenso wie Bühner *et al.* behaupten Colom *et al.*, dass der Kurzzeitspeicher für die Beziehung zwischen Arbeitsgedächtnis und Intelligenz verantwortlich ist. Sie finden weder eine Verbindung zwischen der Verarbeitungsgeschwindigkeit oder exekutiven Funktionen zum Arbeitsgedächtnis noch zur Intelligenz, sobald der Einfluss des Kurzzeitspeichers rechnerisch entfernt wird [75].

## 1.5.5 Ziel- und Fragestellung

Um den Transfereffekt von Arbeitsgedächtnistraining auf andere neuropsychologische Fähigkeiten genauer zu untersuchen, wird in der vorliegenden Arbeit eine experimentelle Studie

durchgeführt. Die Trainings- und die Kontrollgruppe bestehen aus jungen, gesunden Probanden und unterscheiden sich nur durch ein vierwöchiges adaptives Arbeitsgedächtnistraining. Vor und nach dem Training bzw. der Warteperiode werden neuropsychologische Tests durchgeführt, die auf Transfereffekte untersucht werden sollen.

Entsprechend der Ergebnisse der in Kapitel 1.5.1 genannten Studien ist zu erwarten, dass junge gesunde Probanden mittels regelmäßigen Arbeitsgedächtnistrainings ihre Leistung im trainierten Arbeitsgedächtnisparadigma, im Sinne einer erhöhten Arbeitsgedächtniskapazität, verbessern können. Weiterhin zeigten die Forschungsergebnisse, dass sich auch die Performanz in nicht-trainierten Arbeitsgedächtnistests verbesserte, sodass wir einen nahen Transfer auf entsprechende Tests nachweisen wollen.

Es ergibt sich die Frage, ob ferner Transfereffekte auf Tests der exekutiven Funktionen, der Verarbeitungsgeschwindigkeit oder der fluiden Intelligenz, wie sie Jeaggi *et al.* und Klingberg *et al.* fanden, reproduzieren lassen.

Es soll untersucht werden, ob sich ein Transfer nach Arbeitsgedächtnistraining nur auf nicht-trainierte Arbeitsgedächtnistests oder auch auf komplexe Intelligenztests zeigen lässt. Die Betrachtung der zugrunde liegenden Effekte kann helfen, die Verbindung zwischen Arbeitsgedächtnis und Intelligenz besser zu verstehen und zeigen, ob Arbeitsgedächtnistraining eventuell auch im klinischen Kontext sinnvoll sein könnte.

Entsprechend dieser Ziel- und Fragestellungen ergeben sich folgende Hypothesen.

### 1.5.6 Hypothesen

#### 1. Trainingseffekte

Das N-Back-Paradigma (s. Kapitel 2.2.1) ist eines der verbreitetsten Arbeitsgedächtnisparadigmen.

Beim Einsatz eines adaptiven Programms wurde in zahlreichen Studien ein Trainingseffekt nachgewiesen [28, 35, 41]. Ando *et al.* [76] beschrieben weiterhin, dass die Reaktionszeit auf einen visuellen Stimulus innerhalb eines dreiwöchigen Trainings abnahm. Auch bei komplexen Tests zeigte sich diese Entwicklung [77]. Daraus lassen sich folgende Hypothesen ableiten:

##### a) Arbeitsgedächtnistraining der Trainingsgruppe

- $H_1$  = Die Probanden der Trainingsgruppe erreichen im Laufe des Arbeitsgedächtnistrainings eine Leistungsverbesserung im N-Back-Paradigma.

- $H_0$  = Die Probanden der Trainingsgruppe können im Laufe des Arbeitsgedächtnistrainings keine Leistungsverbesserung im N-Back-Paradigma erreichen.

b) **Arbeitsgedächtnistraining Trainingsgruppe vs. Kontrollgruppe**

- $H_1$  = Die N-Back-Performanz der Trainingsprobanden verbessert sich vom Prätest zum Posttest stärker als die N-Back-Performanz der Kontrollprobanden.
- $H_0$  = Die N-Back-Performanz der Trainingsprobanden verbessert sich vom Prätest zum Posttest nicht stärker als die N-Back-Performanz der Kontrollprobanden.

c) **Reaktionszeiten**

- $H_1$  = Die Reaktionszeit der Trainingsprobanden verbessert sich vom Prätest zum Posttest stärker als die Reaktionszeit der Kontrollprobanden.
- $H_0$  = Die Reaktionszeit der Trainingsprobanden verbessert sich vom Prätest zum Posttest nicht stärker als die Reaktionszeit der Kontrollprobanden.

2. **Transfereffekte**

Die Forschungsergebnisse der in Kapitel 1.5.1 genannten Studien weisen Transfereffekte von effektivem Arbeitsgedächtnistraining auf nicht-trainierte neuropsychologische Tests nach. In den Studien von Jeaggi *et al.* und Klingberg *et al.* kommt es sogar zu einem Transfer auf die fluide Intelligenz [35, 42, 45]. Hieraus lassen sich folgende Hypothesen ableiten:

a) **Nicht-trainierte Arbeitsgedächtnistests**

- $H_1$  = Die Trainingsgruppe verbessert sich in nicht-trainierten Arbeitsgedächtnistests vom Prätest bis zum Posttest stärker als die Kontrollgruppe.
- $H_0$  = Die Trainingsgruppe verbessert sich in nicht-trainierten Arbeitsgedächtnistests vom Prätest bis zum Posttest nicht stärker als die Kontrollgruppe.

b) **Andere neuropsychologische Tests**

- $H_1$  = Die Trainingsgruppe verbessert sich in nicht-trainierten anderen neuropsychologischen Tests vom Prätest bis zum Posttest stärker als die Kontrollgruppe.

- $H_0$  = Die Trainingsgruppe verbessert sich in nicht-trainierten anderen neuropsychologischen Tests vom Prätest bis zum Posttest nicht stärker als die Kontrollgruppe.

### c) Tests der fluiden Intelligenz

- $H_1$  = Die Trainingsgruppe verbessert sich in nicht-trainierten Tests der fluiden Intelligenz vom Prätest bis zum Posttest stärker als die Kontrollgruppe.
- $H_0$  = Die Trainingsgruppe verbessert sich in nicht-trainierten Tests der fluiden Intelligenz vom Prätest bis zum Posttest nicht stärker als die Kontrollgruppe.

## 3. Korrelationen

Wie bereits erwähnt, zeichnet sich ein effektives Training durch eine Generalisierung der erlernten Fähigkeiten auf nicht-trainierte Aufgaben – also Transfer – aus [59]. Trainingsprobanden, die das Arbeitsgedächtnis besonders effektiv trainierten, könnten also evtl. auch besonders große Transfereffekte zeigen. Hieraus lassen sich folgende Hypothesen ableiten:

### **Zusammenhang zwischen nicht-trainierten Tests und dem Arbeitsgedächtnistraining**

- $H_1$  = Innerhalb der Trainingsgruppe zeigen sich Zusammenhänge zwischen dem maximal erreichten N-Back-Level und der Posttest-Performanz in den nicht-trainierten Tests, auf die das Arbeitsgedächtnistraining einen Einfluss hatte.
- $H_0$  = Innerhalb der Trainingsgruppe zeigen sich keine Zusammenhänge zwischen dem maximal erreichten N-Back-Level und der Posttest- Performanz in den nicht-trainierten Tests, auf die das Arbeitsgedächtnistraining einen Einfluss hatte.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Probanden

Es wurden insgesamt 32 Probanden für die Studie rekrutiert. Zunächst wurden innerhalb der rekrutierten Probanden nach Bildung, Alter und Geschlecht gematchte Paare gebildet. Anschließend wurden die Probanden der gematchten Paare zufällig auf die beiden Gruppen verteilt. Es gab daher in den demographischen Variablen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (s. Tabelle 2.1).

15 Probanden (6 Männer, 9 Frauen, mittleres Alter = 25.9 Jahre, SD =  $\pm 1.9$ , Spanne: 24-30 Jahre) bildeten die Trainingsgruppe und nahmen an einem vierwöchigen N-Back-Arbeitsgedächtnistraining teil. Weitere 17 Probanden (8 Männer, 9 Frauen, mittleres Alter = 25.9 Jahre, SD =  $\pm 0.9$ , Spanne: 22-30 Jahre) nahmen nicht am Training teil und bildeten die Kontrollgruppe.

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte im Januar und Februar 2009 durch Aushänge in den Kliniken der Charité und E-Mails über den studentischen E-Mail-Verteiler der Charité. Bis auf einen Probanden waren alle Studienteilnehmer Studenten.

Es wurden nur Probanden in einem Alter zwischen 20 und 30 Jahren eingeschlossen. Ausschlusskriterien waren neben dem Alter auch neurologische und psychiatrische Erkrankungen wie Hirntumor, Epilepsie, entzündliche und degenerative Erkrankungen, Depression und Psychose sowie alle Medikamente, die die Vigilanz beeinflussen. Außerdem wurden Psychologiestudenten im Hauptstudium von der Studie ausgeschlossen, da sie eventuell durch ihr Studium mit den neuropsychologischen Tests vertraut sein könnten. Alle Probanden hatten einen normalen oder mit Hilfsmitteln korrigierten Visus und waren Rechtshänder.

Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Charité genehmigt. Alle Probanden wurden detailliert mündlich und schriftlich über den Ablauf der Studie und ihr Recht, die Studie ohne



Tabelle 2.1: Vergleich der demographischen Daten der rekrutierten Probanden

	<b>Trainingsgruppe</b>	<b>Kontrollgruppe</b>	<b>Signifikanz (2-seitig)<sup>a</sup></b>
Probandenanzahl	15	17	
Alter (Mittel [SD]/Spanne)	25.93 [ $\pm 1.94$ ]/ 24-30	25.88 [ $\pm 2.09$ ]/ 22-30	p = .94 <sup>b</sup>
Geschlecht (m/w)	6 / 9	8 / 9	p = .69
Migrationshintergrund (ja/nein)	1 / 14	1 / 16	p = .93
Familienstand (ledig/ verheiratet)	15 / 0	16 / 1	p = .34
Bildungsjahre (Mittel [SD]/Spanne)	17.40 [ $\pm 0.71$ ]/ 16-19	17.59 [ $\pm 0.94$ ]/ 16-19	p = .53 <sup>b</sup>
Studium (ja/nein)	14 / 1	17 / 0	p = .28
Ausbildung (ja/nein)	2 / 13	4 / 13	p = .46

<sup>a</sup>Falls nicht anders angegeben, Berechnung mittels Chi<sup>2</sup>-Tests<sup>b</sup>Berechnung mittels t-Tests für unabhängige Stichproben

Angabe von Gründen jederzeit abubrechen, aufgeklärt, und haben die Einverständniserklärung unterschrieben. Alle Daten wurden pseudonymisiert. Die Probanden der Kontrollgruppe erhielten eine Aufwandsentschädigung von 50 €, die Trainingsprobanden insgesamt 150 €.

## 2.2 Prozedere

Die Trainingsgruppe führte ein vierwöchiges adaptives N-Back-Arbeitsgedächtnistraining durch (12 Sitzungen à 40 Min.), wobei die Trainingssitzungen in einem Abstand von zwei bis drei Tagen stattfanden. Alle Probanden bearbeiteten zusätzlich vor der ersten Trainingssitzung (t1) und nach der letzten Trainingssitzung (t3) eine neuropsychologische Testbatterie (s. Tabelle 2.2 und Kapitel 2.3). Vor der vierten Trainingssitzung (t2) wurde eine kurze Testbatterie durchgeführt. Die Kontrollgruppe führte die neuropsychologische Testbatterie entsprechend zu Beginn der Studie, nach einer Woche und vier Wochen nach Beginn durch, nahm allerdings zwischendurch nicht am Arbeitsgedächtnistraining teil.

Alle N-Back-Trainingssitzungen sowie die Prä- und Posttests fanden im St. Hedwig-Krankenhaus Berlin statt. Alle Probanden wurden in einem gut beleuchteten Raum individuell getestet. Die Tests wurden bei jedem Probanden zur gleichen Uhrzeit vorgenommen.

Tabelle 2.2: Ablauf der Studie

Sitzung	Trainingsgruppe	Kontrollgruppe
Prätest (t1)	Neuropsychologie (60 Min.)	Neuropsychologie (60 Min.) + N-Back
1-3	N-Back-Training	
4 (t2)	Neuropsychologie (10 Min.) + N-Back-Training	Neuropsychologie (10 Min.)
5-12	N-Back-Training	
Posttest (t3)	Neuropsychologie (60 Min.)	Neuropsychologie (60 Min.) + N-Back

### 2.2.1 Aufbau des N-Back-Paradigmas

Das N-Back-Paradigma ist eines der am häufigsten verwendeten experimentellen Paradigmen für die Durchführung neuropsychologischer Studien des Arbeitsgedächtnisses [78]. Das Grundprinzip wurde erstmals 1958 von Kirchner beschrieben [79]. Hierbei werden Stimuli,

z.B. Zahlen, präsentiert, die die Probanden sich merken und wiedererkennen sollen.

In unserer Studie mussten die Teilnehmer immer genau dann die linke Maustaste des Computers drücken, wenn die aktuell zu sehende Ziffer, der  $n$  Stimuli zuvor gezeigten Zahl entsprach. Lautete die Aufgabe beispielsweise 1-Back sollten sie reagieren, wenn die Zahl, die zuvor präsentiert wurde, der aktuell präsentierten Zahl entsprach – wenn also zwei gleiche Zahlen direkt nacheinander gezeigt wurden. Die Probanden mussten sich die vorangegangenen Zahlen eingepägt haben. Im 2-Back-Bedingung mussten sie die Taste drücken, wenn die vorletzte Zahl, also zwei Stimuli zuvor, die gleiche war, wie die aktuell präsentierte (s. Abb. 2.1). Nur die Aufgabe 0-Back bildete eine Ausnahme von dieser Regel. Die Probanden sollten hierbei reagieren, wenn die Ziffer „0“ auf dem Bildschirm erschien.

Wir verwendeten ein adaptives N-Back-Computer-Programm, bei dem weiße Ziffern von „0“ bis „9“ (Schriftgröße 120pt) auf schwarzem Bildschirmhintergrund die Stimuli darstellten. Sie erschienen in randomisierter Reihenfolge, wobei die Präsentationsdauer stets 500ms betrug. Die Zeit zwischen den Stimuli (Inter-Stimulus-Intervall, ISI) variierte je nach Level zwischen 1800ms und 1000ms (s. auch Abb. 2.4).



Abbildung 2.1: Beispiel für das N-Back-Paradigma mit der Bedingung 2-Back.

Jede der zwölf Trainingssitzungen setzte sich aus drei Durchläufen des Programms zusammen. Ein Durchlauf bestand aus drei Einheiten, in denen jeweils drei verschiedene Bedingungen bearbeitet werden mussten, z.B. eine Einheit aus 0-Back, 1-Back und 2-Back (s. Abb. 2.3). Pro Bedingung wurden je nach Inter-Stimulus-Intervall 20 - 28 Einzelaufgaben und fünf bis sieben *Ziele* (Targets) dargeboten, also Stimuli, die die Bedingung der N-Back-Aufgabe erfüllen. Erkannten die Probanden ein Ziel und drückten die Taste im richtigen Moment, so wurde dies als *Treffer* gezählt. Drückten sie, obwohl ein *Distraktor* dargeboten wurde, ein Stimulus also, der die Bedingung nicht erfüllt, so wurde dies als *Fehlalarm* bezeichnet.

Tabelle 2.3: Beispiel für den Aufbau eines Durchlaufs des N-Back-Programms

	Durchlauf								
	Einheit								
Bedingung	0	1	2	0	1	2	0	1	2

### 2.2.2 Adaptives Training

Für ein möglichst effektives Training, in dem jeder Proband stets nahe seiner individuellen Grenze der Arbeitsgedächtniskapazität arbeitet, führten wir ein adaptives Trainingsprogramm durch [28]. Bei einer Hit-Rate von mindestens 80% in einem Durchlauf und fehlerfreier Performance (keine Fehllalarme), stiegen die Probanden ins nächste Level auf. Die Schwierigkeit wurde erhöht, indem sich je Level das ISI um 200ms (Maximum 1800ms, Minimum 1000ms) verkürzte und die Bedingung von 0-Back bis 5-Back anstieg.

Jeder Proband startete das Training in Level eins mit den Bedingungen 0-Back, 1-Back und 2-Back und einem ISI von 1800ms. Von Level eins bis fünf nahm das ISI von 1800ms auf 1000ms ab. In Level sechs änderte sich die Aufgabe, indem 3-Back neu eingeführt wurde und 1-Back entfiel. Das ISI verlängerte sich wieder auf die ursprünglichen 1800ms. Das Prozedere wiederholte sich bis Level zehn, d.h. das ISI nahm wieder bis auf 1000ms ab. Ab Level elf kam 4-Back als neue Bedingung hinzu und 2-Back entfiel. In Level 16 wurde 5-back eingeführt. 0-Back blieb als Basis in jedem Level erhalten (s. Tabelle 2.4).

Die Kontrollgruppe führte nur zum Zeitpunkt t1 und t3 eine Sitzung des N-Back-Paradigmas durch. Während des gesamten N-Back-Trainings wurden die Reaktionszeiten gemessen.

## 2.3 Neuropsychologische Testbatterie

### 2.3.1 Reihenfolge der neuropsychologischen Testbatterie

Die Probanden führten im Prätest (t1) und Posttest (t3) eine neuropsychologische Testbatterie durch. Um systematische Verzerrungen wie Sequenzierungseffekte auszuschließen, gab es innerhalb der Testbatterie zwei verschiedene Abfolgen der Tests. Diese wurden zwischen den Probanden randomisiert verteilt. Probanden mit ungerader ID begannen im Prätest mit

Tabelle 2.4: Aufbau der Schwierigkeitsstufen des N-Back-Trainingsprogramms

Level	N-Back-Bedingungen	ISI
1	0-, 1-, 2-Back	1800ms
2	0-, 1-, 2-Back	1600ms
3	0-, 1-, 2-Back	1400ms
4	0-, 1-, 2-Back	1200ms
5	0-, 1-, 2-Back	1000ms
6	0-, 2-, 3-Back	1800ms
7	0-, 2-, 3-Back	1600ms
8	0-, 2-, 3-Back	1400ms
9	0-, 2-, 3-Back	1200ms
10	0-, 2-, 3-Back	1000ms
11	0-, 3-, 4-Back	1800ms
12	0-, 3-, 4-Back	1600ms
13	0-, 3-, 4-Back	1400ms
14	0-, 3-, 4-Back	1200ms
15	0-, 3-, 4-Back	1000ms
16	0-, 4-, 5-Back	1800ms
17	0-, 4-, 5-Back	1600ms
18	0-, 4-, 5-Back	1400ms
19	0-, 4-, 5-Back	1200ms
20	0-, 4-, 5-Back	1000ms

Variante 1 und erhielten im Posttest Variante 2. Probanden mit gerader ID bearbeiteten im Prätest die Testbatterie in der Reihenfolge der Variante 2 und im Posttest Variante 1 (s. Tabelle 2.5).

Vor der vierten Trainingssitzung (t2) wurde außerdem eine kurze neuropsychologische Testbatterie durchgeführt um mögliche Effekte besser über die Zeit abbilden zu können. Hierbei wurden der Zahlenspanne-Test vorwärts und rückwärts sowie der Zahlen-Symbol-Test und der LPS3 durchgeführt. Die übrigen Tests wurden zum Zeitpunkt t2 nicht durchgeführt, da nicht für alle Tests Parallelversionen vorlagen und Wiederholungseffekte somit nicht ausgeschlossen werden konnten.

Der Mini-Mental-Status-Test [80] und die CERAD-Testbatterie (Subtest „Wiedergeben und Wiedererkennen einer Wortliste“) [81] sind Tests zum Demenzscreening. Sie wurden durchgeführt, um das Studiendesign mit dem eines zweiten Studienarms älterer Versuchspersonen vergleichbar zu machen und spielten in der Auswertung bei den jungen Probanden keine Rolle.

### 2.3.2 Arbeitsgedächtnis

#### 2.3.2.1 Zahlenspanne

Beim Zahlenspanne-Test wird dem Probanden eine Ziffernfolge vorgelesen (1/Sek.), die vorwärts oder in umgekehrter Reihenfolge wiederholt werden muss. Die darauffolgende Ziffernreihe ist um eine Ziffer verlängert. Die längste fehlerfrei wiederholte Ziffernfolge wird als Ergebnis festgehalten. Der Test wurde mehrmals überarbeitet. Die ursprüngliche Fassung stammt aus dem Wechsler Intelligenztest [82]. Im Folgenden bezieht sich die angegebene Punktzahl auf die maximale Anzahl von Stimuli, die von den Probanden in korrekter Reihenfolge wiedergegeben werden konnte.

Die Korrelation zwischen dem Zahlenspanne-Test vorwärts und rückwärts beträgt etwa  $r = .60$ . Dies zeigt, dass die beiden Tests neben einigen Übereinstimmungen auch unterschiedliche Eigenschaften messen [83]. Zahlenspanne vorwärts fordert vor allem die Aufmerksamkeit des Probanden. Eine korrekt wiedergegebene Spanne von sechs bis sieben Stimuli kann als normal angesehen werden [84, 85]. Zahlenspanne rückwärts ist ein klassisches Mittel um das Arbeitsgedächtnis zu prüfen. Eine Spanne von vier bis fünf gilt als normal [84]. Wie es auch in anderen Studien üblich ist, sollen hier beide Tests trotz dieser Unterschiede in der Kategorie Arbeitsgedächtnis ausgewertet werden [49].

Tabelle 2.5: Reihenfolge der neuropsychologischen Tests

<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>
1. CERAD Wortlisten	1. Zahlenverbindungstest Teil A
2. MWT-B	2. Zahlenverbindungstest Teil B
3. LPS 3	3. Mini Mental Status Test
4. Zahlenspanne vorwärts	4. Zahlen-Symbol-Test
5. Zahlenspanne rückwärts	5. Wortflüssigkeit Kategorie Tiere
6. CERAD verzögerte Abfrage	6. Wortflüssigkeit Kategorie Buchstabe (F, A, S)
7. Zahlenverbindungstest Teil A	7. WCST
8. Zahlenverbindungstest Teil B	8. Raven-Matrizen-Test
9. Mini Mental Status Test	9. CERAD Wortlisten
10. Zahlen-Symbol-Test	10. MWT-B
11. Wortflüssigkeit Kategorie Tiere	11. LPS 3
12. Wortflüssigkeit Kategorie Buchstabe (F, A, S)	12. Zahlenspanne vorwärts
13. WCST	13. Zahlenspanne rückwärts
14. Raven-Matrizen-Test	14. CERAD verzögerte Abfrage

### 2.3.3 Verarbeitungsgeschwindigkeit

#### 2.3.3.1 Zahlenverbindungstest

Der Zahlenverbindungstest war ursprünglich ein Teil der Army Individual Testbatterie [86]. Später wurde der Test von Reitan weiter untersucht und in seine Testbatterie integriert [87, 88]. Er besteht aus zwei Teilen: In Teil A müssen die Probanden Zahlen so schnell wie möglich in aufsteigender Reihenfolge verbinden. Teil B stellt eine Erweiterung dar, in der abwechselnd Zahlen und Buchstaben in aufsteigender bzw. alphabetischer Reihenfolge verbunden werden sollen. Die Zeit bis zum fehlerfreien Lösen der Aufgabe wird gemessen und als Score angegeben.

Der Test fordert eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit und die schnelle motorische Umsetzung. Teil B misst zusätzlich die kognitive Flexibilität [89].

#### 2.3.3.2 Zahlen-Symbol-Test

Der Zahlen-Symbol-Test ist ein Teil des Wechsler-Intelligenztests [82]. Er besteht aus einem Schlüssel, in dem jeder Zahl von eins bis neun ein Symbol zugeordnet ist, und Feldern, in die der Reihe nach das jeweils zu einer Zahl gehörige Symbol eingesetzt werden soll. Die Probanden haben hierfür 60 Sek. Zeit. Gemessen und als Punktzahl angegeben wird die Anzahl von richtig eingetragenen Symbolen.

Der Test ist ein Maß für die psychomotorische Performanz und Geschwindigkeit. Er ist relativ unabhängig von intellektuellem Wissen [90]. Die motorische Ausdauer, ununterbrochene Aufmerksamkeit, Verarbeitungsgeschwindigkeit und visuomotorische Koordination spielen eine wichtige Rolle [84].

Die Test-Retest-Reliabilität liegt zwischen .82 und .85. Es ergeben sich praktisch keine Trainingseffekte, auch wenn der Test im Abstand von nur einer Woche wiederholt wird [91].

### 2.3.4 Exekutive Funktionen

#### 2.3.4.1 Wisconsin Kartensortiertest (WCST)

Beim WCST soll der Proband Antwortkarten einem von vier Kartenstapeln entsprechend der Kategorien Farbe, Form oder Anzahl der abgebildeten Symbole zuordnen. Nach jeder



Karte erhält er eine Rückmeldung, ob er die richtige Kategorie gewählt hat. Die Kategorie wechselt im Laufe des Test mehrmals unangekündigt. Der Proband muss in diesem Fall flexibel reagieren und durch Probieren die neue Kategorie herausfinden [92].

Auswertungskriterien sind hierbei die Gesamtanzahl richtig zugeordneter Karten und die Anzahl perseverativer Fehler<sup>1</sup>. Der Test prüft vor allem exekutive Funktionen wie abstraktes Planen, zielgerichtetes, strategisches und effektives Handeln [84].

### 2.3.4.2 Wortflüssigkeit

Erste Tests zur Wortflüssigkeit wurden bereits 1938 von Thurstone entwickelt [17]. Probanden müssen in einer begrenzten Zeit so viele Wörter wie möglich nennen, die mit einem vorgegebenen Buchstaben beginnen bzw. einer bestimmten Kategorie entsprechen. Die Nennung von Eigennamen ist nicht erlaubt. Wir verwendeten die Buchstaben F-A-S und die Kategorie Tiere mit einer Zeitbegrenzung von jeweils einer Minute [93]. Die richtigen Antworten der Kategorien F, A und S wurden summiert und als Gesamtpunktzahl für den Test der Wortflüssigkeit gewertet.

Der Test fordert den Abruf von explizit gelerntem Wissen in bestimmten Kategorien. Diese Fähigkeit ist von exekutiven Funktionen abhängig [94, 95, 96].

### 2.3.5 Fluide Intelligenz

#### 2.3.5.1 Raven-Matrizen-Test

Ein Test zur Untersuchung der fluiden Intelligenz ist der Raven-Progressive-Matrizen-Test. Die Aufgabe besteht darin, aus einer Reihe von präsentierten Symbolen oder Mustern Regeln abzuleiten und mit deren Hilfe ein fehlendes Symbol oder Teilstück des Musters einzusetzen (siehe Abbildung 2.2). Der Test zeichnet sich durch die Größe und Stabilität der interindividuellen Unterschiede in der Testperformance aus. Sie ergeben sich auch in Gruppen mit ähnlichem explizitem Wissen, wie z.B. unter Studenten. Dies zeigt, dass der Performanz nicht die Bildung, sondern die individuelle fluide Intelligenz zu Grunde liegt [20]. Wir nutzten die Standard Progressive Matrices Version des Tests [97].

Die Test-Retest-Reliabilität liegt – je nach vorgegebenem Zeitintervall – zwischen .55 und

---

<sup>1</sup>Beibehalten einer falschen Kategorie trotz negativer Rückmeldung

.93. Der Raven-Matrizen-Test ist nicht homogen. Er enthält leichte und schwere Items [98]. Für den Prä- und Posttest stellten wir zwei Parallelversionen des Paradigmas her, um eine Test-Retest-Verzerrung der Ergebnisse auszuschließen. Hierzu wurden die Items bezüglich ihrer Schwierigkeit auf beide Parallelversionen gleich verteilt. Sowohl die Anzahl der richtig bearbeiteten Aufgaben (als Punktzahl im Raven-Matrizen-Test) als auch die Anzahl der nicht bearbeiteten Aufgaben wurden ausgewertet.

Untersuchungen der Übereinstimmungsvalidität (concurrent validity) ergeben eine Korrelation von etwa .7 mit anderen Intelligenztests wie dem Wechler Intelligenztest und dem Stanford-Binet-Test [99]. Der Raven-Matrizen-Test zeichnet sich hierbei durch eine hohe „Kultur-Fairness“ aus; die Performanz ist also unabhängiger von der Kultur, Bildung und Herkunft der Probanden als bei anderen Intelligenztests [100].

### 2.3.5.2 Leistungsprüfsystem 3 (LPS 3)

Das LPS ist ein Intelligenztest, der von Horn 1962 entwickelt und 1983 überarbeitet wurde [102]. Seine Ergebnisse sollen Aufschlüsse über die Leistungsfähigkeit und Arbeitsweise einer untersuchten Person geben. Der Test besteht aus einzelnen Subtests zur Allgemeinbildung, technischen Begabung, fluiden Intelligenz, zum Wahrnehmungstempo und zur Konzentrationsfähigkeit.

Wir verwendeten nur den Subtest 3, der die fluide Intelligenz durch das Erkennen von Gesetzmäßigkeiten relativ unabhängig von der Schulbildung prüft [103]. Hierfür wurden dem Probanden 38 Linien mit jeweils acht geometrischen Figuren präsentiert, die nach einer logischen Gesetzmäßigkeit angeordnet sind. Pro Reihe verletzt eine der Figuren die Regel und soll markiert werden. Alle innerhalb von drei Minuten korrekt als falsch erkannten Figuren bildeten das Maß, welches ausgewertet wurde.

## 2.3.6 Kristalline Intelligenz

### 2.3.6.1 Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenztest-B (MWT-B)

Im MWT-B, 1989 von Lehrl entwickelt, wird ein umgangs-, bildungs- oder wissenschaftsprachlich bekanntes Wort unter vier sinnlose wortähnliche Buchstabenkombinationen gemischt. Das bekannte Wort muss in dieser Reihe markiert werden. Den Gesamttest bilden 37 im Schwierigkeitsgrad ansteigende Wortzeilen. Als Punktzahl wird die Anzahl der korrekt erkannten Wörter gewertet. Es gibt keine zeitliche Begrenzung beim Lösen der Aufgabe [104]. Es wird vor allem der Wortschatz und die Unterscheidung zwischen Bekanntem und Unbe-

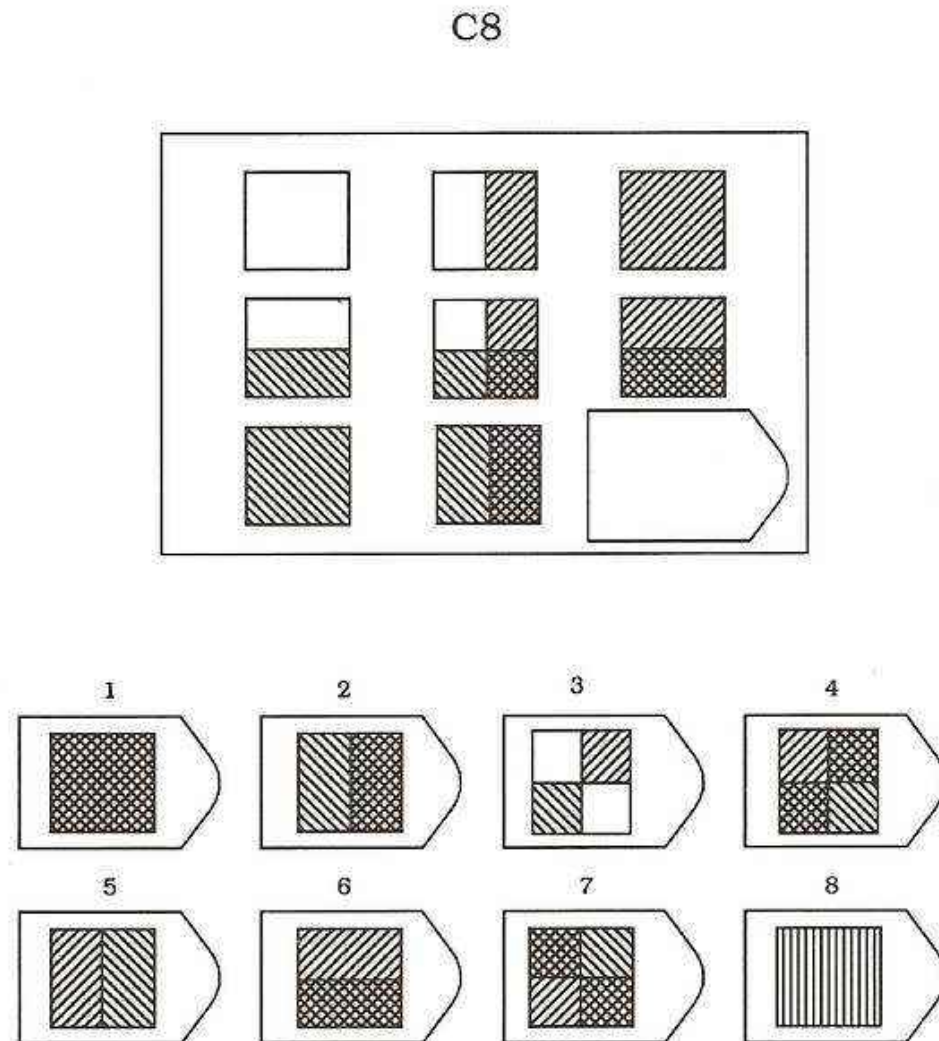


Abbildung 2.2: Beispiel für eine Aufgabe des Raven-Progressive-Matrizen-Tests [101].

kanntem, also hauptsächlich das kristalline Intelligenzniveau geprüft.

## 2.4 Statistische Analyse

Die deskriptive Analyse der Daten und die Überprüfung der Hypothesen erfolgte mit dem statistischen Analyseprogramm SPSS (Version 18).

Die demographischen Daten sowie die neuropsychologischen Prätest-Ergebnisse der Trai-

nings- und Kontrollgruppe wurden mittels t-Tests für unabhängige Stichproben bzw. Chi<sup>2</sup>-Tests auf Unterschiede kontrolliert. Zur Überprüfung der Hypothesen wurden zunächst zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung berechnet.

Das  $\alpha$ -Signifikanzniveau wurde vorab auf  $p = .05$  festgelegt. Ein Trend liegt ab einem Signifikanzniveau von  $p \leq .10$  vor. Zur Beurteilung der Wirkungsstärke der Intervention wird das Effektstärkemaß  $Eta^2$  ( $\eta^2$ ) angegeben. Dabei ist nach Cohen [105] folgende Konvention des Effektstärkemaßes gültig: Bei einer Effektstärke von etwa  $\eta^2 = 0.2$  wird nach Cohen von einem kleinen Effekt, bei  $\eta^2 = 0.5$  von einem mittleren und bei  $\eta^2 = 0.8$  von einem großen Effekt ausgegangen.

Voraussetzungen für eine ANOVA mit Messwiederholungen sind: (1) Intervallskalenniveau der abhängigen Variablen, (2) Normalverteilung der Messwerte in allen Teilstichproben, (3) Homogenität der Gruppenvarianzen, (4) Homogenität der Varianzen und Kovarianzen der Messwiederholungen ab drei Messzeitpunkten (Sphärizität) und (5) Balanciertheit des Designs [106]:

- (1) Die Ergebnisse aller abhängigen Variablen lagen im Intervallskalenniveau vor.
- (2) Die Normalverteilung der Messwerte wurde mittels Shapiro-Wilk-Test überprüft, da sich dieser Test bei Stichproben unter 50 Probanden gegenüber vergleichbaren Tests durch eine gute Teststärke auszeichnet [107]. Die Ergebnisse des Tests werden nur berichtet, falls die Daten die Normalverteilungsannahme verletzen. Laut Ziegler und Bühner ist die Varianzanalyse bei gleich großen Stichproben gegenüber einer Verletzung der Normalverteilung robust [106]. Daher wurde in diesem Fall auf nicht-parametrische Verfahren verzichtet.
- (3) Mit Hilfe des Levene-Tests wurden die Daten auf Varianzhomogenität geprüft. Hierbei werden die Gruppenvarianzen getrennt für die Messzeitpunkte verglichen. Wird der Test signifikant, so spricht dies für eine Varianzheterogenität. Laut Ziegler und Bühner [106] empfiehlt sich in diesem Fall der  $F_{\max}$ -Test nach Hartley. Hierbei werden die kleinste und größte beobachtete Gruppenvarianz herangezogen und die größere durch die kleinere geteilt. Je nach Verhältnis der Gruppengrößen gibt es dann Richtlinien zur Änderung des  $\alpha$ -Signifikanzniveaus. Bei einem Verhältnis der Gruppengrößen von maximal 4:1 sollte bei einem  $F_{\max}$ -Test  $> 10$  das  $\alpha$ -Signifikanzniveau auf  $\alpha = .025$  gesenkt werden.

Die Ergebnisse der Tests werden nur berichtet, wenn die Daten die Homogenitätsannahme verletzen.

(4) Mit Hilfe des Mauchly-Tests wurden die Daten, bei denen drei Messwiederholungen vorlagen, auf Sphärizität überprüft. Die Ergebnisse des Tests werden nur berichtet, falls die Daten die Sphärizitätsannahme verletzen.

(5) Aufgrund der gleichen Zellenbesetzung kann von einem balancierten Versuchsplan als Grundlage der varianzanalytischen Auswertung ausgegangen werden.

Mit Hilfe von Post-Hoc-t-Tests für unabhängige Stichproben wurden signifikante Haupteffekte der Varianzanalyse für die Gruppe genauer untersucht. Signifikante Haupteffekte für das Training wurden im Fall von zwei Messzeitpunkten mittels Post-Hoc-t-Tests für gepaarte Stichproben genauer analysiert. Im Fall von drei Messzeitpunkten wurden Varianzanalysen mit Messwiederholungen für die Gruppen getrennt durchgeführt.

Die Ergebnisse von Variablen, bei denen die Varianzanalyse eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Training oder einen Trend in diese Richtung ergab, wurden anschließend innerhalb der Trainingsgruppe mittels linearer Regressionsanalyse und Pearson-Korrelation auf einen Zusammenhang zum maximal erreichten N-Back-Level untersucht.

# 3 Ergebnisse

## 3.1 Probanden

Von 32 rekrutierten Probanden (s. Kapitel 2.1) wurden insgesamt 30 Probanden in die Studie eingeschlossen. Es gab in keiner der erhobenen demographischen Testvariablen signifikante Unterschiede zwischen der Trainings- und der Kontrollgruppe (s. Tabelle 3.1). Zwei Probanden der Kontrollgruppe mussten von der Auswertung ausgeschlossen werden, da sie in der vierten Trainingssitzung versehentlich einen Durchlauf des N-Back-Trainings durchführten.

Tabelle 3.1: Vergleich der demographischen Daten von Trainings- und Kontrollgruppe

	Trainingsgruppe	Kontrollgruppe	Signifikanz (2-seitig) <sup>a</sup>
Probandenanzahl	15	15	
Alter (Mittel [SD]/Spanne)	25.93 [ $\pm 1.94$ ]/ 24-30	25.60 [ $\pm 2.06$ ]/ 22-30	p = .65 <sup>b</sup>
Geschlecht (m/w)	6 / 9	6 / 9	p = 1.00
Migrationshintergrund (ja/nein)	1 / 14	1 / 14	p = 1.00
Familienstand (ledig/verheiratet)	15 / 0	14 / 1	p = .31
Bildungsjahre (Mittel [SD]/Spanne)	17.40 [ $\pm 0.71$ ]/ 16-19	17.63 [ $\pm 0.99$ ]/ 16-19	p = .47 <sup>b</sup>
Studium (ja/nein)	14 / 1	15 / 0	p = .31
Ausbildung (ja/nein)	2 / 13	3 / 12	p = .62

<sup>a</sup>Falls nicht anders angegeben, Berechnung mittels Chi<sup>2</sup>-Tests

<sup>b</sup>Berechnung mittels t-Tests für unabhängige Stichproben

T-Tests für gepaarte Stichproben zeigten, dass es vor dem Training (t1) in keiner der erho-

benen neuropsychologischen Testvariablen signifikante Unterschiede zwischen der Trainings- und der Kontrollgruppe gab (s. Tabelle 3.2).

## 3.2 Arbeitsgedächtnistraining

Nach vierwöchigem Arbeitsgedächtnistraining erreichten die Probanden der Trainingsgruppe im Mittel einen Schwierigkeitsgrad von Level zwölf (0-, 3- und 4-Back, ISI = 1600ms) ( $M = 11.93$ ,  $SD = \pm 3.20$ , Spanne: 7-19). Die Kontrollgruppe erreichte nach der vierwöchigen Warteperiode im Mittel Level zwei (0-, 1- und 2-Back, ISI = 1600ms) ( $M = 2.27$ ,  $SD = \pm 0.96$ , Spanne: 1-4) (s. Abbildung 3.1).

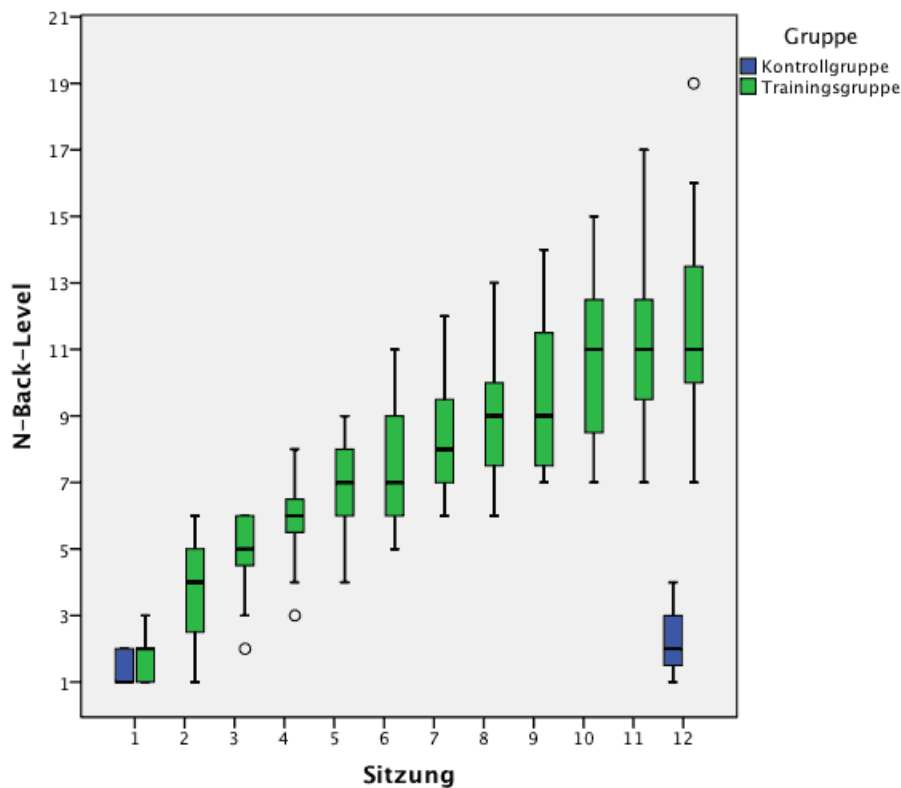


Abbildung 3.1: Erreichte N-Back Level pro Sitzung im Laufe des Trainings

Im Mittel machten die Trainingsprobanden pro Sitzung drei Fehlalarme ( $M = 2.97$ ,  $SD = \pm 2.70$ , Spanne: 0-15). Die mittlere Rate der Fehlalarme pro Distraktoren in der ersten Trainingssitzung lag in der Trainingsgruppe bei etwa 0,5 % ( $M = 0.543$ ,  $SD = \pm 0.409$ , Spanne: 0.00-1.23). Die gemittelte Rate der Kontrollgruppe in der ersten N-Back-Sitzung betrug etwa 1.1% ( $M = 1.169$ ,  $SD = \pm 0.629$ , Spanne: 0.25-2.22). In der letzten Trainingssitzung machte die Trainingsgruppe etwa 0.6% Fehlalarme pro Distraktoren ( $t(28) = 0.623$ ,  $SD = \pm 0.629$ , Spanne: 0.00-2.47). Die Rate der Kontrollgruppe in der letzten N-Back-Sitzung lag bei etwa 0.9% ( $M = 0.921$ ,  $SD = \pm 0.517$ , Spanne: 0.22-1.73) (s. Tabelle 3.3).

Tabelle 3.2: Neuropsychologische Tests vor dem Arbeitsgedächtnistraining

Test <sup>a</sup>	Trainingsgruppe <sup>b</sup> (Mittel [SD]/ Spanne)	Kontrollgruppe (Mittel [SD]/ Spanne)	Signifikanz (2-seitig) <sup>c</sup>
Zahlenspanne vorwärts	9.40 [±1.45] 7-12	9.80 [±1.61] 7-12	p = .42
Zahlenspanne rückwärts	8.93 [±1.71] 6-12	8.40 [±2.56] 4-12	p = .51
Zahlenverbindungstest A [Sek.]	22.07 [±6.28] 14-35	24.33 [±4.92] 16-32	p = .28
Zahlenverbindungstest B [Sek.]	48.67 [±14.21] 33-74	47.87 [±12.70] 31-74	p = .87
Zahlen-Symbol-Test	45.40 [±7.11] 36-59	43.13 [±4.32] 32-51	p = .30
WCST [Prozent] <sup>d</sup>	85.29 [±3.33] 81.50-90.90	84.41 [±4.45] 75.00-91.40	p = .57
Wortflüssigkeit Tiere	28.27 [±8.03] 16-50	30.67 [±3.56] 22-36	p = .30
Wortflüssigkeit Buchstaben <sup>e</sup>	17.60 [±3.07] 12.33-22.67	17.49 [±2.51] 12.00-22.33	p = .91
Raven Punkte	22.20 [±3.65] 12-27	22.73 [±2.84] 18-27	p = .66
Raven Fehlende <sup>f</sup>	4.27 [±3.92] 0-14	3.00 [±2.56] 0-9	p = .30
LPS3 <sup>g</sup>	25.29 [±3.29] 20-32	24.87 [±3.04] 17-28	p = .72
MWT-B	31.73 [±2.55] 28-36	31.80 [±2.34] 28-37	p = .94

<sup>a</sup>Falls nicht anders angegeben, beschreiben die Mittelwerte die Anzahl korrekt gelöster Aufgaben

<sup>b</sup>Falls nicht anders angegeben, gilt für die Trainingsgruppe und für die Kontrollgruppe jeweils N=15

<sup>c</sup>Berechnung mittels t-Tests für unabhängige Stichproben

<sup>d</sup>Bei drei Probanden wurde zu Beginn der Studie statt des WCST der Tower of London-Test durchgeführt, N (Trainingsgruppe) = 13, N (Kontrollgruppe) = 14

<sup>e</sup>Wortflüssigkeit Buchstaben ist der Mittelwert der drei Wortflüssigkeit Aufgaben([A- + F- + S-Worte]/3)

<sup>f</sup>Raven Fehlende = nicht bearbeitete Aufgaben im Raven-Matrizen-Test

<sup>g</sup>Ein Proband musste ausgeschlossen werden, da der Test mit einer abweichenden Zeitbegrenzung durchgeführt wurde, N (Trainingsgruppe) = 14



Die Daten der maximal erreichten N-Back-Level in der ersten Sitzung verletzten die Normalverteilungsannahme in beiden Gruppen (Trainingsgruppe: Shapiro-Wilk-Test  $p < .05$ ; Kontrollgruppe: Shapiro-Wilk-Test  $p < .001$ ). Die Daten der maximal erreichten N-Back-Level in der 12. Sitzung verletzten die Normalverteilungsannahme innerhalb der Kontrollgruppe (Shapiro-Wilk-Test  $p < .05$ ). Die Daten der Analyse mittels 2 (Gruppe)  $\times$  2 (Training: 1. Sitzung, 12. Sitzung) Varianzanalyse verletzten die Homogenitätsannahme in der 12. Sitzung (Levene-Test  $F(1,28) = 10.344$ ,  $p < .05$ ). Daraufhin wurde Hartley's  $F_{\max}$ -Test durchgeführt. Die größte Varianz betrug 10.210 (Trainingsgruppe, 12. Sitzung), die kleinste 0.257 (Kontrollgruppe, 1. Sitzung). Daraus ergab sich ein  $F_{\max}$ -Wert von 39.728. Es galt also  $F_{\max} > 10$ . Dementsprechend wurde das  $\alpha$ -Signifikanzniveau auf  $\alpha = .025$  herabgesetzt (s. Kapitel 2.4(3)).

Die Untersuchung ergab signifikante Haupteffekte für das Training ( $F(1,28) = 189.423$ ,  $p < .0001$ , partial  $\eta^2 = .871$ ) und für die Gruppe ( $F(1,28) = 104.804$ ,  $p < .0001$ , partial  $\eta^2 = .789$ ) sowie eine signifikante Gruppe\*Training-Interaktion ( $F(1,28) = 135.329$ ,  $p < .0001$ , partial  $\eta^2 = .829$ ).

Die Berechnung mittels Post-Hoc-t-Tests für abhängige Stichproben zur genaueren Betrachtung des Haupteffekts für das Training ergab einen signifikanten Anstieg des N-Back-Levels für beide Gruppen (Trainingsgruppe:  $t(14) = -13.067$ ,  $p < .0001$ ; Kontrollgruppe:  $t(14) = -4.516$ ,  $p < .001$ ).

Die Berechnung mittels Post-Hoc-t-Tests für unabhängige Stichproben zur genaueren Untersuchung des Haupteffekts für die Gruppe zeigte, dass sich die maximalen N-Back-Levels nach der ersten Sitzung nicht signifikant zwischen den Gruppen unterschieden ( $t(28) = 0.866$ ,  $p = .39$ ). Das maximale N-Back-Level nach der 12. Sitzung unterschied sich signifikant zwischen den beiden Gruppen ( $t(28) = 11.228$ ,  $p < .0001$ ).

Beide Gruppen stiegen also von der ersten bis zur letzten Sitzung signifikant in den N-Back-Levels auf. Jedoch zeigt die signifikante Gruppe\*Training-Interaktion, dass sich die Trainingsgruppe eindeutig stärker verbesserte als die Kontrollgruppe.

Durch das adaptive Trainingsdesign waren die Aufstiegsmöglichkeiten in höhere N-Back-Level innerhalb einer Sitzung begrenzt (Aufstieg um maximal drei Level pro Sitzung). Daher bestanden unterschiedliche Voraussetzungen für die beiden Gruppen. Die Kontrollgruppe konnte bei zwei durchgeführten N-Back-Sitzungen nur um maximal sechs Level aufsteigen. Als Maß für die Effektivität des N-Back-Trainings folgen daher die Analysen der Fehlalarme

pro Distraktoren und der Reaktionszeiten. Diese beiden Variablen werden weniger durch das Studiendesign beeinflusst und bilden daher den Leistungszugewinn im Laufe des N-Back-Trainings besser ab.

Die Analyse der Fehllarme pro Distraktoren mittels 2 (Gruppe) x 2 (Training: 1. Sitzung, 12. Sitzung) Varianzanalyse für Messwiederholungen erfüllte die Homogenitätsannahme und ergab einen signifikanten Haupteffekt für die Gruppe ( $F(1,28) = 8.147$ ,  $p < .01$ , partial  $\eta^2 = .28$ ), jedoch weder einen signifikanten Haupteffekt für das Training ( $F(1,28) = 0.481$ ,  $p = .49$ ) noch eine signifikante Gruppe\*Training-Interaktion ( $F(1,28) = 1.818$ ,  $p = .19$ ).

Die beiden Gruppen machten also über beide N-Back-Sitzungen gemittelt unterschiedlich viele Fehllarme pro Distraktoren.

Die Berechnung mittels Post-Hoc-t-Tests für unabhängige Stichproben ergab, dass die Trainingsgruppe schon in der ersten Trainingssitzung signifikant weniger Fehler machte als die Kontrollgruppe ( $t(28) = -3.228$ ,  $p < .01$ ) (s. Tabelle 3.3, Abbildung 3.2 und 3.3). In der letzten Trainingssitzung unterschieden sich die Fehllarme pro Distraktoren nicht signifikant zwischen den Gruppen ( $t(28) = 1.418$ ,  $p = .17$ ).

Trotz der höheren N-Back-Level machte die Trainingsgruppe also in der letzten N-Back-Sitzung nicht signifikant mehr Fehllarme pro Distraktoren als die Kontrollgruppe.

Tabelle 3.3: Fehllarme pro Distraktoren

	<b>Trainingsgruppe</b> (Mittel [SD]/ Spanne)	<b>Kontrollgruppe</b> (Mittel [SD]/ Spanne)	<b>Signifikanz</b> (2-seitig) <sup>a</sup>
Fehllarme pro Distraktoren in der ersten N-Back-Sitzung [%]	.043 [ $\pm 0.409$ ]/ 0.00-1.23	1.168 [ $\pm 0.629$ ]/ 0.25-2.22	$p < .01$
Fehllarme pro Distraktoren in der letzten N-Back-Sitzung [%]	.623 [ $\pm 0.629$ ]/ 0.00-2.47	.921 [ $\pm 0.517$ ]/ 0.22-1.73	$p = .17$

<sup>a</sup>Berechnung mittels t-Tests für unabhängige Stichproben

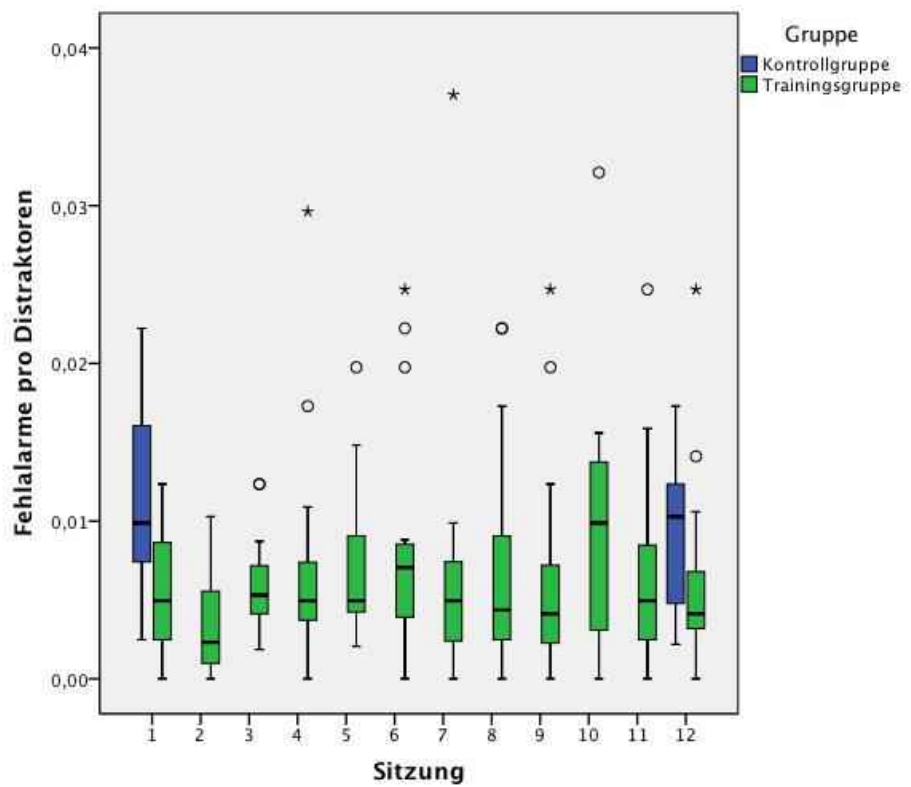


Abbildung 3.2: Fehlalarme pro Distraktoren im Laufe des Trainings

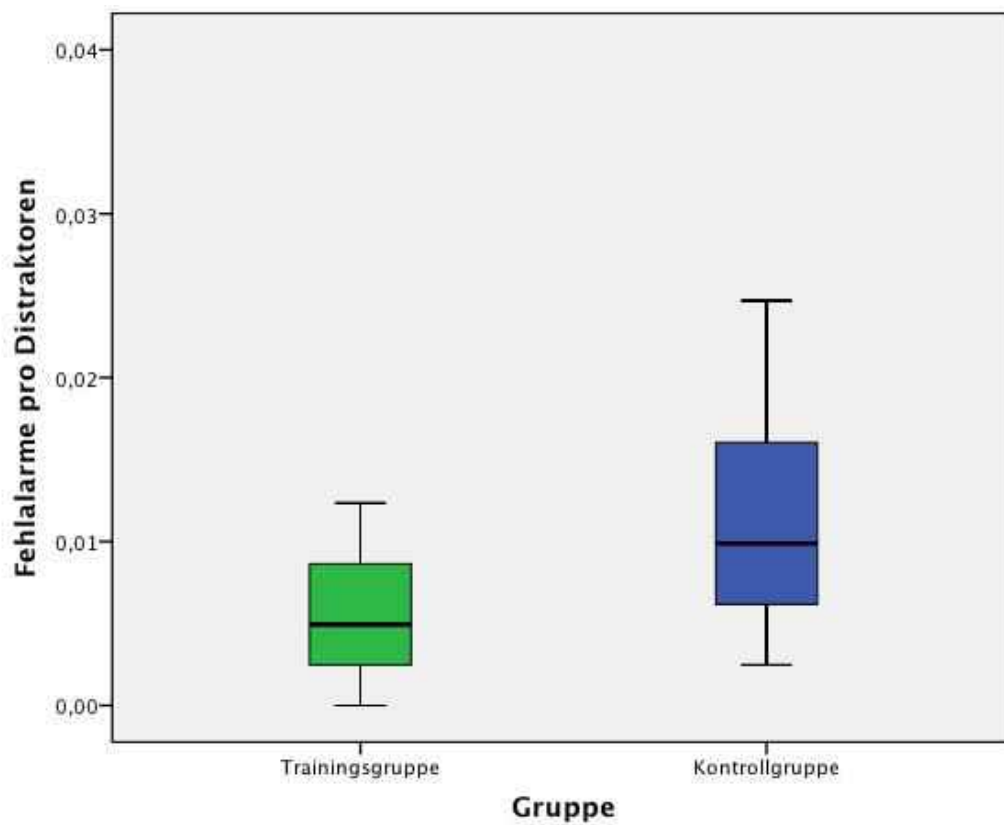


Abbildung 3.3: Vergleich der Fehlalarme pro Distraktoren in der ersten Trainingssitzung

### 3.3 Reaktionszeiten

In der ersten Trainingssitzung betrug die Reaktionszeit der Trainingsgruppe im Mittel 600.34 ms, die der Kontrollgruppe 516.47 ms. In der letzten Sitzung reagierte die Trainingsgruppe im Mittel nach 494.18 ms, die Kontrollgruppe nach 497.25 ms (s. Tab. 3.4 und 3.5).

Der Vergleich der Reaktionszeiten von Trainingsgruppe und Kontrollgruppe mittels 2 (Gruppe) x 2 (Training: 1. Sitzung, 12. Sitzung) Varianzanalyse für Messwiederholungen erfüllte die Homogenitätsannahme und ergab signifikante Haupteffekte für das Training ( $F(1,28) = 55.363$ ,  $p < .001$ , partial  $\eta^2 = .664$ ) und für die Gruppe ( $F(1,28) = 4.355$ ,  $p < .05$ , partial  $\eta^2 = .135$ ) sowie eine signifikante Gruppe\*Training-Interaktion ( $F(1,28) = 26.614$ ,  $p < .001$ , partial  $\eta^2 = .487$ ).

Post-Hoc-t-Tests für gepaarte Stichproben ergaben, dass sich sowohl die Reaktionszeiten der Kontrollgruppe ( $t(14) = 2.17$ ,  $p < .05$ ) als auch die der Trainingsgruppe ( $t(14) = 7.40$ ,  $p < .001$ ) signifikant verbesserten.

Der Vergleich der mittleren Reaktionszeiten von Trainingsgruppe und Kontrollgruppe in der ersten Trainingssitzung mittels Post-Hoc-t-Tests für unabhängige Stichproben ergab, dass die Kontrollgruppe signifikant schneller reagierte ( $t(28) = 3.798$ ,  $p < .001$ ) (siehe Abbildung 3.4(a)). Dieser Zusammenhang zeigte sich auch bei der Betrachtung der mittleren Reaktionszeiten für die einzelnen Bedingungen der ersten Trainingssitzung 0-, 1- und 2-Back ( $t(28) = 4.404$ ,  $p < .001$ ;  $t(28) = 2.954$ ,  $p < .01$ ;  $t(28) = 2.482$ ,  $p < .05$ ) (s. Tabelle 3.4 und Abbildungen 3.4(b), 3.5(a) und 3.5(b)).

Tabelle 3.4: Deskriptive Daten der Reaktionszeiten in der ersten Trainingssitzung

Reaktionszeit (t1)	Trainingsgruppe	Kontrollgruppe	Signifikanz (2-seitig) <sup>a</sup>
Gemittelt [SD] <sup>b</sup>	600.34 [±60.94]	516.47 [±59.99]	$p < .001$
0-Back [SD]	552.38 [±55.27]	463.63 [±55.03]	$p < .001$
1-Back [SD]	579.18 [±77.23]	501.76 [±65.38]	$p < .01$
2-Back [SD]	675.95 [±76.05]	592.78 [±105.21]	$p < .05$

<sup>a</sup>Berechnung mittels t-Tests für unabhängige Stichproben

<sup>b</sup>gemittelte Reaktionszeit über alle Bedingungen in ms, SD = Standardabweichung

Der Vergleich der Reaktionszeiten in der letzten Trainingssitzung mittels Post-Hoc-t-Tests für unabhängige Stichproben ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ( $t(28) = -.153$ ,  $p = .88$ ) (s. Tabelle 3.5).

Die Kontrollgruppe zeigte also über beide N-Back-Sitzungen gemittelt bessere Reaktionszeiten als die Trainingsgruppe. Dieser Unterschied beruht allerdings vor allem auf den verschiedenen Reaktionszeiten zu Beginn der Studie. Beide Gruppen verbesserten sich von der ersten bis zur letzten Trainingssitzung, wobei der Effekt in der Trainingsgruppe signifikant größer ausfiel (s. Abbildung 3.4).

Tabelle 3.5: Deskriptive Daten der Reaktionszeiten in der letzten Trainingssitzung

Reaktionszeit (t3)	Trainingsgruppe	Kontrollgruppe	Signifikanz (2-seitig) <sup>a</sup>
Gemittelt [SD] <sup>b</sup>	494.18 [±57.61]	497.25 [±52.35]	$p = .88$

<sup>a</sup>Berechnung mittels t-Tests für unabhängige Stichproben

<sup>b</sup>gemittelte Reaktionszeit über alle Bedingungen in ms, SD = Standardabweichung

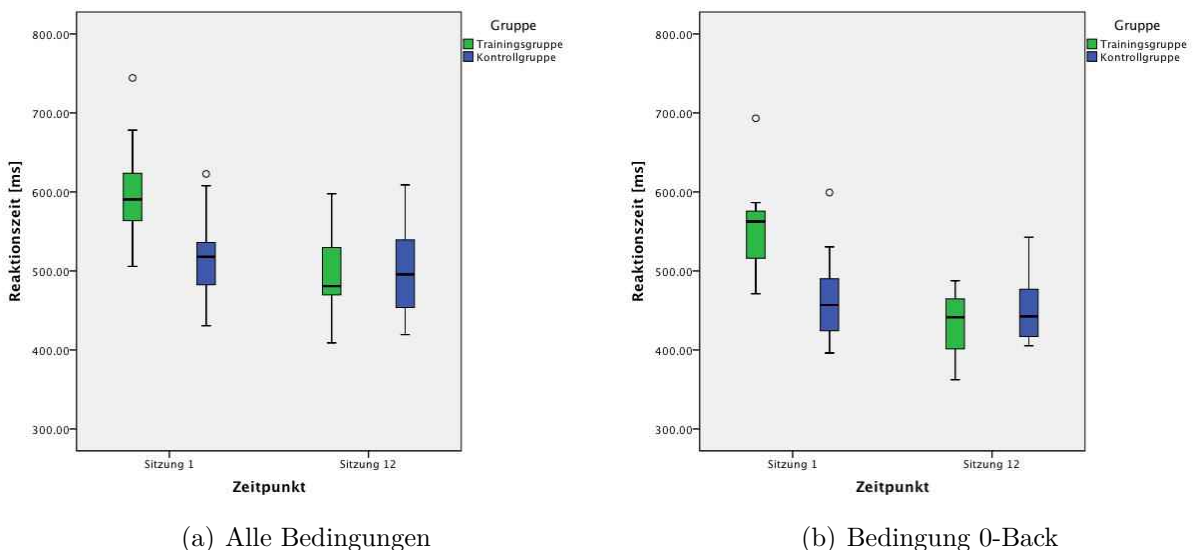


Abbildung 3.4: Mittlere Reaktionszeiten in der ersten und letzten Sitzung

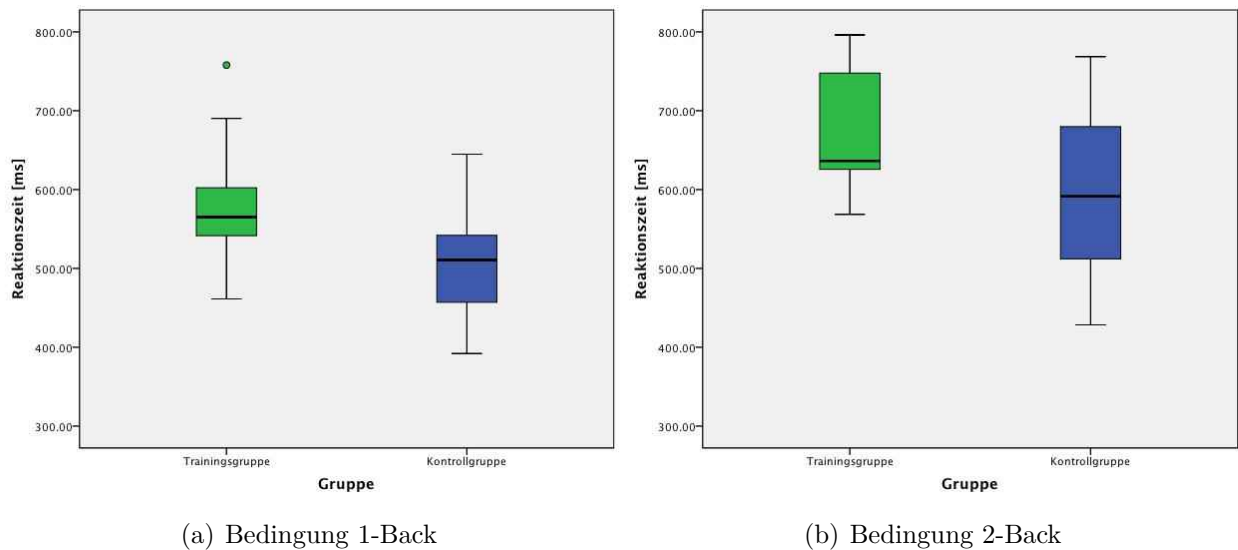


Abbildung 3.5: Mittlere Reaktionszeiten in der ersten Sitzung

### 3.4 Zugewinne in nicht-trainierten Tests

Vor dem Training ( $t_1$ ) gab es in keiner der erhobenen neuropsychologischen Testvariablen signifikante Unterschiede zwischen der Trainings- und der Kontrollgruppe (s. Tabelle 3.2, Seite 33).

Tabelle 3.6 und 3.7 stellen die deskriptiven Ergebnisse der neuropsychologischen Tests in der vierten Trainingssitzung ( $t_2$ ) bzw. im Posttest ( $t_3$ ) dar.

Tabelle 3.6: Deskriptive Daten der Neuropsychologie in der vierten Trainingssitzung ( $t_2$ )

Test <sup>a</sup>	Trainingsgruppe <sup>b</sup> (Mittel [SD] Spanne)	Kontrollgruppe (Mittel [SD] Spanne)	Signifikanz (2-seitig) <sup>c</sup>
Zahlenspanne vorwärts	9.73 [ $\pm 1.62$ ] 6-12	10.27 [ $\pm 1.33$ ] 7-12	$p = .33$
Zahlenspanne rückwärts	9.13 [ $\pm 2.10$ ] 6-12	9.13 [ $\pm 1.41$ ] 6-11	$p = 1.00$
Zahlen-Symbol-Test	45.40 [ $\pm 7.11$ ] 36-59	47.27 [ $\pm 5.54$ ] 39-58	$p = .28$
LPS3 <sup>d</sup>	28.93 [ $\pm 2.79$ ] 25-35	28.27 [ $\pm 3.17$ ] 23-35	$p = .23$

<sup>a</sup>Falls nicht anders angegeben, beschreiben die Mittelwerte die Anzahl korrekt gelöster Aufgaben

<sup>b</sup>Falls nicht anders angegeben, gilt für die Trainingsgruppe und für die Kontrollgruppe jeweils  $N=15$

<sup>c</sup>Berechnung mittels t-Tests für unabhängige Stichproben

<sup>d</sup>Ein Proband musste ausgeschlossen werden, da der Test mit einer abweichenden Zeitbegrenzung durchgeführt wurde,  $N$  (Trainingsgruppe) = 14

Tabelle 3.7: Deskriptive Daten der Neuropsychologie im Posttest (t3)

Test <sup>a</sup>	Trainingsgruppe <sup>b</sup> (Mittel [SD] Spanne)	Kontrollgruppe (Mittel [SD] Spanne)	Signifikanz (2-seitig) <sup>c</sup>
Zahlenspanne vorwärts	10.40 [±1.18] 8-12	10.33 [±1.29] 8-12	p = .88
Zahlenspanne rückwärts	10.40 [±1.59] 6-12	9.53 [±1.64] 7-12	p = .15
Zahlenverbindungstest A [Sek.]	17.73 [±3.45] 12-26	23.33 [±7.06] 13-37	p ≤ .01
Zahlenverbindungstest B [Sek.]	40.27 [±11.33] 22-66	43.93 [±8.10] 31-61	p = .32
Zahlen-Symbol-Test	54.80 [±8.02] 39-73	47.07 [±5.51] 39-59	p < .01
WCST [Prozent] <sup>d</sup>	87.96 [±3.33] 84.00-93.80	86.15 [±3.93] 77.10-90.90	p = .23
Wortflüssigkeit Tiere	33.13 [±7.20] 17-42	31.27 [±6.04] 19-41	p = .45
Wortflüssigkeit Buchstaben <sup>e</sup>	21.82 [±3.22] 16.00-26.67	18.84 [±4.54] 10.33-26.33	p < .05
Raven Punkte	24.53 [±2.90] 17-28	23.07 [±2.34] 20-27	p = .14
Raven Fehlende <sup>f</sup>	0.93 [±1.33] 0-4	2.80 [±2.08] 0-6	p < .01
LPS3 <sup>g</sup>	30.71 [±4.32] 24-40	29.80 [±2.98] 23-34	p = .22
MWT-B	32.40 [±2.56] 28-36	31.93 [±2.43] 28-37	p = .62

<sup>a</sup>Falls nicht anders angegeben, beschreiben die Mittelwerte die Anzahl korrekt gelöster Aufgaben

<sup>b</sup>Falls nicht anders angegeben, gilt für die Trainingsgruppe und für die Kontrollgruppe jeweils N=15

<sup>c</sup>Berechnung mittels t-Tests für unabhängige Stichproben

<sup>d</sup>Bei drei Probanden wurde zu Beginn der Studie statt des WCST der Tower of London-Test durchgeführt, N (Trainingsgruppe) = 13, N (Kontrollgruppe) = 14

<sup>e</sup>Wortflüssigkeit Buchstaben ist der Mittelwert der drei Wortflüssigkeits-Aufgaben([A- + F- + S-Worte]/3)

<sup>f</sup>Raven Fehlende = nicht bearbeitete Aufgaben im Raven-Matrizen-Test

<sup>g</sup>Ein Proband musste ausgeschlossen werden, da der Test mit einer abweichenden Zeitbegrenzung durchgeführt wurde, N (Trainingsgruppe) = 14

### 3.4.1 Arbeitsgedächtnis

#### 3.4.1.1 Zahlenspanne vorwärts

Die Daten verletzen die Normalverteilungsannahme innerhalb der Trainingsgruppe zum dritten Testzeitpunkt (t3) (Shapiro-Wilk-Test  $p < .05$ ).

Die Analyse mittels 2 (Gruppe) x 3 (Training: t1, t2, t3) Varianzanalyse erfüllte die Homogenitätsannahme und ergab einen signifikanten Haupteffekt für das Training ( $F(2,56) = 4.971$ ,  $p \leq .01$ , partial  $\eta^2 = .151$ ). Der Haupteffekt für die Gruppe ( $F(1,28) = 0.434$ ,  $p = .52$ , partial  $\eta^2 = .015$ ) und die Interaktion ( $F(2,56) = 0.839$ ,  $p = .44$ , partial  $\eta^2 = .029$ ) waren nicht signifikant.

Die Post-Hoc durchgeführte Untersuchung des Haupteffekts für das Training mittels LSD-Test ergab keinen signifikanten Effekt zwischen dem ersten und dem zweiten Messzeitpunkt (t1 vs. t2) ( $p = .116$ ), allerdings einen signifikanten Effekt zwischen dem zweiten und dritten Messzeitpunkt (t2 vs. t3) ( $p < .01$ ).

Die anschließende für jede Gruppe getrennte Betrachtung des Haupteffekts für das Training mittels ANOVA für Messwiederholungen ergab eine signifikante Verbesserung der Trainingsgruppe ( $F(2,28) = 4.153$ ,  $p < .05$ , partial  $\eta^2 = .229$ ). Der Effekt für die Kontrollgruppe war nicht signifikant ( $F(2,28) = 1.511$ ,  $p = .24$ , partial  $\eta^2 = .097$ ). Obwohl sich also die Leistung der Trainingsgruppe verbesserte, und die der Kontrollgruppe nicht, zeigte sich kein signifikanter Einfluss des Trainings auf die Leistung im Zahlenspanne-Test vorwärts über alle Messzeitpunkte.

#### 3.4.1.2 Zahlenspanne rückwärts

Die Daten verletzen die Normalverteilungsannahme innerhalb der Trainingsgruppe zum dritten Testzeitpunkt (t3) (Shapiro-Wilk-Test  $p < .05$ ).

Die Analyse mittels 2 (Gruppe) x 3 (Training: t1, t2, t3) Varianzanalyse erfüllte die Homogenitätsannahme und ergab einen signifikanten Haupteffekt für das Training ( $F(2,56) = 8.838$ ,  $p < .001$ , partial  $\eta^2 = .240$ ). Der Haupteffekt für die Gruppe ( $F(1,28) = 0.644$ ,  $p = .429$ , partial  $\eta^2 = .022$ ) und die Interaktion ( $F(2,56) = 0.974$ ,  $p = .384$ , partial  $\eta^2 = .034$ ) waren nicht signifikant.

Die Post-Hoc durchgeführte Untersuchung des Haupteffekts für das Training mittels LSD-Test ergab keinen signifikanten Effekt zwischen dem ersten und dem zweiten Messzeitpunkt (t1 vs. t2) ( $p = .19$ ), allerdings einen signifikanten Effekt zwischen dem zweiten und dritten Messzeitpunkt (t2 vs. t3) ( $p < .01$ ).



Die anschließende für jede Gruppe getrennte Betrachtung des Haupteffekts für das Training mittels ANOVA für Messwiederholungen ergab eine signifikante Verbesserung der Trainingsgruppe ( $F(2,28) = 8.212$ ,  $p < .01$ , partial  $\eta^2 = .370$ ). Für die Kontrollgruppe lag ein Trend vor ( $F(2,28) = 2.770$ ,  $p < .10$ , partial  $\eta^2 = .165$ ).

Die Trainingsgruppe verbesserte sich also im Zahlenspanne-Test rückwärts nicht signifikant stärker als die Kontrollgruppe. Das Training scheint keinen signifikanten Einfluss auf die Perfomanz über alle Messzeitpunkte hinweg gehabt zu haben.

## 3.4.2 Verarbeitungsgeschwindigkeit

### 3.4.2.1 Zahlenverbindungstest A

Die Daten der Analyse mittels 2 (Gruppe) x 2 (Training: t1, t3) Varianzanalyse verletzen die Homogenitätsannahme zum dritten Messzeitpunkt (Levene-Test t3:  $F(1,28) = 12.669$ ,  $p < .05$ ). Daraufhin wurde Hartley's  $F_{\max}$ -Test durchgeführt. Die größte Varianz betrug 49.810 (Kontrollgruppe, t3), die kleinste 11.924 (Trainingsgruppe, t3). Daraus ergab sich ein  $F_{\max}$ -Wert von 4.177. Es galt also  $F_{\max} < 10$  und das  $\alpha$ -Signifikanzniveau konnte bei  $\alpha = .05$  belassen werden (s. Kapitel 2.4(3)).

Die Untersuchung ergab einen signifikanten Haupteffekt für das Training ( $F(1,28) = 8.258$ ,  $p < .01$ , partial  $\eta^2 = .228$ ), sowie einen signifikanten Haupteffekt für die Gruppe ( $F(1,28) = 4.658$ ,  $p < .05$ , partial  $\eta^2 = .143$ ) und einen Trend für die Gruppe\*Training-Interaktion ( $F(1,28) = 3.226$ ,  $p < .10$ , partial  $\eta^2 = .103$ ).

Die Post-Hoc durchgeführte Untersuchung des Haupteffekts für das Training mittels t-Tests für gepaarte Stichproben ergab, dass sich die Trainingsgruppe signifikant verbessern konnte ( $t(14) = 3.99$ ,  $p < .001$ ), wohingegen die Kontrollgruppe keine signifikante Verbesserung im Zahlenverbindungstest A aufwies ( $t(14) = 0.66$ ,  $p = .52$ ).

Die Trainingsgruppe verbesserte sich also, während die Kontrollgruppe keine signifikante Verbesserung im Zahlenverbindungstest A zeigte.

### 3.4.2.2 Zahlenverbindungstest B

Die Analyse mittels 2 (Gruppe) x 2 (Training: t1, t3) erfüllte die Homogenitätsannahme und ergab einen signifikanten Haupteffekt für das Training ( $F(1,28) = 9.449$ ,  $p < .01$ , partial  $\eta^2 = .252$ ), jedoch keinen signifikanten Haupteffekt für die Gruppe ( $F(1,28) = 0.141$ ,  $p = .71$ , partial  $\eta^2 = .005$ ) oder die Interaktion ( $F(1,28) = 1.239$ ,  $p = .28$ , partial  $\eta^2 = .042$ ).

Die Post-Hoc durchgeführte Untersuchung des Haupteffekts für das Training mittels t-Tests

für gepaarte Stichproben zeigten einen signifikanten Trainingseffekt für die Trainingsgruppe ( $t(14) = 2.43$ ,  $p < .05$ ) und einen Trend für die Kontrollgruppe ( $t(14) = 1.94$ ,  $p < .10$ ).

Die Trainingsgruppe verbesserte sich also im Zahlenverbindungstest B nicht signifikant stärker als die Kontrollgruppe. Das Training hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Verbesserung in diesem Test.

#### 3.4.2.3 Zahlen-Symbol-Test

Die Daten der 2 (Gruppe) x 3 (Training: t1, t2, t3) Varianzanalyse verletzen die Homogenitätsannahme zum ersten Messzeitpunkt (Levene-Test t1:  $F(1,28) = 5.205$ ,  $p < .05$ ). Daraufhin wurde Hartley's  $F_{\max}$ -Test durchgeführt. Die größte Varianz betrug 1492.747 (Kontrollgruppe, t1), die kleinste 611.707 (Trainingsgruppe, t1). Daraus ergab sich ein  $F_{\max}$ -Wert von 2.440. Es galt also  $F_{\max} < 10$  und das  $\alpha$ -Signifikanzniveau konnte bei  $\alpha = .05$  belassen werden (s. Kapitel 2.4(3)).

Die Analyse ergab einen signifikanten Haupteffekt für das Training ( $F(1,28) = 31.783$ ,  $p < .001$ , partial  $\eta^2 = .532$ ) und einen Trend im Haupteffekt für die Gruppe ( $F(1,28) = 3.865$ ,  $p < .10$ , partial  $\eta^2 = .121$ ). Die Gruppe\*Training-Interaktion für den Zahlen-Symbol-Test war signifikant ( $F(1,28) = 6.533$ ,  $p < .01$ , partial  $\eta^2 = .189$ ).

Die Post-Hoc durchgeführte Untersuchung des Haupteffekts für das Training mittels LSD-Test ergab signifikante Effekte zwischen allen Messzeitpunkten (t1 vs. t2:  $p < .001$ ; t2 vs. t3:  $p < .01$ , t1 vs. t3:  $p < .001$ ). Die anschließende Analyse mittels ANOVA für Messwiederholungen für beide Gruppen getrennt ergab sowohl eine signifikante Verbesserung der Trainingsgruppe ( $F(2,28) = 22.903$ ,  $p < .001$ , partial  $\eta^2 = .621$ ) als auch der Kontrollgruppe ( $F(2,28) = 11.503$ ,  $p < .001$ , partial  $\eta^2 = .451$ ).

Die signifikante Interaktion zeigt, dass sich die Trainingsgruppe im Laufe des N-Back-Trainings im Zahlen-Symbol-Test stärker verbessern konnte als die Kontrollgruppe (s. Abb. 3.6).

### 3.4.3 Exekutive Funktionen

#### 3.4.3.1 Wortflüssigkeitstest Kategorie Tiere

Die Daten der Analyse mittels 2 (Gruppe) x 2 (Training: t1, t3) Varianzanalyse verletzen die Homogenitätsannahme zum ersten Messzeitpunkt (Levene-Test t1:  $F(1,28) = 12.669$ ,  $p < .05$ ). Daraufhin wurde Hartley's  $F_{\max}$ -Test durchgeführt. Die größte Varianz betrug 64.495 (Trainingsgruppe, t1), die kleinste 12.667 (Kontrolle, t1). Daraus ergab sich ein  $F_{\max}$ -Wert

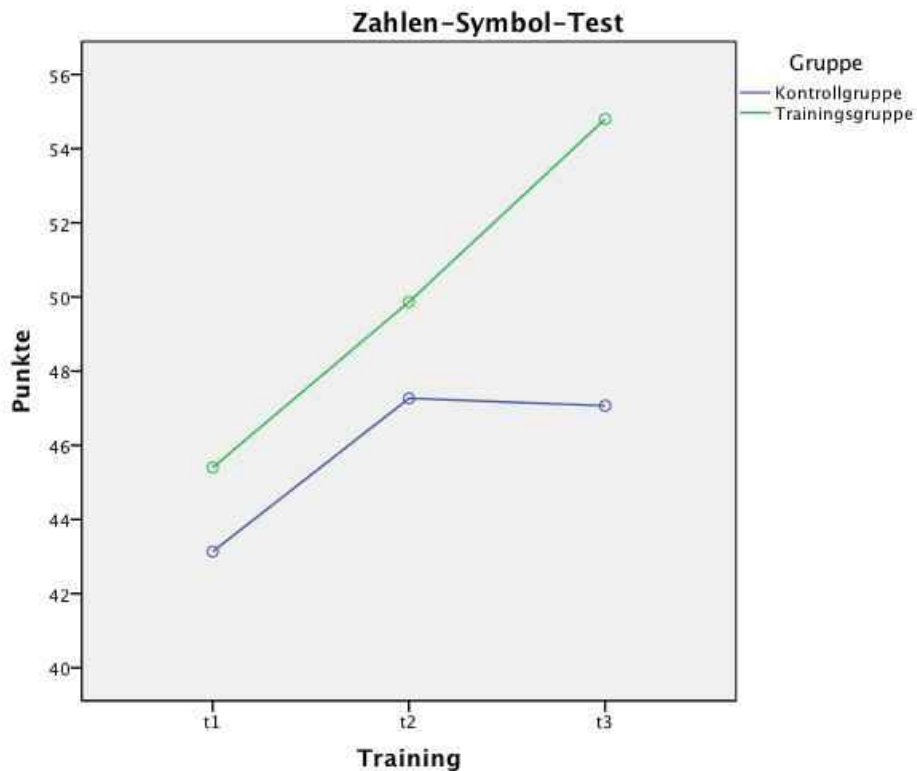


Abbildung 3.6: Veränderung der Performanz im Zahlen-Symbol-Test vom Prätest zum Post-test

von 5.092. Es galt also  $F_{\max} < 10$  und das  $\alpha$ -Signifikanzniveau konnte bei  $\alpha = .05$  belassen werden (s. Kapitel 2.4(3)).

Die Untersuchung ergab einen signifikanten Haupteffekt für das Training ( $F(1,28) = 5.617$ ,  $p < .05$ , partial  $\eta^2 = .167$ ), allerdings keinen signifikanten Haupteffekt für die Gruppe ( $F(1,28) = 0.017$ ,  $p = .90$ , partial  $\eta^2 = .001$ ). Für die Gruppe\*Training-Interaktion lag ein Trend vor ( $F(1,28) = 3.421$ ,  $p < .10$ , partial  $\eta^2 = .109$ ).

Die Post-Hoc durchgeführte Untersuchung des Haupteffekts für das Training mittels t-Tests für gepaarte Stichproben ergaben, dass sich die Trainingsgruppe signifikant verbessern konnte ( $t(14) = 2.88$ ,  $p < .05$ ), wohingegen die Kontrollgruppe keine signifikante Verbesserung im Wortflüssigkeitstest Kategorie Tiere aufwies ( $t(14) = 0.38$ ,  $p = .71$ ).

Die Trainingsgruppe verbesserte sich also, die Kontrollgruppe hingegen nicht.

### 3.4.3.2 Wortflüssigkeitstest Kategorie Buchstabe

Die Analyse mittels 2 (Gruppe) x 2 (Training: t1, t3) Varianzanalyse erfüllte die Homogenitätsannahme und ergab einen signifikanten Haupteffekt für das Training ( $F(1,28) = 29.544$ ,  $p < .001$ , partial  $\eta^2 = .513$ ). Der Haupteffekt für die Gruppe war nicht signifikant ( $F(1,28) = 1.842$ ,  $p = .19$ , partial  $\eta^2 = .062$ ). Es zeigte sich eine signifikante Gruppe\*Training-

Interaktion ( $F(1,28) = 7.804$ ,  $p < .01$ , partial  $\eta^2 = .218$ ).

Post-Hoc-t-Tests für gepaarte Stichproben zur genaueren Betrachtung des Haupteffekts für das Training zeigten, dass sich die Trainingsgruppe signifikant verbessern konnte ( $t(14) = 8.23$ ,  $p < .001$ ), wohingegen die Kontrollgruppe keine signifikanten Verbesserungen im Wortflüssigkeitstest Kategorie Buchstabe aufwies ( $t(14) = 1.51$ ,  $p = .15$ ).

Dieses Ergebnis spricht für einen Effekt des Arbeitsgedächtnistrainings auf die Performanz im Wortflüssigkeitstest Kategorie Buchstabe (s. Abb. 3.7).

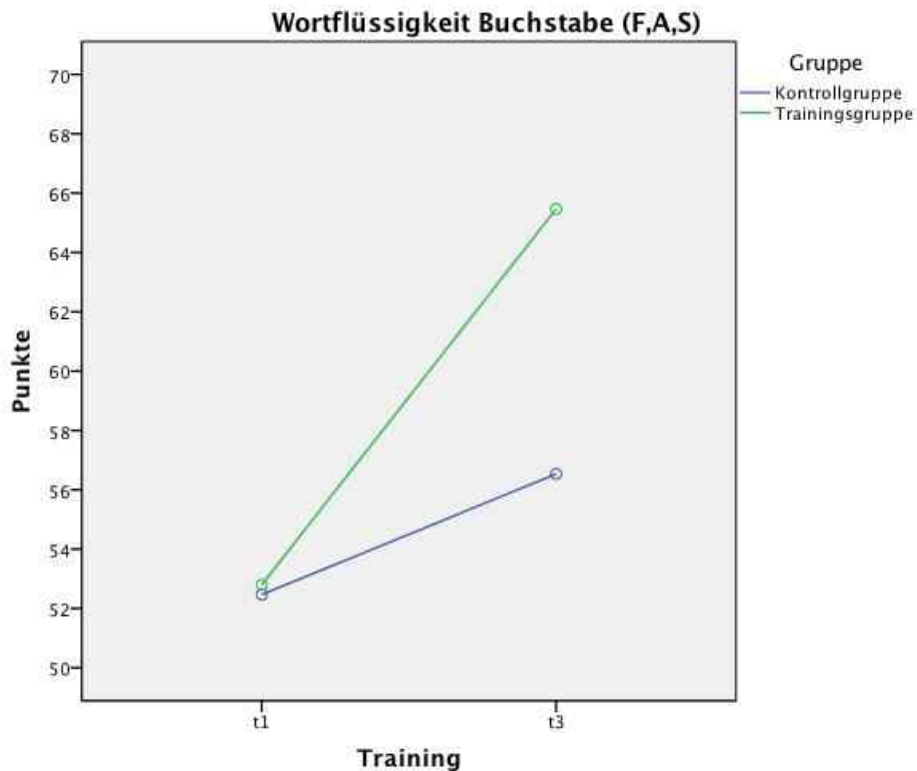


Abbildung 3.7: Veränderung der Performanz im Wortflüssigkeitstest Kategorie Buchstabe vom Prätest zum Posttest (Addition der Wortflüssigkeitstests Kategorie F, A und S)

#### 3.4.3.3 WCST

Die Analyse mittels 2 (Gruppe) x 2 (Training: t1, t3) Varianzanalyse erfüllte die Homogenitätsannahme und ergab einen signifikanten Haupteffekt für das Training ( $F(1,22) = 10.695$ ,  $p < .01$ , partial  $\eta^2 = .327$ ). Der Haupteffekt für die Gruppe ( $F(1,22) = 0.323$ ,  $p = .58$ , partial  $\eta^2 = .014$ ) und die Gruppe\*Training-Interaktion ( $F(1,22) = 0.198$ ,  $p = .66$ , partial  $\eta^2 = .009$ ) waren nicht signifikant.

Post-Hoc durchgeführte t-Tests für gepaarte Stichproben zur genaueren Betrachtung des Haupteffekts für das Training ergaben einen signifikanten Trainingseffekt im WCST für die

Trainingsgruppe ( $t(11) = -2.82, p < .05$ ) und einen Trend für die Kontrollgruppe ( $t(11) = -1.88, p < .10$ ).

Das Training hatte also insgesamt keinen signifikanten Einfluss auf die Performanz im WCST über alle Messzeitpunkte hinweg.

### 3.4.4 Fluide Intelligenz

#### 3.4.4.1 Raven-Matrizen-Test

Die Daten verletzen die Normalverteilungsannahme innerhalb der Trainingsgruppe zu beiden Testzeitpunkten (Shapiro-Wilk-Test:  $t1\ p < .05$ ;  $t3\ p < .05$ ).

Die Analyse mittels 2 (Gruppe)  $\times$  2 (Training:  $t1, t3$ ) Varianzanalyse erfüllte die Homogenitätsannahme und ergab einen signifikanten Haupteffekt für das Training ( $F(1,28) = 5.034, p < .05$ , partial  $\eta^2 = .152$ ). Der Haupteffekt für die Gruppe ( $F(1,28) = 0.265, p = .61$ , partial  $\eta^2 = .009$ ) war nicht signifikant. Für die Interaktion ergab sich ein Trend ( $F(1,28) = 2.831, p \leq .10$ , partial  $\eta^2 = .092$ ) (s. auch Abb. 3.8).

Die Post-Hoc durchgeführte Untersuchung des Haupteffekts für das Training mittels t-Tests für gepaarte Stichproben zeigte weiterhin, dass die Trainingsgruppe nach dem Training signifikant mehr Punkte erreichte ( $t(14) = 2.95, p < .05$ ), wohingegen die Kontrollgruppe keine signifikante Verbesserung aufwies ( $t(14) = 0.38, p = .71$ ).

Außerdem untersuchten wir, wie viele Aufgaben des Raven-Matrizen-Test innerhalb der vorgegebenen Zeit von den Probanden bearbeitet werden konnten und wie viele Aufgaben unbearbeitet blieben. Hierbei zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für das Training ( $F(1,28) = 8.126, p < .01$ , partial  $\eta^2 = .270$ ). Der Haupteffekt für die Gruppe war nicht signifikant ( $F(1,28) = 0.142, p = .709$ , partial  $\eta^2 = .005$ ). Die Analyse ergab jedoch eine signifikante Gruppe\*Training-Interaktion ( $F(1,28) = 8.126, p < .01$ , partial  $\eta^2 = .225$ ).

Post-Hoc durchgeführte t-Tests für gepaarte Stichproben zeigten, dass die Trainingsgruppe im Posttest signifikant mehr Aufgaben bearbeitete als im Prätest ( $t(14) = 3.827, p < .01$ ). In der Kontrollgruppe war dieser Unterschied nicht signifikant ( $t(14) = 0.298, p = .770$ ).

Das Ergebnis spricht also für einen Effekt des Arbeitsgedächtnistrainings auf die Performanz im Raven-Matrizen-Test.

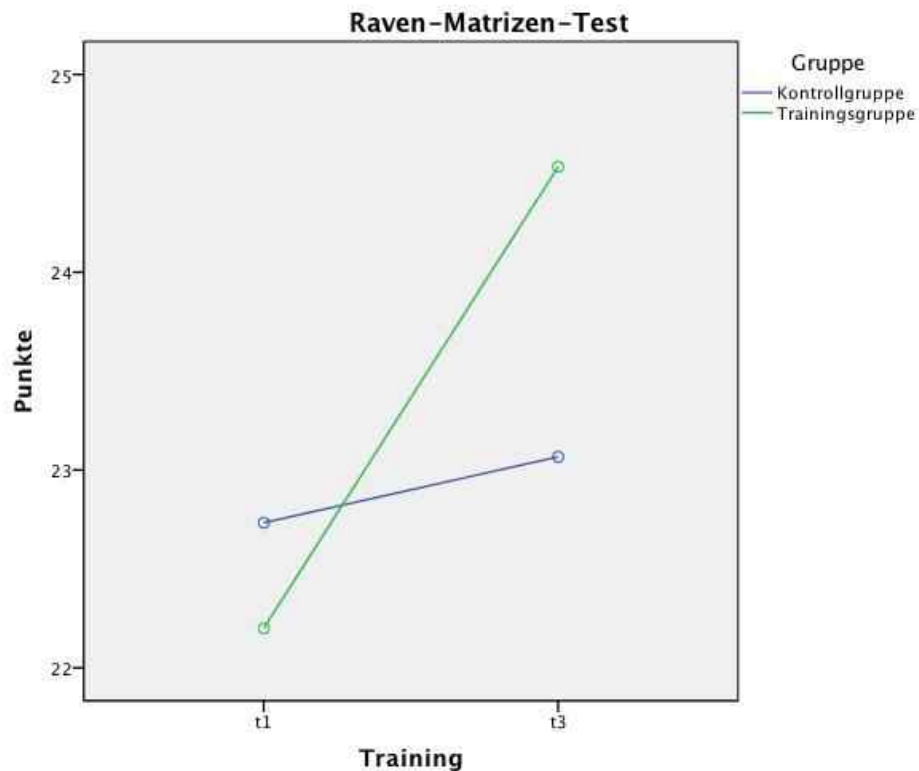


Abbildung 3.8: Veränderung der Punkte im Raven-Matrizen-Test vom Prätest zum Posttest

### 3.4.5 Kristalline Intelligenz

#### 3.4.5.1 MWT-B

Die Analyse mittels 2 (Gruppe) x 2 (Training: t1, t3) Varianzanalyse erfüllte die Homogenitätsannahme und ergab weder einen signifikanten Haupteffekt für das Training ( $F(1,28) = 2.739$ ,  $p = .11$ , partial  $\eta^2 = .089$ ) noch für die Gruppe ( $F(1,28) = 0.053$ ,  $p = .820$ , partial  $\eta^2 = .002$ ). Auch die Interaktion war nicht signifikant ( $F(1,28) = 2.739$ ,  $p = .279$ , partial  $\eta^2 = .042$ ).

Das Arbeitsgedächtnistraining hatte also wie erwartet keinen Effekt auf die Performanz im MWT-B.

## 3.5 Korrelationen zwischen neuropsychologischer Testperformanz und N-Back-Training

Die Posttestergebnisse der Trainingsprobanden in den neuropsychologischen Tests, in denen sich eine signifikante Interaktion bzw. ein Trend ergeben hatte, wurden genauer auf einen Zusammenhang zum maximal erreichten N-Back-Level untersucht.

Das Ergebnis des Zahlenverbindungstests der Trainingsgruppe im Posttest korrelierte mit

dem höchsten erreichten N-Back-Level in der letzten Trainingssitzung (Zahlenverbindungs-test A: Korrelation  $-.539$ ,  $p < .05$ ) (s. Abbildung 3.9 und Tabelle 3.8). Probanden, die eine gute Leistung im N-Back-Training zeigten, lösten diesen neuropsychologischen Test nach dem Training besonders schnell.

Auch das Posttest-Ergebnis des Zahlen-Symbol-Tests korrelierte mit dem höchsten erreichten N-Back-Level (Korrelation  $.621$ ,  $p < .05$ ) (s. Abbildung 3.10 und Tabelle 3.8).

Probanden, die ein hohes N-Back-Level erreichten, machten im Posttest im Raven-Matrizen-Test besonders viele Punkte (Korrelation  $.582$ ,  $p < .05$ ) (s. Abbildung 3.11 und Tabelle 3.8).

Die Posttest-Performanz der Trainingsgruppe im Wortflüssigkeitstest zeigte keine signifikanten Korrelationen mit der Leistung im N-Back-Training.

Tabelle 3.8: Korrelationen zwischen der neuropsychologischen Test-Performanz im Posttest (t3) und dem höchsten erreichten Level in der letzten Trainingssitzung

Test <sup>a</sup>	N	Korrelation nach Pearson <sup>b</sup>	Signifikanz (2-seitig)
Zahlenverbinsungstest A	15	$-.539$	$p < .05$
Zahlen-Symbol-Test	15	$.621$	$p < .05$
Wortflüssigkeit Tiere	15	$.295$	$p = .29$
Wortflüssigkeit Buchstabe	15	$.251$	$p = .37$
Raven-Matrizen-Test	15	$.582$	$p < .05$

<sup>a</sup>Testergebnisse der Trainingsgruppe zu Zeitpunkt t3

<sup>b</sup>Korrelation mit dem höchsten erreichten N-Back Level im Rahmen des Trainings

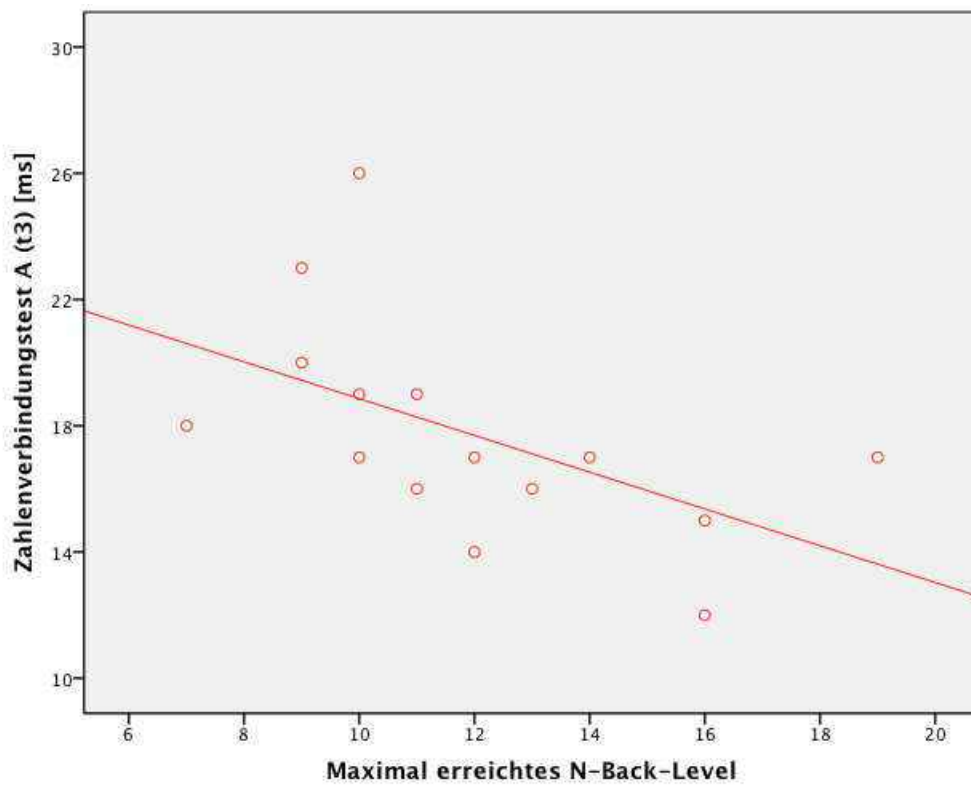


Abbildung 3.9: Das Streudiagramm mit Regressionsgerade zeigt die Posttestergebnisse im Zahlenverbindungstest A in Abhängigkeit vom maximal erreichten N-Back-Level der einzelnen Trainingsprobanden.

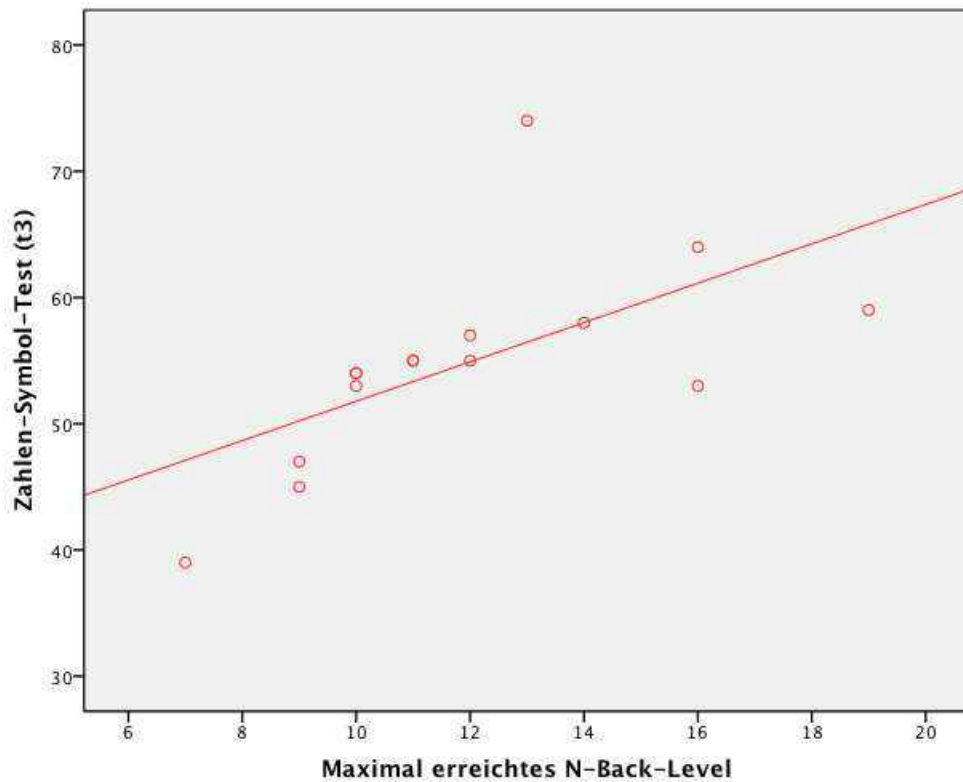


Abbildung 3.10: Das Streudiagramm mit Regressionsgerade zeigt die Posttestergebnisse im Zahlen-Symbol-Test in Abhängigkeit vom maximal erreichten N-Back-Level der einzelnen Trainingsprobanden.



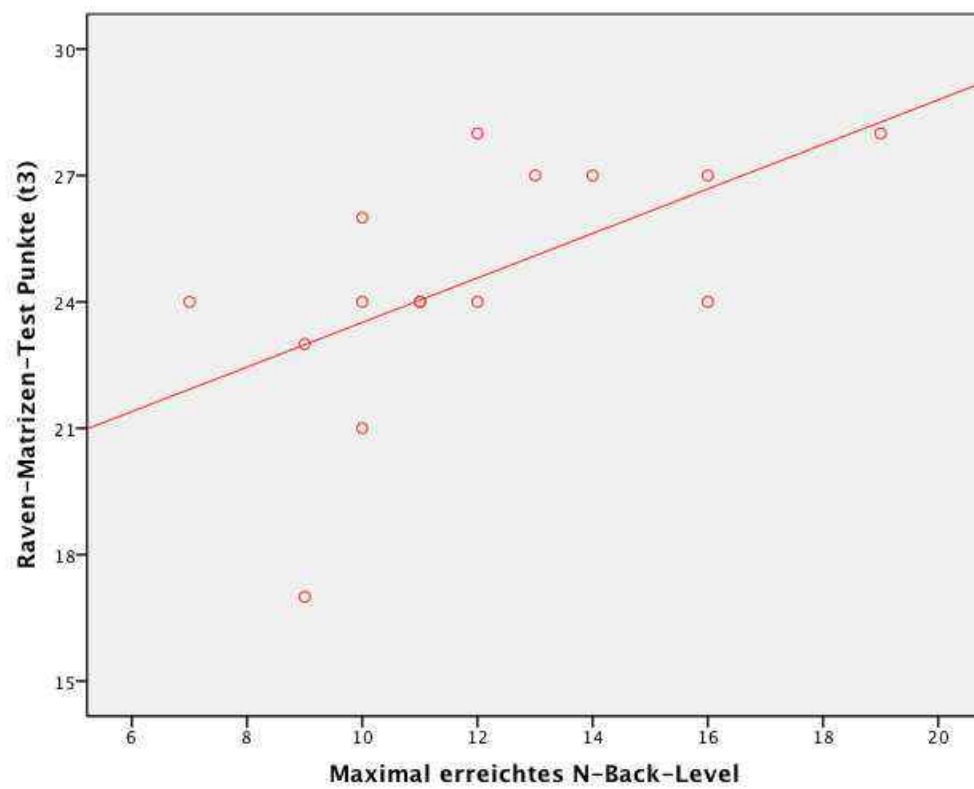


Abbildung 3.11: Das Streudiagramm mit Regressionsgerade zeigt die Posttestergebnisse im Raven-Matrizen-Test in Abhängigkeit vom maximal erreichten N-Back-Level der einzelnen Trainingsprobanden.

# 4 Diskussion

## 4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Ziel der vorliegenden Studie war, den Einfluss eines effektiven Arbeitsgedächtnistrainings auf andere neuropsychologische Fähigkeiten zu untersuchen. Die Trainingsgruppe stieg in den Schwierigkeitsstufen des trainierten Paradigmas deutlich weiter auf als die Kontrollgruppe. Das adaptive Trainingsdesign begrenzte jedoch die Aufstiegsmöglichkeiten innerhalb einer Sitzung. Aufgrund der unterschiedlichen Sitzungsanzahl zwischen den Gruppen bestanden also ungleiche Voraussetzungen. Die Analyse der Fehlalarme pro Distraktoren und die Abnahme der Reaktionszeiten während des Trainings innerhalb der Trainingsgruppe bilden die Effektivität des Arbeitsgedächtnistrainings daher besser ab.

Ein Transfer auf nicht-trainierte Arbeitsgedächtnistests konnte nicht nachgewiesen werden. Allerdings deuten die Ergebnisse daraufhin, dass das Training Transfereffekte auf nicht-trainierte Tests anderer neuropsychologischer Funktionen hervorgerufen hat. Hierzu zählen die Tests der exekutiven Funktionen (Wortflüssigkeitstest Tiere und Buchstaben), sowie Tests der Verarbeitungsgeschwindigkeit (Zahlen-Symbol-Test, Zahlenverbindungstest A) und der fluiden Intelligenz (Raven-Matrizen-Test) (s. Tabelle 4.1).

Das Arbeitsgedächtnistraining scheint also in einem besonderen Zusammenhang zu exekutiven Funktionen, der Verarbeitungsgeschwindigkeit und der fluiden Intelligenz zu stehen. Im Folgenden werden die Ergebnisse genauer diskutiert.

## 4.2 Beurteilung der Trainingseffekte (Hypothese 1)

### 4.2.1 Arbeitsgedächtnistraining (Hypothese 1.a)

Die Probanden der Trainingsgruppe stiegen im Laufe des vierwöchigen Arbeitsgedächtnistrainings in höhere Schwierigkeits-Level auf. Somit konnte die Hypothese 1.a bestätigt werden. Das Ergebnis ist konsistent mit den Ergebnissen zahlreicher anderer Studien. Stets

Tabelle 4.1: Gruppe\*Training-Interaktionen

Test	F <sup>a</sup>	p	partial $\eta^2$
Zahlenspanne vorwärts	0.84	.44	.030
Zahlenspanne rückwärts	0.97	.38	.034
Zahlenverbindungstest A [Sek.]	3.23	$\leq .10$	.100
Zahlenverbindungstest B [Sek.]	1.24	.28	.040
Zahlen-Symbol-Test	6.53	$< .01$	.190
WCST	0.20	.66	.009
Wortflüssigkeit Tiere	3.24	$\leq .10$	.110
Wortflüssigkeit Buchstabe	7.80	$< .01$	.220
Raven-Test, Punkte	2.83	$\leq .10$	.090
Raven-Test, Fehlende <sup>b</sup>	8.13	$< .01$	.225
LPS3	0.26	.77	.010
MWT-B	1.22	.28	.040

<sup>a</sup>Analyse mittels Varianzanalyse für Messwiederholungen

<sup>b</sup>Raven Fehlende = nicht bearbeitete Trials im Raven-Matrizen-Test

konnte beim Einsatz eines adaptiven Trainingsprogramms ein Trainingseffekt im trainierten Test nachgewiesen werden [35, 36, 41, 42, 43, 45].

### 4.2.2 Reaktionszeiten (Hypothese 1.b)

Die Reaktionszeit der Trainingsprobanden verbesserte sich durch das Arbeitsgedächtnisstraining signifikant stärker als die Reaktionszeit der Kontrollprobanden. Somit konnte auch die Hypothese 1.b bestätigt werden. Auch Ando *et al.* beschrieben, dass die Reaktionszeiten auf einen visuellen Stimulus innerhalb eines dreiwöchigen Trainings abnahm [76]. Visser *et al.* [77] und Li *et al.* [37] fanden eine Verkürzung der Reaktionszeiten bei komplexeren Tests z.B. bei einer räumlichen 2-Back-Aufgabe.

Einschränkend muss allerdings angemerkt werden, dass sich die Reaktionszeiten der beiden Gruppen zu Beginn der Studie unterschieden. Des Weiteren fiel auf, dass die Probanden der Trainingsgruppe zu Beginn die N-Back-Aufgabe genauer bearbeiteten und weniger Fehler machten als die Probanden der Kontrollgruppe. Die wahrscheinlichste Erklärung für die Differenzen in den Reaktionszeiten ist daher in einem *Geschwindigkeit-Exaktheits-Konflikt* zu sehen (s. Kapitel 4.6.3). Die Reaktionszeitverbesserung der Trainingsgruppe kann jedoch davon unbeeinflusst als ein Zeichen eines effektiven Trainings gewertet werden.

## 4.3 Beurteilung der Transfereffekte (Hypothese 2)

### 4.3.1 Nicht-trainierte Arbeitsgedächtnistests (Hypothese 2.a)

Die Hypothese 2.a konnte statistisch nicht bestätigt werden. Bei der Auswertung ergaben sich keine signifikanten Interaktionen, die für einen eindeutigen Einfluss des Arbeitsgedächtnistrainings auf die nicht-trainierten Arbeitsgedächtnistests sprechen würden. Zwar zeigten die Trainingsgruppe im Gegensatz zur Kontrollgruppe signifikante Leistungszugewinne, dennoch konnte der Einfluss des Arbeitsgedächtnistrainings auf die Performanz in den nicht-trainierten Tests und somit eine Zunahme der Arbeitsgedächtniskapazität statistisch nicht nachgewiesen werden.

Zahlreiche Studien erbrachten konträre Ergebnisse und zeigten Transfereffekte auf nicht-trainierte Arbeitsgedächtnistests nach adaptivem Training unter Gesunden [35] sowie Probanden mit anfangs eingeschränkter Arbeitsgedächtnisleistung [41, 42, 43, 45, 46]. Es sind verschiedene Erklärungen vorstellbar, warum die Ergebnisse in dieser Studie nicht bestätigt werden konnten (hierzu s. Kapitel 4.6.4).

### 4.3.2 Andere neuropsychologische Tests (Hypothese 2.b)

Die Hypothese, dass sich die Trainingsgruppe in nicht-trainierten Tests der Verarbeitungsgeschwindigkeit und der exekutiven Funktionen vom Prätest zum Posttest signifikant stärker verbesserte als die Kontrollgruppe, lies sich teilweise bestätigen.

#### 4.3.2.1 Verarbeitungsgeschwindigkeit

Das Arbeitsgedächtnistraining zeigte einen Einfluss auf zwei der drei durchgeführten Tests der Verarbeitungsgeschwindigkeit. Es lies sich ein signifikanter Transfereffekt auf den Zahlen-Symbol-Test und ein Trend für den Zahlenverbindungstest A nachweisen.

Dahlin *et al.* [36] konnten nach fünfwöchigem Arbeitsgedächtnistraining keinen Transfer auf den Zahlen-Symbol-Test feststellen. Diese unterschiedlichen Ergebnisse könnten auf die verschiedenen Trainingsparadigmen und das nur teilweise adaptive Trainingsprogramm von Dahlin *et al.* zurückzuführen sein. Studien von Klingberg *et al.* und Holmes *et al.* zeigten, dass es Trainingseffekte gibt, die nur bei adaptivem Arbeitsgedächtnistraining auftreten [41, 42, 45].

Der Transfereffekt auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit ist also möglicherweise nur durch ein effektives adaptives Training zu erzielen.

### 4.3.2.2 Exekutive Funktionen

Das Arbeitsgedächtnistraining zeigte einen Einfluss auf zwei von drei Tests der exekutiven Funktionen. Es lies sich ein signifikanter Transfereffekt auf den Wortflüssigkeitstest Kategorie Buchstabe und ein Trend für die Kategorie Tiere nachweisen.

Dieses Ergebnis steht im Kontrast zu den Ergebnissen der Studie von Dahlin *et al.* [36], die keinen Effekt auf den Wortflüssigkeitstest zeigen konnten. Diese unterschiedlichen Ergebnisse sind eventuell – wie bereits erwähnt – auf die verschiedenen Trainingsparadigmen und das nur teilweise adaptive Training von Dahlin *et al.* zurückzuführen.

Klingberg *et al.* konnten in ihren Studien mit ADHS-kranken Kindern einen Transfereffekt des Arbeitsgedächtnistrainings auf einen Test der exekutiven Funktionen nachweisen [42, 45]. Hierbei handelte es sich um den Stroop-Test, welcher eingesetzt wird um insbesondere die Aufmerksamkeits- und Impulskontrolle zu testen [44].

Auch Thorell *et al.* fanden einen Transfereffekt auf verschiedene Tests der exekutiven Funktionen<sup>1</sup> unter Vorschulkindern [38].

In der vorliegenden Studie konnten wir keinen signifikanten Transfer auf den WCST nachweisen. Eine mögliche Erklärung ist, dass eventuell ein Deckeneffekt vorlag. Die hohen Punktzahlen der Probanden im Prätest zeigen, dass es kaum Verbesserungsmöglichkeiten für sie gab und ein eventuell vorliegender Effekt des Arbeitsgedächtnistrainings deshalb nicht abgebildet werden konnte (s. auch Kapitel 4.6.4).

### 4.3.2.3 Kristalline Intelligenz

Es zeigte sich kein Einfluss des Arbeitsgedächtnistrainings auf die kristalline Intelligenz. Kristalline Intelligenz beschreibt gelerntes Wissen [19]. Durch das Arbeitsgedächtnistraining erfolgt kein expliziter Kenntniserwerb. Wir testeten in der Kategorie kristalline Intelligenz den Wortschatz der Probanden, der sich durch das Training nicht vergrößerte. Dies muss deutlich von der Wortflüssigkeit abgegrenzt werden, welche die Abrufbarkeit des Wortschatzes beschreibt (s. Kapitel 4.3.2.2).

Auch Holmes *et al.* stellten keinen Transfer eines Arbeitsgedächtnistrainings auf Tests der kristallinen Intelligenz fest, so dass dieses Ergebnis zu erwarten war [41, 43].

---

<sup>1</sup>Getestet wurde 1. mit einem auditorischen kontinuierlichen Performanz-Test (Kontinuierlich werden zwei verschiedene Stimuli präsentiert. Auf den einen Stimulus muss der Proband mit dem Drücken einer Taste reagieren, beim anderen Stimulus muss die Reaktion unterdrückt werden) und 2. mit einem Go/No-Go-Test (Auf verschiedene Bedingungen soll der Proband entweder reagieren oder die Reaktion unterdrücken. Die Bedingungen können hierbei variiert werden

### 4.3.3 Tests der fluiden Intelligenz (Hypothese 2.c)

Es zeigte sich ein deutlicher Trend hinsichtlich der Hypothese, dass sich die Trainingsgruppe in Tests der fluiden Intelligenz vom Prätest zum Posttest signifikant stärker verbessern konnte als die Kontrollgruppe. Dieses Ergebnis ist konsistent mit den Studien von Klingberg *et al.* [42, 45] und Jaeggi *et al.* [35].

Ein Transfer auf einen weiteren Test der fluiden Intelligenz, den LPS 3 Test, konnte nicht nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis hängt vermutlich mit der dreimaligen Durchführung des Tests und einem hiermit verbundenen Lerneffekt durch die Wiederholungen zusammen. Sowohl die Trainings- als auch die Kontrollgruppe zeigte hochsignifikante Leistungszugewinne. Dadurch konnte ein möglicher Einfluss des Arbeitsgedächtnistrainings statistisch nicht mehr nachgewiesen werden (s. auch Kapitel 4.6.4).

Auffällig ist, dass die Trainingsprobanden nach dem Arbeitsgedächtnistraining den Raven-Matrizen-Test schneller durchführten. Sie machten nach dem Training mehr Punkte und bearbeiteten mehr Aufgaben, konnten jedoch die Fehler nicht reduzieren.

Diese Tatsache könnte dafür sprechen, dass die Verbesserung der fluiden Intelligenz nicht durch eine akkuratere Arbeitsweise hervorgerufen wird, sondern durch die schnellere Bearbeitung der einzelnen Aufgaben. Die Verbesserung der Trainingsgruppe in den Tests der Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie die Zunahme der Reaktionsgeschwindigkeit deuten in die gleiche Richtung.

## 4.4 Beurteilung der Korrelationen (Hypothese 3)

### 4.4.1 Nicht-trainierte Tests, auf die das Arbeitsgedächtnistraining einen Einfluss hatte

Die Hypothese, dass sich innerhalb der Trainingsgruppe signifikante Korrelationen zwischen dem maximal erreichten N-Back-Level und der Posttest- Performanz in den nicht-trainierten Tests zeigt, lies sich bestätigen. Untersucht wurden hierbei nur Tests, auf die das Arbeitsgedächtnistraining einen Einfluss hatte. Gute Ergebnisse im Zahlenverbindungstest A, Zahlen-Symbol-Test und Raven-Matrizen-Test korrelierten mit einem hohen im Laufe des Trainings erreichten N-Back-Level. Ebenso erreichten Probanden mit weniger guten Ergebnissen in den genannten Tests auch nur ein niedrigeres N-Back-Level im Training.

Die Posttest-Performanz im Wortflüssigkeitstest zeigte keine entsprechende Korrelation.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Probanden, die eine gute Leistung im Arbeits-

gedächtnistraining erbrachten, nach dem Training auch besonders gute Ergebnisse in den Tests der Verarbeitungsgeschwindigkeit und der fluiden Intelligenz zeigten.

### 4.5 Grundlage des Transfers

Von besonderem Interesse ist die Frage, auf welche Weise der Einfluss des Arbeitsgedächtnistrainings auf die fluide Intelligenz zu Stande kommt. Diesbezüglich werden im Folgenden die bereits erwähnten Transfermodelle in Zusammenhang mit den Studienergebnissen diskutiert.

#### 4.5.1 Die Verarbeitungsgeschwindigkeit basaler kognitiver Prozesse als Verbindung zwischen dem Arbeitsgedächtnis und der fluiden Intelligenz (1.Transfermodell)

Es wird vielfach diskutiert, dass der Verbindung zwischen Arbeitsgedächtnis und Intelligenz die Verarbeitungsgeschwindigkeit zugrunde liegt [25, 64, 65, 108, 109]. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit beschreibt generell die Geschwindigkeit von zerebralen Verarbeitungsprozessen, die ebenso wie andere Faktoren, z.B. Wissen und Strategie, das Lösen von kognitiven Aufgaben beeinflusst. Es wird durchgehend eine positive Korrelation zwischen der Verarbeitungsgeschwindigkeit und dem Arbeitsgedächtnis angegeben [26, 66, 67]. Fry *et al.* zeigten, dass individuelle Unterschiede der Verarbeitungsgeschwindigkeit eng mit verschiedenen Arbeitsgedächtnisleistungen als auch mit Unterschieden der fluiden Intelligenz verknüpft sind. Dieser Zusammenhang bestand vor Allem unter älteren Probanden [108].

Der Einfluss der Verarbeitungsgeschwindigkeit auf die fluide Intelligenz wird besonders deutlich, wenn es um zeitlich begrenzte Tests geht. Ackerman gibt die Korrelation eines durch den Versuchsaufbau zeitlich begrenzten Arbeitsgedächtnistests, wie z.B. dem N-Back-Paradigma, und dem Raven-Matrizen-Test mit .524 an [110]. Im Raven-Matrizen-Test muss der Proband Symbolreihen vertikal und horizontal vergleichen, anhand von Gemeinsamkeiten und Unterschieden Regeln ableiten und so das fehlende Symbol ergänzen. Wenn basale Verarbeitungsprozesse, wie der Abgleich der verschiedenen Symbole, durch eine höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit weniger Zeit in Anspruch nehmen, kann der Proband mehr Aufgaben in der gegebenen Zeit bearbeiten.

Durch den festgelegten zeitlichen Ablauf sowohl des Arbeitsgedächtnisparadigmas als auch des fluiden Intelligenztests dieser Studie spielt die Verarbeitungsgeschwindigkeit eine große

Rolle und könnte somit einen wichtigen Faktor für den Transfer darstellen.

Hierfür sprechen auch unsere Ergebnisse, dass das Arbeitsgedächtnistraining mit einer signifikanten Verbesserung in den Tests der Verarbeitungsgeschwindigkeit assoziiert war. Dies lässt sich besonders durch das adaptive Design des Trainings-Paradigmas erklären, bei welchem die Zeit zwischen den Stimuli mit steigendem Schwierigkeitsgrad verkürzt wurde. Eine solche zeitliche Begrenzung beim Arbeitsgedächtnistraining führte vermutlich in besonderem Maße zu einer Zunahme der Geschwindigkeit basaler Verarbeitungsprozesse.

Dieses Ergebnis wurde in den meisten Studien, in denen Arbeitsgedächtnistraining durchgeführt wurde bis jetzt nicht explizit untersucht. Nur Dahlin *et al.* schlossen in ihre Studie ebenfalls Verarbeitungsgeschwindigkeitstests ein, konnten jedoch keinen Zusammenhang zum Arbeitsgedächtnistraining nachweisen [36]. Auf die unterschiedlichen Trainingsmethoden, welche den abweichenden Ergebnissen zugrunde liegen könnten, wurde im Kapitel 4.3.2.1 bereits näher eingegangen.

Die Ergebnisse dieser Studie deuten insgesamt daraufhin, dass die Verbesserung der fluiden Intelligenz nicht durch eine akkuratere Arbeitsweise im Sinne einer Fehlerreduktion hervorgerufen wurde, sondern eher durch die schnellere Bearbeitung der einzelnen Aufgaben. Die Trainingsprobanden führten den Raven-Matrizen-Test schneller durch. Sie machten nach dem Training mehr Punkte und bearbeiteten mehr Aufgaben, konnten jedoch die Fehler nicht signifikant reduzieren. Außerdem zeigte sich, dass das maximale Level im Arbeitsgedächtnistraining positiv mit der Verarbeitungsgeschwindigkeit korrelierte (s. Kapitel 4.4). Diese Ergebnisse sprechen für ein Transfermodell, das die Verarbeitungsgeschwindigkeit als grundlegendes Konstrukt für den Einfluss des Arbeitsgedächtnistrainings auf die fluide Intelligenz sieht.

Auffällig ist weiterhin die signifikante Verkürzung der Reaktionszeiten der Trainingsprobanden im Laufe der Studie. Der Zusammenhang zwischen Reaktionszeiten und komplexen mentalen Fähigkeiten ist Gegenstand vieler Studien [111, 112, 113, 114]. Es findet sich eine robuste negative Korrelation zwischen der Reaktionszeit in sogenannten elementaren kognitiven Tests und der Intelligenz [68, 69, 110]. Abgesehen davon sind die Ergebnisse diesbezüglich jedoch vielfältig. Die meisten Studien wurden nur mit kleinen homogenen Stichproben durchgeführt. Es werden verschiedene Reaktionszeiten wie z.B. die einfache Reaktionszeit, die Reaktionszeit bei Auswahlmöglichkeiten und die Reaktionszeit in elementaren kognitiven Tests unterschieden [115, 116, 117]. Es ist daher nur schwer möglich, die Ergebnisse dieser



Studie bezüglich der Reaktionszeiten im Kontext anderer Forschungsergebnisse zu beurteilen.

Gegen ein Modell, welches die Verarbeitungsgeschwindigkeit als Transfergrundlage sieht, sprechen beispielsweise Ergebnisse von Süß *et al.* [118]. Sie fanden keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Verarbeitungsgeschwindigkeit oder der Reaktionszeit mit Intelligenztestergebnissen. Auch Conway *et al.* konnten in einer Studie, die den Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtniskapazität, Kurzzeitgedächtniskapazität, Verarbeitungsgeschwindigkeit und fluider Intelligenz untersuchte, keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Intelligenz und der Verarbeitungsgeschwindigkeit zeigen [71]. Es zeigte sich jedoch eine Verbindung zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und der Intelligenz. Daher vermuten sie, dass andere Autoren möglicherweise unterschätzten, dass auch einige Verarbeitungsgeschwindigkeitstests zu einem gewissen Anteil das Gedächtnis fordern. Die Ergebnisse anderer Studien könnten also fälschlicherweise einen Zusammenhang zwischen der Intelligenz und der Verarbeitungsgeschwindigkeit suggerieren, der stattdessen auf der Arbeitsgedächtniskapazität beruht [71].

Zusammenfassend bleibt zu sagen, dass es viele Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen der Verarbeitungsgeschwindigkeit sowohl mit dem Arbeitsgedächtnis als auch mit der fluiden Intelligenz gibt, die durch die Ergebnisse dieser Studie bekräftigt werden.

#### **4.5.2 Exekutive Funktionen als Grundlage zielgerichteten Handelns und kontrollierter Aufmerksamkeit bei Arbeitsgedächtnis- und Intelligenztests (2. Transfermodell)**

Engle *et al.* gehen davon aus, dass exekutive Funktionen – wie etwa kontrollierte Aufmerksamkeit – grundlegend für die Verbindung von Arbeitsgedächtnis und fluider Intelligenz sind [9, 72]. Sie erläutern, dass das Arbeitsgedächtnis und das Kurzzeitgedächtnis zwei verschiedene aber eng verwandte Konstrukte darstellen. Ihrer Meinung nach fordern Arbeitsgedächtnistests das Kurzzeitgedächtnis sowie die exekutiven Funktionen, welche Informationen trotz Ablenkung im Fokus der Aufmerksamkeit halten [9].

*Arbeitsgedächtnis = Kurzzeitspeicher + exekutive Funktionen*

Engle *et al.* und Conway *et al.* zeigten einen Zusammenhang zwischen dem Arbeitsgedächtnis<sup>2</sup> und der fluiden Intelligenz, jedoch nicht zwischen dem Kurzzeitgedächtnis<sup>3</sup> und der fluiden Intelligenz [9, 71]. Die Schlussfolgerung aus diesen Ergebnissen ist, dass solche exekutiven Funktionen, welche das Arbeitsgedächtnis vom Kurzzeitgedächtnis unterscheiden, für die Verbindung zur fluiden Intelligenz verantwortlich sein müssen [9, 71, 72]. Kane *et al.* analysierten die Ergebnisse zahlreicher vor allem bildgebender Studien mit dem Ergebnis, dass der Grad zu dem die exekutive Aufmerksamkeit gefordert wird, den gemeinsamen Faktor zwischen Arbeitsgedächtnis- und fluiden Intelligenztests bestimmt [56]. Diese Theorie lässt sich gut durch das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley erklären, in welchem die zentrale Exekutive als Kontrollebene innerhalb des Arbeitsgedächtnisses eine wesentliche Bedeutung hat [5].

Im N-Back-Paradigma müssen Stimuli trotz Ablenkung im Fokus der Aufmerksamkeit behalten werden. Wichtig ist, wechselnde relevante Informationen zu speichern und irrelevante zu unterdrücken. Der Raven-Matrizen-Test fordert den Abgleich von einzelnen Symbolen und den Abruf von bereits erkannten Gemeinsamkeiten und Unterschieden, um auf diese Weise allgemeingültige Regeln für die Anordnung der Symbole abzuleiten. Es müssen also Gesetzmäßigkeiten erkannt und wieder abgerufen werden, wobei irrelevante Informationen wiederum unterdrückt werden müssen.

All diese Fähigkeiten werden von exekutiven Funktionen wie z.B. der Aufmerksamkeitskontrolle koordiniert. Wir fanden einen signifikanten Transfer des Arbeitsgedächtnistrainings auf Tests der exekutiven Funktionen. Unsere Ergebnisse lassen sich also mit der Theorie von Engle *et al.* durchaus in Einklang bringen. Wie bereits in Kapitel 4.3.2.2 erwähnt, zeigten Klingberg *et al.* und Thorell *et al.* ebenfalls Transfereffekte von Arbeitsgedächtnistraining auf exekutive Funktionen [38, 42, 45].

Bühner *et al.* konnten einen Zusammenhang zwischen der fluiden Intelligenz und der Aufmerksamkeit allerdings nicht bestätigen [74]. Auch die Ergebnisse von Burgaleta *et al.* und Colom *et al.* stehen im Gegensatz zu der Theorie von Engle *et al.*. Sie fanden keinen Zusammenhang zwischen kontrollierter Aufmerksamkeit und dem Arbeitsgedächtnis [63, 75].

---

<sup>2</sup>Verwendete Arbeitsgedächtnistests: Die Probanden müssen gespeicherte Informationen verarbeiten oder parallel zur Durchführung eines Kurzzeitgedächtnistests andere Aufgaben wie z.B. Rechenaufgaben lösen (komplexe Span-Tests).

<sup>3</sup>Verwendete Kurzzeitgedächtnistests: Die Probanden müssen Informationen abspeichern und später wiedergeben (einfache Span-Tests).

Problematisch an diesem Transfermodell ist außerdem, dass der Begriff der exekutiven Funktionen zahlreiche Fähigkeit subsummiert [119]. Dazu werden z.B. Aufmerksamkeitssteuerung, Impulskontrolle, Selbstkorrektur und das Abrufen gelernten Wissens gezählt [24]. Engle *et al.* beziehen sich in ihren Studien häufig auf die kontrollierte Aufmerksamkeit als Beispiel für exekutive Funktionen [9]. Der Test, der von Klingberg *et al.* zur Prüfung der exekutiven Funktionen eingesetzt wird, fordert sowohl die Aufmerksamkeit als auch die Impulskontrolle [42, 45]. Unsere Ergebnisse beziehen sich vor allem auf Tests, die den Abruf gelernten verbalen Wissens prüfen. Offensichtlich lassen sich also diese Ergebnisse, wenngleich sie sich alle auf exekutive Funktionen beziehen, nicht ohne weiteres vergleichen.

Gemeinsam ist allen exekutiven Fähigkeiten, dass sie die Grundlage für das Erarbeiten zielgerichteter Pläne darstellen [24, 75]. Im Arbeitsgedächtnismodell von Baddely dienen sie der Integration der Informationen aus den Kurzzeit-Speichersystemen in sinnvolle Prozesse [5, 6]. Die gemeinsame Aussage der Ergebnisse lässt sich also durchaus zusammenfassen, obwohl in den unterschiedlichen Studien verschiedene Tests für zahlreiche Fähigkeiten eingesetzt wurden. Es ist möglich, dass die exekutiven Funktionen ein Grund für den Transfer des Arbeitsgedächtnistrainings auf die fluide Intelligenz sind.

### 4.5.3 Speicherkapazität als Grundlage des Zusammenhangs von Arbeitsgedächtnis und fluider Intelligenz (3. Transfermodell)

Burgaleta *et al.* beschreiben, dass das Arbeitsgedächtnis vom Kurzzeitgedächtnis und der Verarbeitungsgeschwindigkeit abhängt [63].

$$\text{Arbeitsgedächtnis} = \text{Kurzzeitspeicher} + \text{Verarbeitungsgeschwindigkeit}$$

Laut ihren Berechnungen ist der Kurzzeitspeicher dabei etwa dreimal wichtiger für die Vorhersage individueller Arbeitsgedächtnisunterschiede als die Verarbeitungsgeschwindigkeit. Daher schlussfolgern sie, dass die Kurzzeitspeicherkapazität für die Verbindung zwischen Arbeitsgedächtnis und fluider Intelligenz verantwortlich sein könnte. Auch Colom *et al.* fanden heraus, dass die fluide Intelligenz am stärksten von den Gemeinsamkeiten von Arbeitsgedächtnis und Kurzzeitgedächtnis – also von der Kurzzeitspeicherkapazität – abhängt. Sie beschreiben jedoch einen zusätzlichen, von der Speicherkapazität unabhängigen Faktor, der die Verbindung zwischen den beiden Konstrukten bestimmt und bisher noch unbekannt sei

[120].

Süß *et al.* benennen die Arbeitsgedächtniskapazität als wichtigsten Faktor, der die Konstrukte Arbeitsgedächtnis und fluide Intelligenz verbindet [118]. Colom *et al.* interpretieren dieses Ergebnis als Bestätigung ihrer Theorie, wonach die Speicherfähigkeiten für den beschriebenen Zusammenhang weitaus wichtiger sei als die Verarbeitung der Information. Zusammenfassend sind sie der Meinung, dass Arbeitsgedächtnis und Intelligenz durch zugrundeliegende Kapazitätsgrenzen verbunden sind [75].

Weiterhin untersuchten auch Beier *et al.* den Zusammenhang zwischen dem Kurzzeitgedächtnis und der Intelligenz [121]. Sie fanden eine enge Verbindung der beiden Konstrukte mit Korrelationen von .71 bis .83.

Sowohl das N-Back-Paradigma als auch der Raven-Matrizen-Test fordern die kurzzeitige Speicherung von Stimuli bzw. von abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten zwischen verschiedenen Stimuli. Dennoch konnten wir durch unsere Studie die Hypothese der Kurzzeitspeicherkapazität als verbindendes Element zwischen Arbeitsgedächtnis und Intelligenz nicht bestätigen. Wie bereits in Kapitel 4.3.1 diskutiert wurde statistisch keine signifikante Verbesserung der Gedächtniskapazität z.B. im Zahlenspanne-Test nachgewiesen. Somit kann das Transfermodell durch unsere Ergebnisse weder gestützt noch widerlegt werden.

Die Ergebnisse von Conway *et al.* [71] und Engle *et al.* [9] sprechen allerdings gegen das Transfermodell der Speicherkapazität. Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, zeigten sie keinen Zusammenhang zwischen dem Kurzzeitgedächtnis und der Intelligenz.

Auch Berti [3] spricht sich für die Relevanz der Verarbeitung und Koordination der gespeicherten Informationen aus. Er ist der Meinung, dass eher Arbeitsgedächtnis- als reine Kurzzeitgedächtnisleistungen die Performanz in höheren kognitiven Aufgaben bis hin zur Intelligenz erklären:

„Es kommt eben nicht nur darauf an, wie (...) Information über einen kurzen Zeitraum hinweg gespeichert werden kann, sondern vor allem auch wie die Prozesse der Informationsbereitstellung mit den in Frage stehenden kognitiven Funktionen oder mit Prozessen, die die Umwelt oder die Abarbeitung der aktuellen Aufgabe überwachen, koordiniert werden können“ ([3], S. 6).

## 4.6 Methodische Aspekte und Kritik

### 4.6.1 Studienablauf

Der Vergleich des zeitlichen Ablaufs, des Arbeitsgedächtnistrainings der jungen Probanden und der Stichprobengröße mit Studien, die ein ähnliches Training durchführten, ergibt folgendes Bild:

Wir konnten 30 Probanden in unsere Studie einschliessen. Hiervon nahmen 15 Probanden an einem insgesamt acht stündigen Arbeitsgedächtnistraining über vier Wochen teil.

Dahlin *et al.* schlossen 26 junge Probanden in ihre Studie ein, wovon 15 Probanden an einem insgesamt etwa elf stündigen Arbeitsgedächtnistraining über fünf Wochen teilnahmen [36].

Li *et al.* rekrutierten 46 junge Probanden, wobei 19 Probanden an einem ebenfalls etwa elf stündigen Arbeitsgedächtnis-Training über etwa acht Wochen teilnahmen [37]. Jeaggi *et al.* schlossen 69 Probanden ein. 35 der Probanden nahmen an einem Arbeitsgedächtnistraining unterschiedlicher Dauer teil. Das längste Training erstreckte sich über 19 Tage [35]. Die übrigen Probanden wurden jeweils einer passiven Kontrollgruppe zugeordnet.

Unsere Studie hatte also etwa den gleichen Trainingsgruppenumfang wie die Studien von Dahlin *et al.* und Li *et al.*, jedoch trainierten unsere Probanden kürzer. Bei Jeaggi *et al.* trainierten die Probanden im Mittel auch etwa 8 Stunden lang das Arbeitsgedächtnis, jedoch konnten mehr Probanden in die Studie eingeschlossen werden (siehe Tabelle 4.2).

Bezüglich der Stichprobengröße und des Trainingsumfangs sind die Studien also unterschiedlich, jedoch nicht unvergleichbar.

Der große zeitliche Aufwand des individuellen Arbeitsgedächtnistrainings macht einen umfassenderes Ausmaß der Studie, sowohl die Probandenanzahl als auch die Dauer des Gedächtnistrainings betreffend, schwer durchführbar. Eine größere Testpopulation wäre allerdings nötig, um die Teststärke zu erhöhen und somit die Wahrscheinlichkeit zu steigern, die Abwesenheit von Transfereffekten durch die empirische Untersuchung für Modellvergleiche abzusichern.

Wie bereits erwähnt, scheint sich der Transfereffekt auf die fluide Intelligenz als Funktion der Trainingszeit darstellen zu lassen [35]. Eine längere Trainingszeit könnte den Effekt also vergrößern. Außerdem wäre es sinnvoll, eine aktive Kontrollgruppe einzuschließen, um die Verfälschung der Ergebnisse durch Placeboeffekte auszuschließen.

Das mittlere Alter unserer Versuchspersonen lag mit 25.8 Jahren im Rahmen der oben er-

wähnten Studien (Jaeggi *et al.* [35]: 25.6 Jahre, Dahlin *et al.* (Gruppe der jungen Probanden) [36]: 23.9 Jahre, Li *et al.* (Gruppe der jungen Probanden) [37]: 25.9 Jahre).

Es bleibt an dieser Stelle anzumerken, dass es sich bei den Probanden der erwähnten Studien fast ausschließlich um Studenten handelt. In einem Artikel von Colom *et al.* findet sich hierzu der Kommentar von Earl Hunt: „University students are human (mostly), but there are humans who aren’t university students“ ([75], S. 603). Die Ergebnisse können also nicht ohne Weiteres auf die Gesamtbevölkerung übertragen werden. Studien mit Probanden mit geringerer Gedächtnisleistung deuten darauf hin, dass die Ergebnisse junger gesunder Probanden nicht unbedingt auf andere Stichproben übertragbar sind [36, 46]. Holmes *et al.* und Li *et al.* konnten jedoch einige vor allem nahe Transfereffekte auch bei Probanden mit Gedächtniseinschränkungen bzw. gesunden älteren Probanden reproduzieren [37, 41, 43]. Klingberg *et al.* zeigten sogar einen Transfer auf die fluide Intelligenz bei ADHS-kranken Kindern [42, 45].

Tabelle 4.2: Vergleich des Studiendesigns

	<b>Li <i>et al.</i></b> [37]	<b>Dahlin <i>et al.</i></b> [36]	<b>Jaeggi <i>et al.</i></b> [35]	<b>Vorliegende Studie</b>
Trainingsgruppe (n)	19	15	34	15
Kontrollgruppe (n)	27	11	35	15
Trainingssitzungen	45 á 15 Min.	15 á 45 Min.	8 / 12 / 17 / 19 á 25 Min.	12 á 40 Min.
Frequenz	täglich	3 / Woche	täglich	3 / Woche
Training gesamt	11 Std.	11 Std.	3 Std./5 Std./ 7 Std./8 Std.	8 Std.

#### 4.6.2 Arbeitsgedächtnistraining

Das Design des Arbeitsgedächtnistrainings entsprach weitestgehend den Empfehlungen von Klingberg *et al.* [28]. In ihrem Review schlagen sie für ein effektives Training ein individuelles computerisiertes und adaptives Programm in 30-40 minütigen Sitzungen für ein effektives Training vor. Jedoch sollte dieses Training im besten Fall täglich über fünf Wochen (15 Stunden) stattfinden, was in der vorliegenden Studie nicht umgesetzt werden konnten.

Das adaptive Training wurde eingesetzt, damit die Probanden stets möglichst nah an ihrer individuellen Leistungsgrenze trainierten. Die Grenzen, die wir zum Erreichen des nächsten Levels festlegten, erscheinen im Nachhinein jedoch sehr streng. 80% der Ziele mussten

erkannt und kein Fehlalarm durfte im gesamten Durchlauf gemacht werden. Das bedeutet, dass die Probanden bei den mindestens 540 Zielen pro Durchlauf keinen einzigen Fehler machen durften, um in das nächst höhere Level aufzusteigen. Eventuell führte diese strenge Bedingung dazu, dass Probanden unterhalb ihrer Arbeitsgedächtniskapazität trainierten.

Des Weiteren begannen alle Probanden ungeachtet ihrer anfänglichen Arbeitsgedächtniskapazität in Level 1 mit den Bedingungen 0-Back, 1-Back und 2-Back. Selbst wenn sie die Aufgaben optimal lösten, brauchten die Probanden dennoch eine gewisse Zeit, um bis zu ihrer Leistungsgrenze aufzusteigen. Dieses Vorgehen könnte das Gedächtnistraining eingeschränkt haben. Möglicherweise fand zu Beginn der Studie gar kein wahres Training des Arbeitsgedächtnisses statt, sondern die Probanden lösten Aufgaben, die unter ihrer Arbeitsgedächtniskapazität lagen.

### 4.6.3 Geschwindigkeit-Exaktheit-Konflikt

Bei der Auswertung der Reaktionszeiten fiel auf, dass es bei Bearbeitung des Trainingsparadigmas scheinbar zu einem Konflikt zwischen schneller und exakter Arbeitsweise kam. Die Kontrollgruppe zeigte zu Beginn der Studie kürzere Reaktionszeiten als die Trainingsgruppe. Die Probanden der Trainingsgruppe machten zu Beginn weniger Fehler als Probanden der Kontrollgruppe.

Eventuell waren die strengen Regeln für das Erreichen des nächsten Levels hierfür verantwortlich. Obwohl alle Probanden die gleichen Anweisungen zur Durchführung des N-Back-Paradigmas erhalten hatten, nämlich möglichst schnell und genau zu arbeiten, konzentrierten sich die Trainingsprobanden vermutlich mehr auf die akkurate Durchführung, wohingegen die Kontrollprobanden ihren Fokus auf eine schnelle Reaktion richteten. Die Trainingsprobanden wussten, dass sie innerhalb des vier wöchigen Arbeitsgedächtnistrainings in höhere Level aufsteigen können. Die Kontrollprobanden führten das Trainingsparadigma nur zweimal durch. Der kontinuierliche Aufstieg ins nächsthöhere Level stand vermutlich weniger im Vordergrund.

Ein solcher Konflikt zwischen einer schnellen und akkuraten Bearbeitung von Tests wurde bereits vielfach beschrieben [122, 123, 124, 125, 126, 127]. Pew *et al.* fanden in zahlreichen verschiedenen Paradigmen stets einen negativen Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und der Exaktheit, so dass davon auszugehen ist, dass es sich hierbei nicht um ein testspezifisches Phänomen handelt, sondern vielmehr um eine Einschränkung bei der Bear-

beutung kognitiver Aufgaben unter Zeitdruck im Allgemeinen [122]. Doshier *et al.* schlagen einen dreiphasigen Zusammenhang zwischen der Bearbeitungszeit und der Exaktheit vor (s. Abbildung 4.1). Es gibt hiernach eine Phase der maximalen Verarbeitungsgeschwindigkeit, bei welcher die Exaktheit etwa der zufälligen Trefferquote entspricht. Bei zunehmender Verarbeitungszeit kommt es zu einer ansteigenden Exaktheit bis schließlich die Genauigkeit ihr Maximum erreicht hat und auch durch eine längere Verarbeitungszeit nicht mehr gesteigert werden kann [124].

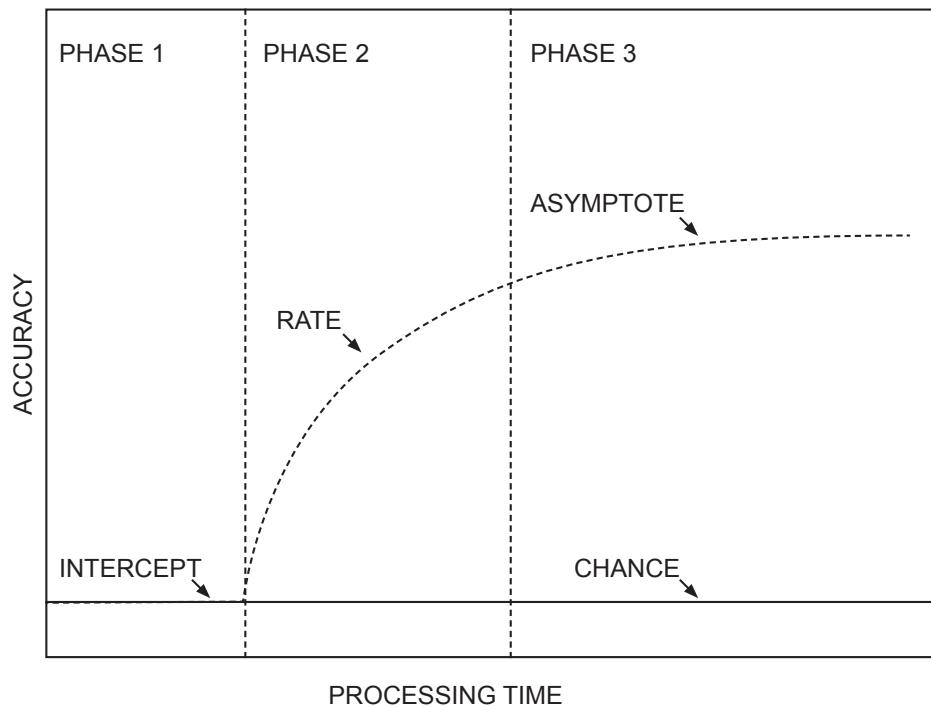


Abbildung 4.1: Laut Doshier *et al.* ist der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Exaktheit bei der Bearbeitung von kognitiven Aufgaben dreiphasig. „Phase 1“ beschreibt die Trefferquote bei minimaler Verarbeitungszeit, „Phase 2“ zeigt die zunehmende Exaktheit bei längerer Verarbeitungszeit und „Phase 3“ ist die Phase der maximalen erreichbaren Exaktheit [124].

Hierbei scheint es jedoch möglich zu sein den Konflikt zwischen Geschwindigkeit und Exaktheit durch Training eines bestimmten Tests zu verringern [122].

Um generell einen Einfluss des Geschwindigkeit-Exaktheit-Konflikts bei der Untersuchung der Performanz eines kognitiven Tests zu verhindern, könnte die Reaktionszeit festgelegt und lediglich die Fehlerrate gemessen werden. Im Falle unseres Studiendesigns wäre es eventuell möglich, diesen systematischen Fehler durch ein einfach blindes Studiendesign, in dem die Probanden nicht wissen, welcher Testgruppe sie angehören, zu verringern. Ebenso hilf-



reich wäre der Einsatz einer aktiven Kontrollgruppe, die beispielsweise ein nicht-adaptives N-Back-Paradigma über den selben Zeitraum durchführt wie die Trainingsgruppe das Arbeitsgedächtnistraining. Nur durch den Einsatz einer aktiven Kontrollgruppe kann außerdem sichergestellt werden, dass die Art der Intervention und nicht alleine der große zeitliche Aufwand sowie der umfangreiche Kontakt zum Versuchsleiter für die gemessenen Effekte verantwortlich sind.

Dessen ungeachtet bleibt festzuhalten, dass die Trainingsgruppe und die Kontrollgruppe sich zu Beginn der Studie in keiner der erhobenen demographischen oder neuropsychologischen Variablen signifikant unterschieden. Die Unterschiede, die sich im Posttest in den neuropsychologischen Tests ergaben, können also durch das Arbeitsgedächtnistraining erklärt werden.

#### 4.6.4 Neuropsychologische Testung

Schwierigkeiten resultierten aus der wiederholten Durchführung einzelner neuropsychologischer Tests. Um den Trainingseffekt besser abbilden zu können wurden der Zahlen-Symbol-Test, die Zahlenspanne-Tests und der LPS 3 zu drei Testzeitpunkten bearbeitet. Allerdings fehlten Parallelversionen zu diesen Tests, sodass in den zuletzt genannten Tests Lerneffekte durch die Wiederholung auftraten. Da sich auch die Kontrollgruppe in diesen Tests verbesserte, konnten statistisch keine signifikanten Transfereffekte abgegrenzt werden. Besonders deutlich wird dies beim LPS 3 Test, in dem sowohl die Trainingsgruppe als auch die Kontrollgruppe hochsignifikante Trainingseffekte zeigte. Laut McCaffrey *et al.* [91] ergeben sich im Zahlen-Symbol-Test praktisch keine Leistungszugewinne durch Wiederholungen. Unsere Ergebnisse stützen diese Annahme.

Um den Trainingseffekt trotzdem genau zu untersuchen, könnten Trainingsgruppen mit unterschiedlich langen Arbeitsgedächtnistraining eingesetzt werden. Ein ähnliches Studiendesign verwendeten Jeaggi *et al.* [35]. Auf diese Weise lässt sich der Einfluss des Trainingsumfangs und die Leistungszugewinne zu verschiedenen Zeitpunkten abbilden, ohne dass Probanden einen Test mehrmals durchführen. Wiederholungseffekte werden also minimiert.

In den Zahlenspanne-Tests ergab sich zusätzlich ein Deckeneffekt, da die jungen gesunden Probanden schon im Prätest sehr gute Ergebnisse erzielten. Der erwartete nahe Transfer auf nicht-trainierte Arbeitsgedächtnistests konnte in der Studie somit nicht nachgewiesen werden. Auch Dahlin *et al.* [36] konnten keinen signifikanten Transfer auf die Zahlenspanne-

Tests nachweisen, obwohl sie bei der Testung drei Parallelversionen einsetzen.

Zur Untersuchung des Transfers auf nicht-trainierte Arbeitsgedächtnistests unter jungen gesunden Probanden sollten in zukünftigen Arbeiten eher komplexe Span Tests eingesetzt werden. Denkbar wäre auch die Nutzung eines N-Back-Paradigmas, in dem Buchstaben, Töne oder Symbole als Stimuli verwendet werden, um die Unabhängigkeit der Trainingseffekte vom Modus der Stimuli aufzuzeigen.

Des Weiteren ergab sich vermutlich ein Deckeneffekt im WCST, sodass sich Aussagen über die exekutiven Funktionen primär auf die Wortflüssigkeitstests stützen. Der Überbegriff der exekutiven Funktionen beschreibt allerdings ein breites Feld an Fähigkeiten [24]. Um diesen Bereich genauer zu untersuchen, wären mehr Tests nötig. Vor allem die Aufmerksamkeitskontrolle steht im Fokus der Diskussion um die Verbindung der fluiden Intelligenz und des Arbeitsgedächtnisses [9, 56]. Zur genaueren Untersuchung könnte an dieser Stelle beispielsweise der Stroop-Test<sup>4</sup> eingesetzt werden, den auch Klingberg *et al.* in einigen Studien verwendeten [42, 45].

## 4.7 Fazit und Ausblick

Trotz der beschriebenen methodischen Einschränkungen, bestätigt unsere Studie die Ergebnisse von Klingberg *et al.* [42, 45] und Jeaggi *et al.* [35], dass effektives Arbeitsgedächtnistraining einen signifikanten Einfluss auf Aspekte der fluiden Intelligenz hat. So sprechen unsere Ergebnisse dafür, dass entweder die Verarbeitungsgeschwindigkeit basaler kognitiver Prozesse oder bestimmte exekutive Funktionen durch das Arbeitsgedächtnistraining verbessert werden. Da diese Fähigkeiten offensichtlich auch für höhere kognitive Prozesse von Bedeutung sind, kommt es zu der gemessenen Verbesserung der fluiden Intelligenz. Fluide Intelligenz ist – wie bereits erwähnt – von besonderer Bedeutung für beruflichen und schulischen Erfolg. Sie macht es möglich, sich auf neue Situationen einzustellen [20, 22, 23]. Es ist also vorstellbar, dass z.B. Individuen mit eingeschränktem schulischem Erfolg besonders vom Trainingsprogramm profitieren könnten. Zahlreiche Erkrankungen, aber auch der normale Alterungsprozess, führen zu einer Beeinflussung des Arbeitsgedächtnisses. Bei Personen, die eine reduzierte Gedächtnisleistung haben, könnte ein effektives Arbeitsgedächtnistraining

---

<sup>4</sup>Stroop-Interferenz-Test: Die Farbe in der Wörter geschrieben sind muss wiedergegeben werden. Wenn das Wort „blau“ in gelber Farbe geschrieben ist, dauert es länger bis zur richtigen Antwort, als wenn Wortsinn und Farbe übereinstimmen (Stroop-Effekt). Der Test wird eingesetzt um exekutive Funktionen, insbesondere Aufmerksamkeits- und Impulskontrolle, zu testen [44].

ning zu generalisierten Trainingseffekten sowie einer Steigerung der fluiden Intelligenz und damit der Fähigkeit, sich an neue Situationen anzupassen, führen. Wie bereits erwähnt lassen Studien mit älteren Probanden oder Probanden mit eingeschränkter Gedächtnisfunktion vermuten, dass die Ergebnisse junger gesunder Probanden nicht uneingeschränkt auf andere Stichproben übertragbar sind [36, 37, 46]. Möglicherweise könnte eine Optimierung des Arbeitsgedächtnistrainings im Sinne der Empfehlungen von Klingberg *et al.* zu verstärkten Leistungszugewinnen führen [28, 42, 45].

Um eine solche klinische Relevanz des Arbeitsgedächtnistrainings zu überprüfen sind jedoch Studien von weit größerem Umfang nötig, die folgende Kriterien erfüllen sollten:

1. Eine größere Testpopulation ist nötig, um die Abwesenheit von Effekten absichern und die Effektgröße der Trainingszugewinne besser abschätzen zu können.
2. Verschiedene Testpopulationen wie etwa verschiedene Altersgruppen oder Probanden mit Gedächtniseinschränkungen sind nötig, um die klinische Relevanz zu testen.
3. Adaptives Arbeitsgedächtnistraining nach den Empfehlungen von Klingberg *et al.* mit täglichem Training (à 45min) über mindestens vier Wochen sollte durchgeführt werden, um ein effektives Arbeitsgedächtnistraining und generalisierte Trainingseffekte zu erreichen.
4. Eine aktive Kontrollgruppe, die z.B. ein nicht-adaptives Arbeitsgedächtnisparadigma durchführt, verhindert die Verfälschung der Ergebnisse durch Placeboeffekte.
5. Komplexere Span-Tests zur Überprüfung des Transfers auf das Arbeitsgedächtnis sind geeignet, um die Effektivität des Arbeitsgedächtnistrainings zu überprüfen. Ein naher Transfer auf nicht-trainierte Arbeitsgedächtnistests ist für die Interpretation der weiteren Ergebnisse nötig.
6. Verschiedene Tests zur Überprüfung des Transfers auf exekutive Funktionen, speziell der Aufmerksamkeitskontrolle, sollten durchgeführt werden, um das komplexe Konstrukt der exekutiven Fähigkeiten detaillierter zu untersuchen.
7. Funktionelle Bildgebung, beispielsweise mittels funktioneller MRT im Prä- und Posttest, könnte helfen, die Frage der dem Transfer zugrundeliegenden Strukturen und der neuronalen Plastizität genauer zu untersuchen.

8. Eine Überprüfung des Langzeittransfers durch weitere Posttests könnte zeigen, ob die Leistungszugewinne in der fluiden Intelligenz von Dauer sind, und hilft die Relevanz dieser Verbesserungen für Alltagsaktivitäten einzuordnen.

## 5 Zusammenfassung

Fluide Intelligenz beschreibt die Fähigkeit abstrakt zu denken, sich auf neue Situationen einzustellen und Lösungsansätze für unbekannte Probleme zu erarbeiten. Sie ist einer der wichtigsten Faktoren für das Lernen, akademischen und beruflichen Erfolg. Als Arbeitsgedächtnis wird ganz allgemein ein kognitives System bezeichnet, das Informationen trotz möglicher Ablenkung über einen kurzen Zeitraum speichern sowie bei wechselnden Anforderungen die Relevanz der Informationen neu bewerten kann.

Die Arbeitsgedächtnisleistung ist keine feste Größe. Im Rahmen von zahlreichen Erkrankungen kommt es zu einer Einschränkung des Arbeitsgedächtnisses. Durch effektives, implizites Arbeitsgedächtnistraining kann die Arbeitsgedächtniskapazität vergrößert werden. Darüber hinaus zeigte sich, dass Arbeitsgedächtnistraining nicht nur zu nahem Transfer, sondern auch zu Transfereffekten auf höhere kognitive Leistungen wie die fluide Intelligenz führt.

Um die zugrundeliegenden Prozesse dieses Transfers zu klären, wurden verschiedene Transfermodelle vorgestellt, welche entweder die Geschwindigkeit basaler kognitiver Verarbeitung, die zentrale exekutive Funktionen oder die Kurzzeitspeicherkapazität im Vordergrund sehen. Ziel war es zum einen, Transfereffekte von Arbeitsgedächtnistraining auf andere kognitive Funktionen aufzuzeigen und zum anderen, die Mechanismen des Transfers entsprechend der beschriebenen Transfermodelle zu untersuchen.

Zu diesem Zweck wurden 30 gesunde Probanden im Alter von 22 - 30 Jahren in die Studie eingeschlossen. 15 Probanden nahmen an einem vierwöchigen Arbeitsgedächtnistraining teil. Weitere 15 Probanden nahmen nicht am Arbeitsgedächtnistraining teil und bildeten die Kontrollgruppe. Das Training wurde mittels eines adaptiven N-Back-Computerprogramms durchgeführt. Zu Beginn der Studie, nach einer Woche und nach vier Wochen wurde eine neuropsychologische Testbatterie durchgeführt. Es wurden hierbei die Bereiche Arbeitsgedächtnis (Zahlenspanne-Test), Verarbeitungsgeschwindigkeit (Zahlenverbindungstest, Zahlen-Symbol-Test), exekutive Funktionen (Wortflüssigkeitstest, Wisconsin Kartensortierungstest), fluide Intelligenz (Raven-Matrizen-Test, Leistungsprüfsystem 3) und kristalline Intelligenz (Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenztest) getestet.

Es trat ein signifikanter Transfer des Arbeitsgedächtnistrainings auf Tests der Verarbeitungsgeschwindigkeit, der exekutiven Funktionen sowie der fluiden Intelligenz auf. Außerdem führte das Training zu einer signifikanten Verkürzung der Reaktionszeit. Ein Einfluss auf nicht-trainierte Tests des Arbeitsgedächtnisses konnte statistisch nicht nachgewiesen werden. Zu einem Transfer auf die kristalline Intelligenz, also das explizite Faktenwissen, kam es erwartungsgemäß nicht.

Es zeigte sich, dass die Ergebnisse des Arbeitsgedächtnistrainings innerhalb der Trainingsgruppe mit der Performanz in je einem Test der Verarbeitungsgeschwindigkeit, der exekutiven Funktionen und der fluiden Intelligenz positiv korrelierten.

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Studie, dass durch effektives Arbeitsgedächtnistraining komplexe kognitive Fähigkeiten verbessert werden können. Die Frage auf welchen basalen Prozessen dieser Transfer beruht konnte durch diese Studie nicht endgültig geklärt werden. Es finden sich jedoch Hinweise darauf, dass das adaptive Arbeitsgedächtnistraining vor allem zu einem schnelleren Ablauf basaler kognitiver Prozesse geführt zu haben, welcher wiederum zu einer schnelleren Bearbeitung der Intelligenztests führte.

Die Relevanz dieser Ergebnisse sollte in Zukunft durch umfangreichere Studien untersucht werden, welche nicht nur den kurzfristigen Transfer, sondern auch langfristige Leistungszugewinne testen. Die klinische Relevanz kann durch den Einschluss verschiedener Testpopulationen wie älterer Probanden oder Probanden mit krankheitsbedingt eingeschränkter Arbeitsgedächtniskapazität überprüft werden.

# Literaturverzeichnis

- [1] JARROLD, C. ; TOWSE, J.N.: Individual differences in working memory. In: *Neuroscience* 139 (2006), S. 39–50
- [2] MILLER, G.A. ; GALANTER, E. ; PRIBRAM, K.H.: *Plans and the structure of behavior*. New York, Holt, 1960
- [3] BERTI, S.: Arbeitsgedächtnis: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft eines theoretischen Konstruktes. In: *Psychologische Rundschau* 61 (2010), Nr. 1, S. 3–9
- [4] CONWAY, A.R.A. ; KANE, M.J. ; ENGLE, R.W.: Working memory capacity and it's relation to general intelligence. In: *Trends in Cognitive Sciences* 7 (2003), Nr. 12, S. 547–552
- [5] BADDELEY, A.D. ; HITCH, G.J.: Working memory. In: *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* 8 (1974), S. 47–89
- [6] BADDELEY, A.D.: *Working memory*. Oxford University Press, 1987
- [7] BADDELEY, A.D.: The episodic buffer: A new component of working memory? In: *Trends in Cognitive Sciences* 4 (2000), Nr. 11, S. 417–423
- [8] COWAN, N.: An embedded-processes model of working memory. In: MIYAKE, A. (Hrsg.) ; SHAH, P. (Hrsg.): *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1999, S. 62–101
- [9] ENGLE, R.W. ; TUHOLSKI, S.W. ; LAUGHLIN, J.E. u. a.: Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. In: *Journal of Experimental Psychology* 128 (1999), Nr. 3, S. 309–331
- [10] ENGEL, R.W. ; KANE, M.J. ; TUHOLSKI, S.W.: Individual differences in working memory and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence,

- and functions of the prefrontal cortex. In: MIYAKE, A. (Hrsg.) ; SHAH, P. (Hrsg.): *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1999, S. 102–134
- [11] MARTINUSSEN, R. ; HAYDEN, J. ; HOGG-JOHNSON, S. u. a.: A meta-analyses of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. In: *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry* 44 (2005), Nr. 4, S. 377–384
- [12] RINDERMAN, H.: Intelligenz, kognitive Fähigkeiten, Humankapital und Rationalität auf verschiedenen Ebenen. In: *Psychologische Rundschau* 57 (2006), Nr. 2, S. 137–145
- [13] GOTTFREDSON, L.S.: Why g matters: The complexity of everyday life. In: *Intelligence* 24 (1997), Nr. 1, S. 79–132
- [14] FUNKE, J. ; VATERRODT, B.: *Was ist Intelligenz?* C.H. Beck, 2009
- [15] BINET, A. ; SIMON, T.: Methodes nouvelles pour le diagnostic du niveau intellectuel des anormaux. In: *Année Psychologique* 11 (1905), S. 191–244
- [16] SPEARMAN, C.: General intelligence, objectively determined and measured. In: *American Journal of Psychology* 15 (1904), S. 201–293
- [17] THURSTONE, L.L.: *Primary mental abilities*. University of Chicago Press, 1938
- [18] JENSEN, A.R.: *The g factor*. Westport: Praeger, 1998
- [19] CATTELL, R.B.: The measurement of adult intelligence. In: *Psychological Bulletin* 40 (1943), S. 153–193
- [20] CARPENTER, P.A. ; JUST, M.A. ; SHELL, P.: What one intelligence test measures: A theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices Test. In: *Psychological Review* 97 (1990), Nr. 3, S. 404–431
- [21] MYERS, D.G.: *Psychologie*. Springer, 2005
- [22] ROHDE, T.E. ; THOMPSON, L.A.: Predicting academic achievement with cognitive ability. In: *Intelligence* 35 (2007), S. 83–92
- [23] DEARY, I.J. ; STRAND, S. ; SMITH, P. u. a.: Intelligence and educational achievement. In: *Intelligence* 35 (2007), S. 13–21



- [24] MILLER, K.E. ; COHEN, D.J.: An integrative theory of prefrontal cortex function. In: *Annu. Rev. Neurosci.* 24 (2001), S. 167–202
- [25] SALTHOUSE, T.A.: The processing-speed theory of adult age differences in cognition. In: *Psychological Review* 103 (1996), Nr. 3, S. 403–428
- [26] ACKERMAN, P.L. ; BEIER, M.E. ; BOYLE, M.O.: Individual differences in working memory within a nomological network of cognitive and perceptual speed abilities. In: *Journal of Experimental Psychology* 131 (2002), Nr. 4, S. 567–589
- [27] MILLER, G.A.: The magicak number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. In: *The Psychological Review* 63 (1956), S. 81–97
- [28] KLINGBERG, T.: Training and plasticity od working memory. In: *Trends in Cognitive Sciences* 14 (2010), Nr. 7, S. 317–324
- [29] ERICSSON, K. A. ; CHASE, William G. ; FALOON, Steve: Acquisition of a Memory Skill. In: *Science* 208 (1980), June, Nr. 4448, S. 1181–1182
- [30] OLESEN, P.J. ; WESTERBERG, H. ; KLINGBERG, T.: Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. In: *Nat Neurosci* 7 (2004), Nr. 1, S. 75–79
- [31] DENNEY, N.W. ; HEIDRICH, S.M.: Training effects on Raven’s Progressive Matrices in young, middle-aged, and elderly adults. In: *Psychology and Aging* 5 (1990), Nr. 1, S. 144–145
- [32] LOVETT, M C. ; ANDERSON, J R.: Effects of solving related proofs on memory and transfer in geometry problem solving. In: *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 20 (1994), Nr. 2, S. 366–378
- [33] ROTHGANGEL, S.: *Kurzlehrbuch Medizinische Psychologie und Soziologie*. Georg Thieme Verlag, 2010
- [34] HASSELHORN, M. ; GOLD, A.: *Pädagogische Psychologie: Erfolgreiches Lehren und Lernen*. W. Kohlhammer Verlag, 2009
- [35] JAEGGI, S.M. ; BUSCHKUEHL, M. ; JONIDES, J. u. a.: Improving fluid intelligence with training on working memory. In: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105 (2008), Nr. 19, S. 6829–6833

- [36] DAHLIN, E. ; NYBERG, L. ; BÄCKMAN, L. u. a.: Plasticity of executive functioning in young and older adults: Immediate training gains, transfer, and long-term maintenance. In: *Psychology and Aging* 23 (2008), Nr. 4, S. 720–730
- [37] LI, S. ; SCHMIEDEK, F. ; HUXHOLD, O. u. a.: Working memory plasticity in old age: Practice gain, transfer, and maintenance. In: *Psychology and Aging* 23 (2008), Nr. 4, S. 731–742
- [38] THORELL, L.B. ; LINDQVIST, S. ; BERGMANN NUTLEY, S. u. a.: Training and transfer effects of executive functions in preschool children. In: *Developmental science* 12 (2009), Nr. 1, S. 106–113
- [39] WECHSLER, D.: *Wechsler Objective Number Dimensions (WOND)*. New York: Psychological Corporation, 1996
- [40] WECHSLER, D.: *Wechsler Abbreviated Scales of Intelligence (WASI)*. London: Harcourt Assessment, 1999
- [41] HOLMES, J. ; GATHERCOLE, S.E. ; DUNNING, D.L.: Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. In: *Developmental science* 12 (2009), S. 9–15
- [42] KLINGBERG, T.: Training of working memory in children with ADHD. In: *J. Clin. Exp. Neuropsychol.* 24 (2002), S. 781–791
- [43] HOLMES, J.: Working memory deficits can be overcome: impacts of training and medication on working memory in children with ADHD. In: *Appl. Cogn. Psychol.* 12 (2009), S. 9–15
- [44] STROOP, J.R.: Studies of interference in serial verbal reactions. In: *Journal of Experimental Psychology* 18 (1935), S. 643–662
- [45] KLINGBERG, T.: Computerized training of working memory in children with ADHD - a randomized, controlled trial. In: *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry* 44 (2005), S. 177–186
- [46] WESTERBERG, H.: Computerized working memory training - A method of cognitive rehabilitation after stroke. In: *Brain Inj.* 21 (2007), S. 21–29

- [47] O'REILLY, R.C.: Biologically based computational models of high-level cognition. In: *Science* 314 (2006), Nr. 5796, S. 91–94
- [48] TAKEUCHI, H. ; SEKIGUCHI, A. ; TAKI, Y. u. a.: Training of working memory impacts structural connectivity. In: *The Journal of neuroscience* 30 (2010), Nr. 9, S. 3297–303
- [49] DAHLIN, E. ; NEELY, A.S. ; LARSSON, A. u. a.: Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. In: *Science* 320 (2008), Nr. 5882, S. 1510–1512
- [50] WEXLER, B.E. ; ANDERSON, M. ; FULBRIGHT, R.K. u. a.: Preliminary evidence of improved verbal working memory performance and normalization of task-related frontal lobe activation in schizophrenia following cognitive exercises. In: *Am. J. Psychiatry* 157 (2000), S. 1694–1697
- [51] LINDEN, D.E.: The working memory networks of the human brain. In: *Neuroscientist* 13 (2007), S. 257–267
- [52] CURTIS, C.E. ; D'ESPOSITO, M.: Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. In: *Trends in Cognitive Sciences* 7 (2003), S. 415–423
- [53] SMITH, E.E. ; JONIDES, J.: Storage and executive process in the frontal lobes. In: *Science* 283 (1999), S. 1657–1661
- [54] JONIDES, J.: Inhibition in verbal working memory revealed by brain activation. In: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95 (1998), S. 8410–8413
- [55] MOORE, C.D. ; COHEN, M.X. ; RANGANATH, C.: Neural mechanisms of expert skills in visual working memory. In: *The Journal of Neuroscience* 26 (2006), Nr. 43, S. 11187–11196
- [56] KANE, M.J. ; ENGLE, R.W.: The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: an individual-differences perspective. In: *Psychon. Bull. Rev.* 9 (2002), Nr. 4, S. 637–671
- [57] BADDELEY, A.D.: Working memory: looking back and looking forward. In: *Nat. Rev. Neurosci.* 4 (2003), Nr. 10, S. 829–839
- [58] KLINGBERG, T.: Development of a superior frontal-intraparietal network for visuo-spatial working memory. In: *Neuropsychologia* 44 (2006), Nr. 11, S. 2171–2177

- [59] PICKL, C.: *Selbstregulation und Transfer: Entwicklung und Evaluation eines Trainingsprogramms zum selbstregulierten Lernen und die Analyse von Transferdeterminanten in Trainingskontexten*. Beltz Verlag, 2004
- [60] MULDER, T.: *Das adaptive Gehirn: Über Bewegung, Bewusstsein und Verhalten*. Georg Thieme Verlag, 2006
- [61] SHUTE, V.J. ; ZAPATA-RIVERA, D.: Adaptive educational systems. In: DURLACH, P.J. (Hrsg.) ; LESGOLD, A.M. (Hrsg.): *Adaptive technologies for training and education*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012, S. 7–27
- [62] BAILEY, H. ; DUNLOSKY, J.: Why does working memory span predict complex cognition? Testing the strategy affordance hypothesis. In: *Memory and Cognition* 36 (2008), Nr. 8, S. 1383–1390
- [63] BURGALETA, M. ; COLOM, R.: Short-term storage and mental speed account for the relationship between working memory and fluid intelligence. In: *Psicothema* 20 (2008), Nr. 4, S. 780–785
- [64] KAIL, R. ; SALTHOUSE, T.A.: Processing speed as a mental capacity. In: *Acta Psychologica* 86 (1994), S. 199–225
- [65] VERHAEGHEN, P. ; SALTHOUSE, T.A.: Meta-analysis of age-cognition relations in adulthood: Estimates of linear and non-linear age effects. In: *Psychological Bulletin* 122 (1998), S. 231–249
- [66] KYLLONEN, P.C. ; CRISTAL, R.E.: Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity. In: *Intelligence* 14 (1990), S. 389–433
- [67] BABCOCK, R.L.: Analysis of adult age differences on the raven’s advanced progressive matrices test. In: *Psychology and Aging* 9 (1994), S. 303–314
- [68] DEARY, I.J.: *Looking down on human intelligence: From psychometrics to the brain*. New York: Oxford University Press, 2000
- [69] NEUBAUER, A.C.: The mental speed approach to the assessment of intelligence. In: KNIGMA, J. (Hrsg.) ; TOMIC, W. (Hrsg.): *Advances in cognition and education; reflections on the concept of intelligence*. Greenwich, CT: JAI press, 1997, S. 149–173

- [70] FINK, A. ; NEUBAUER, A.C.: Individuel differences in time estimation related to cognitive ability, speed of information processing and working memory. In: *Intelligence* 33 (2005), S. 5–26
- [71] CONWAY, A.R.A.: A latent variable analysis of working memory capacity, short term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. In: *Intelligence* 30 (2002), S. 163–183
- [72] ENGLE, R.W. ; KANE, M.J.: Executive attention, working memory capacity and a two-factor theory of cognitive control. In: *Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* 44 (2004), S. 145–199
- [73] TUHOLSKI, S.W. ; ENGLE, R.W. ; BAYLIS, G.C.: Individual differences in working memory capacity and enumeration. In: *Memory and Cognition* 29 (2001), Nr. 3, S. 484–492
- [74] BUEHNER, M. ; KRUMM, S. ; PICK, M.: Reasoning = working memory  $\neq$  attention. In: *Intelligence* 33 (2005), S. 251–272
- [75] COLOM, R. ; ABAD, F.J. ; QUIROGA, M.A. u. a.: Working memory and intelligence are highly related constructs, but why? In: *Intelligence* 36 (2008), S. 584–606
- [76] ANDO, S. ; KIDA, N. ; ODA, S.: Practice effects on reaction time for peripheral and central visual fields. In: *Perceptual and Motor Skills* 95 (2002), Nr. 3, S. 747–752
- [77] VISSER, I. ; RAIJMAKERS, M.E.J. ; MOLENAAR, P.C.M.: Characterizing sequence knowledge using online measures and hidden Markov models. In: *Memory and Cognition* 35 (2007), Nr. 6, S. 1502–1518
- [78] OWEN, A.M. ; MCMILLAN, K.M. ; LAIRD, A.R. u. a.: N-back working memory paradigm: A meta-analyses of normative functional neuroimaging studies. In: *Human Brain Mapping* 25 (2005), S. 46–59
- [79] KIRCHNER, W.K.: Age differences in short-term retention of rapidly changing information. In: *Journal of Experimental Psychology* 55 (1958), Nr. 4, S. 352–358
- [80] FOLSTEIN, M.F. ; FOLSTEIN, S.E. ; MCHUGH, P.R.: "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinican. In: *J. Psychiatr. Res.* 12 (1975), Nr. 3, S. 189–198

- [81] MORRIS, J.C. ; MOHS, R.C. ; ROGERS, H. u. a.: Consortium to establish a registry for Alzheimer's disease (CERAD) clinical and neuropsychological assessment of Alzheimer's disease. In: *Psychopharmacol Bull.* 24 (1988), Nr. 4, S. 641–652
- [82] WECHSLER, D.: *Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale*. New York: Psychological Corp., 1955
- [83] TULSKY, D.S.: *Clinical interpretation of the WAIS-III and WMS-III*. Academic Press, 2003
- [84] LEZAK, M.D.: *Neuropsychological assessment*. Oxford Univ. Press, 2004
- [85] LA RUE, A.: *Aging and neuropsychological assessment*. Springer, 1992
- [86] *Army Individual Test Battery. Manual of directions and scoring*. Washington, DC: War Department, Adjutant General's Office, 1944
- [87] REITAN, R.M.: Validity of the trail making test as an indicator of organic brain damage. In: *Perceptual and Motor Skills* 8 (1958), S. 271–276
- [88] REITAN, R.M. ; WOLFSON, D.: *The Halstead-Reitan neuropsychological test battery: Therapy and clinical interpretation*. Tucson, AZ: Neuropsychological Press, 1958
- [89] SCHEAR, J.M. ; SATO, S.D.: Effects of visual acuity and visual motor speed and dexterity on cognitive test performance. In: *Archives of Clinical Neuropsychology* 4 (1989), S. 25–32
- [90] ERBER, J.T. ; BOTWINICK, J. ; STORANDT, M.: The impact of memory on age differences in digit symbol performance. In: *Journal of Gerontology* 36 (1981), Nr. 5, S. 586–590
- [91] MCCAFFREY, R.J. ; ORTEGA, A. ; HAASE, R.F.: Effects of repeated neuropsychological assessments. In: *Archives of Clinical Neuropsychology* 8 (1993), S. 519–524
- [92] BERG, E.A.: A simple objective technique for measuring flexibility in thinking. In: *J. Gen. Psychol.* 39 (1948), S. 15–22
- [93] BENTON, A.L. ; HAMSHER, K.D.S.: *Multilingual Aphasia Examination*. University of Iowa, Iowa City, 1976

- [94] RENDE, B. ; RAMSBERGER, G. ; MIYAKE, A.: Commonalities and differences in the working memory components underlying letter and category fluency tasks: a dual-task investigation. In: *Neuropsychology* 16 (2002), Nr. 3, S. 309–321
- [95] LARSSON, M.R. ; MICHEL, P. ; BÄCKSTRÖM, M. u. a.: Baseline verbal fluency performance as predictor of state anxiety during a live hand-grenade throwing exercise - A prospective study of Swedish military conscripts. In: *Behavioral and Brain Functions* 3 (2007), S. 39
- [96] KOZIOL, L.F. ; ELY BUDDING, D.: *Subcortical structures and cognition: Implications for neuropsychological assessment*. Springer, 2009
- [97] RAVEN, J.C. ; COURT, J.H. ; RAVEN, J.: *Standard progressive matrices: Sets A, B, C, D, and E*. London: H.K.Lewis, 1977
- [98] HELLER, K.A.: Raven-Matrizen-Test Standard Progressive Matrices (SPM). In: *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 28 (1981), S. 316–318
- [99] SPREEN, O. ; STRAUSS, E.: *A compendium of neuropsychological tests: administration, norms, and commentary*. Oxford Univ. Press, 1998
- [100] RAVEN, J. ; SUMMERS, B. ; BIRCHFIELD, M.: *Manual for raven's progressive matrices and vocabulary scales. Research supplement no.3: A compendium of north american normativ and validity studies*. Oxford Psychologists Press Ltd., 1990
- [101] *Beispiel aus den Raven-Matrizen, C 8*. <http://www.journal-fuer-psychologie.de/typo3temp/pics/3403c9e9ee.jpg>. Version: 2009, Abruf: 19.1.2011
- [102] HORN, W.: *Leistungsprüfsystem (LPS)*. 2. Edition. Göttingen: Hogrefe, 1983
- [103] BOERNER, K.: *Das psychologische Gutachten*. 7. Edition. Beltz Verlag, 2004
- [104] LEHRL, S. ; TRIEBIG, G. ; FISCHER, B.: Multiple choice vocabulary test MWT as a valid and short test to estimate premorbid intelligence. In: *Acta Neurologica Scandinavica* 91 (1995), S. 335–345
- [105] COHEN, J.: *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1988
- [106] ZIEGLER, M. ; BÜHNER, M.: *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Pearson Education, 2009

- [107] JANSSEN, J. ; LAATZ, W.: *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows*. Springer, 2007
- [108] FRY, A.F. ; HALE, S.: Processing speed, working memory, and fluid intelligence: Evidence for a developmental cascade. In: *Psychological Science* 7 (1996), Nr. 4, S. 237–241
- [109] MILLER, L.T. ; VERNON, P.A.: Intelligence, reaction time, and working memory in 4- to 6-year-old children. In: *Intelligence* 22 (1996), S. 155–190
- [110] ACKERMAN, P.L. ; BEIER, M.E. ; BOYLE, M.O.: Working memory and intelligence: The same or different constructs? In: *Psychological Bulletin* 131 (2005), Nr. 1, S. 30–60
- [111] CARLSON, J.S. ; JENSEN, C.M. ; WIDAMAN, K.F.: Reaction time, intelligence, and attention. In: *Intelligence* 7 (1983), S. 329–344
- [112] VERNON, P.A. ; NADOR, S. ; KANTOR, L.: Reaction times and speed-of-processing: Their relationship to timed and untimed measures of intelligence. In: *Intelligence* 9 (1985), S. 357–374
- [113] RABBITT, P.: Do individual differences in speed reflect "global" or "local" differences in mental abilities? In: *Intelligence* 22 (1996), S. 69–88
- [114] DER, G. ; DEARY, I.J.: IQ, reaction time and the differentiation hypothesis. In: *Intelligence* 31 (2003), S. 491–503
- [115] DEARY, I.J. ; DER, G. ; FORD, G.: Reaction times and intelligence differences: A population-based cohort study. In: *Intelligence* 29 (2001), S. 389–399
- [116] SHEPPARD, L.D. ; VERNON, P.A.: Intelligence and speed of information-processing: A review of 50 years of research. In: *Personality and Individual Differences* 44 (2008), S. 535–551
- [117] NEUBAUER, A.C. ; KNORR, E.: Elementary cognitive processes in choice reaction time tasks and their correlations with intelligence. In: *Personality and Individual Differences* 23 (1997), Nr. 5, S. 715–728
- [118] SÜSS, H. ; OBERAUER, K. ; WITTMAN, W. u. a.: Working memory capacity explains reasoning ability-and a little bit more. In: *Intelligence* 30 (2002), S. 261–288



- [119] MIYAKE, A. ; FRIDMAN, N.P. ; EMERSON, M.J. u. a.: The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. In: *Cognitive Psychology* 41 (2000), S. 49–100
- [120] COLOM, R. ; ABAD, F.J. ; REBOLLO, I. u. a.: Memory span and general intelligence: A latent-variable approach. In: *Intelligence* 33 (2005), S. 623–642
- [121] BEIER, M.E. ; ACKERMAN, P.L.: A reappraisal of the relationship between span memory and intelligence via "best evidence synthesis". In: *Intelligence* 32 (2004), S. 607–619
- [122] PEW, R.W.: The speed-accuracy operating characteristic. In: *Acta Psychologica* 30 (1969), S. 16–26
- [123] WICKELGREN, W.A.: Speed-accuracy tradeoff and information processing dynamics. In: *Acta Psychologica* 41 (1977), S. 67–85
- [124] DOSHER, B.A.: Empirical approaches to information processing: Speed-accuracy tradeoff functions or reaction time - a reply. In: *Acta Psychologica* 43 (1979), S. 347–359
- [125] SANDERS, A.F. ; RATH, A.M.: Perceptual processing and speed-accuracy trade-off. In: *Acta Psychologica* 77 (1991), S. 275–291
- [126] NEUBAUER, A.C. ; BAUER, C. ; HÖLLER, G.: Intelligence, attention, motivation and speed-accuracy trade-off in the Hick paradigm. In: *Personality and Individual Differences* 13 (1992), Nr. 12, S. 1325–1332
- [127] WENZLAFF, H. ; BAUER, M. ; MAESS, B. ; HEEKEREN, H.R.: Neural characterization of the speed-accuracy tradeoff in a perceptual decision-making task. In: *The Journal of Neuroscience* 31 (2011), Nr. 4, S. 1254–1266

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Das ursprüngliche Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch umfasst zwei Speichersysteme und eine übergeordnete exekutive Verarbeitungszentrale [5]. . . . .	1
1.2	Überarbeitetes Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley. Der neu eingeführte episodische Zwischenspeicher stellt eine Schnittstelle zwischen den Kurzzeitspeichersystemen und dem Langzeitgedächtnis dar. Grau unterlegte Bereiche beschreiben kristalline kognitive Systeme, die Wissen und Gelerntes speichern. Nicht unterlegte Bereiche stehen für fluide, also vom Lernen unabhängige Funktionen [7]. . . . .	2
2.1	Beispiel für das N-Back-Paradigma mit der Bedingung 2-Back. . . . .	20
2.2	Beispiel für eine Aufgabe des Raven-Progressive-Matrizen-Tests [101]. . . . .	28
3.1	Erreichte N-Back Level pro Sitzung im Laufe des Trainings . . . . .	32
3.2	Fehlalarme pro Distraktoren im Laufe des Trainings . . . . .	36
3.3	Vergleich der Fehlalarme pro Distraktoren in der ersten Trainingssitzung . .	36
3.4	Mittlere Reaktionszeiten in der ersten und letzten Sitzung . . . . .	38
3.5	Mittlere Reaktionszeiten in der ersten Sitzung . . . . .	39
3.6	Veränderung der Performanz im Zahlen-Symbol-Test vom Prätest zum Posttest	44
3.7	Veränderung der Performanz im Wortflüssigkeitstest Kategorie Buchstabe vom Prätest zum Posttest (Addition der Wortflüssigkeitstests Kategorie F, A und S) . . . . .	45
3.8	Veränderung der Punkte im Raven-Matrizen-Test vom Prätest zum Posttest	47
3.9	Das Streudiagramm mit Regressionsgerade zeigt die Posttestergebnisse im Zahlenverbindungstest A in Abhängigkeit vom maximal erreichten N-Back-Level der einzelnen Trainingsprobanden. . . . .	49

3.10	Das Streudiagramm mit Regressionsgerade zeigt die Posttestergebnisse im Zahlen- Symbol-Test in Abhängigkeit vom maximal erreichten N-Back-Level der einzelnen Trainingsprobanden. . . . .	49
3.11	Das Streudiagramm mit Regressionsgerade zeigt die Posttestergebnisse im Raven-Matrizen-Test in Abhängigkeit vom maximal erreichten N-Back-Level der einzelnen Trainingsprobanden. . . . .	50
4.1	Laut Doshier <i>et al.</i> ist der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Exaktheit bei der Bearbeitung von kognitiven Aufgaben dreiphasig. „Phase 1“ beschreibt die Trefferquote bei minimaler Verarbeitungszeit, „Phase 2“ zeigt die zunehmende Exaktheit bei längerer Verarbeitungszeit und „Phase 3“ ist die Phase der maximalen erreichbaren Exaktheit [124]. . . . .	65

# Tabellenverzeichnis

2.1	Vergleich der demographischen Daten der rekrutierten Probanden . . . . .	18
2.2	Ablauf der Studie . . . . .	19
2.3	Beispiel für den Aufbau eines Durchlaufs des N-Back-Programms . . . . .	21
2.4	Aufbau der Schwierigkeitsstufen des N-Back-Trainingsprogramms . . . . .	22
2.5	Reihenfolge der neuropsychologischen Tests . . . . .	24
3.1	Vergleich der demographischen Daten von Trainings- und Kontrollgruppe . .	31
3.2	Neuropsychologische Tests vor dem Arbeitsgedächtnistraining . . . . .	33
3.3	Fehlalarme pro Distraktoren . . . . .	35
3.4	Deskriptive Daten der Reaktionszeiten in der ersten Trainingssitzung . . . .	37
3.5	Deskriptive Daten der Reaktionszeiten in der letzten Trainingssitzung . . . .	38
3.6	Deskriptive Daten der Neuropsychologie in der vierten Trainingssitzung (t2)	39
3.7	Deskriptive Daten der Neuropsychologie im Posttest (t3) . . . . .	40
3.8	Korrelationen zwischen der neuropsychologischen Test-Performanz im Post- test (t3) und dem höchsten erreichten Level in der letzten Trainingssitzung .	48
4.1	Gruppe*Training-Interaktionen . . . . .	52
4.2	Vergleich des Studiendesigns . . . . .	63

# Selbstständigkeitserklärung

Ich, Johanna Onken, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema

*Transfer von Arbeitsgedächtnistraining auf die fluide Intelligenz*

selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

Berlin, den 18. 7. 2012

Johanna Onken

# Danksagung

Meinen Dank möchte ich zunächst den Probanden aussprechen, die mit viel Einsatz, Zuverlässigkeit und Ausdauer an dieser Studie teilgenommen haben.

Herrn PD Dr. med. Dr. phil. Rapp danke ich für die Überlassung des Themas, für die andauernde Unterstützung und Beratung. Seine Kompetenz und seine konstruktive Kritik machten den Ablauf dieser Dissertation erst möglich. Sein stetes Vertrauen und seine Geduld gaben mir die Freiheit eigene Ideen zu entwickeln und zu verfolgen.

Stephan Heinzl möchte ich für seine Betreuung, Motivation und unermüdliche Hilfe danken, die meinen Gedanken und meiner Produktivität immer wieder einen sinnvollen Rahmen gaben. Ohne sein Engagement und seine geduldige Einführung in SPSS wäre die Auswertung dieser Studie nicht möglich gewesen.

Für ihr Organisationstalent und ihre Einsatzfreude bei der Datenerhebung möchte ich mich bei Stefanie Schulte bedanken. Den Gutachtern im Promotionsausschuss danke ich für ihre Zeit und ihr Interesse an dieser Arbeit.

Meinen Freunden danke ich dafür, dass sie mir stets zur Seite standen, mich ablenkten, wenn es nötig war, und nie vergessen ließen, dass die Dissertation nicht alles ist.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern für ihren uneingeschränkten Rückhalt auf allen Wegen, ihr Vertrauen und ihre Unterstützung in den vielen Jahren, in denen mein Wunsch Erfahrung zu sammeln mein Interesse an finanzieller Unabhängigkeit übertraf.

# Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

# Publikationsverzeichnis

Teile der vorliegenden Arbeit wurden in folgenden Artikeln bzw. Postern publiziert:

## a) Poster

- Stephan A. Heinzel, Stefanie Schulte, Johanna Onken, Michael A. Rapp: Der Einfluss von Alter und Genotyp auf die trainingsinduzierte Plastizität des Arbeitsgedächtnisses und den Transfereffekt auf fluide Intelligenz. *DGPPN Kongress*, 24. - 27. November 2010, Berlin
- Stephan A. Heinzel, Robert Lorenz, Christine Stelzel, Wolf-R. Brockhaus, Stefanie Schulte, Johanna Onken, Henrik Walter, Norbert Kathmann, Andreas Heinz, Michael A. Rapp: Neural Correlates of Working Memory Training and Transfer in Aging. *Cognitive Aging Conference*, 19. - 22. April 2012, Atlanta, USA
- Stephan A. Heinzel, Stefanie Schulte, Johanna Onken, Jürgen Gallinat, Andreas Heinz, Michael Rapp: COMT genotype affects training-related improvement in working memory in aging. *International Congress of Psychology (ICP)*, 22. - 27. Juli 2012, Kapstadt, Südafrika

## b) Vortrag

- Stephan A. Heinzel, Robert Lorenz, Christine Stelzel, Wolf-R. Brockhaus, Stefanie Schulte, Johanna Onken, Henrik Walter, Norbert Kathmann, Andreas Heinz, Michael Rapp: Neural Correlates of Working Memory Training and Transfer in Aging. *International Congress of Psychology (ICP)*, 22. - 27. Juli 2012, Kapstadt, Südafrika

## c) Artikel

- Heinzel, S., Schulte, S., Onken, J., Duong, Q.-L., Riemer, T. G., Heinz, A., Kathmann, N., Rapp, M. A. : Working memory training improvements and gains in non-trained cognitive tasks in young and older adults . In: *Aging, Neuropsychology, and Cognition* (Mai 2013)