

Aus dem Max-Planck-Institut für Psychiatrie München  
Geschäftsführende Direktorin: Dr. Dr. med. univ. Elisabeth Binder

# **Neurokognitive Effekte von Arbeitsgedächtnistraining**

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

vorgelegt von  
Sarah Katharina Weisig

aus

Memmingen

Jahr

2017

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der  
Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Axel Steiger  
Mitberichterstatter: Prof. Dr. Nikolaos Koutsouleris  
Priv. Doz. Dr. Sophie Stöcklein  
Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Dr. Martin Dresler  
Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel  
Tag der mündlichen Prüfung: 06.07.2017

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>6</b>
1.1	Arbeitsgedächtnis .....	8
1.1.1	Das Multikomponentenmodell von Baddeley und Hitch .....	9
1.1.2	Das Embedded-Process-Model von Cowan .....	10
1.1.3	Das Arbeitsgedächtnismodell von Engle.....	10
1.2	Intelligenz.....	11
1.2.1	Die Zwei-Faktoren-Theorie der Intelligenz.....	11
1.2.2	Das Primärfaktorenmodell.....	11
1.2.3	Die Theorie der fluiden und kristallinen Intelligenz.....	12
1.2.4	Das Structure-of-Intellect-Model.....	12
1.2.5	Arbeitsgedächtnis und Intelligenz .....	13
1.3	Weitere kognitive Funktionen .....	14
1.3.1	Verarbeitungsgeschwindigkeit (mental speed).....	14
1.3.2	Kreativität .....	14
1.3.3	Deklaratives Gedächtnis .....	15
1.4	Arbeitsgedächtnistraining und Transfer .....	16
1.5	Aktuelle Studienlage zum Transfer .....	18
1.6	Fragestellung .....	21
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>23</b>
2.1	Probanden .....	23
2.2	Ablauf der Studie.....	25
2.3	Screening .....	28
2.3.1	Grundintelligenztest CFT 20-R (CFT = Culture Fair Test).....	28
2.3.2	Lern- und Gedächtnistest (LGT-3) .....	29
2.3.3	Vividness of Mental Imagery Questionnaire (VVIQ) .....	30
2.3.4	Selbsteinschätzung der Gedächtnisleistung.....	31
2.3.5	Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenz-Test-B (MWT-B) .....	31
2.3.6	State-Trait-Angstinventar (STAI-G Form X1).....	31
2.3.7	Vereinfachtes Beck-Depressions-Inventar (BDI-V).....	32
2.3.8	Edinburgh Handedness Inventory (EHI) .....	32

---

2.3.9	Zahlengedächtnis .....	33
2.4	Magnetresonanztomographie .....	34
2.4.1	Grundlagen .....	34
2.4.2	Ablauf der Magnetresonanztomographie .....	34
2.5	Testbatterie (außerhalb der fMRT).....	37
2.5.1	Abfrage Resting State Vigilanz .....	37
2.5.2	Abfrage der fMRT-Wörter .....	37
2.5.3	Intelligenz: Bochumer Matrizentest (BOMAT) .....	37
2.5.4	Verarbeitungsgeschwindigkeit: Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT).....	39
2.5.5	Arbeitsgedächtnis: Zahlenspanne rückwärts .....	39
2.5.6	Kreativität: Alternative Uses .....	40
2.5.7	Arbeitsgedächtnis: dual-n-back .....	40
2.5.8	Deklaratives Gedächtnis: Wörter lernen / freie Wiedergabe / Wiedererkennen.....	40
2.5.9	Aufmerksamkeit: Psychomotor Vigilance Task (PVT).....	41
2.5.10	Visuelle Analogskala (VIS-ANA 1 bzw. 2) .....	42
2.5.11	Strategien .....	42
2.5.12	Telefonischer Retest Wörter .....	42
2.6	Training .....	43
2.6.1	Aufbau des dual-n-back-Trainings .....	43
2.6.2	Durchführung des dual-n-back-Trainings.....	44
2.6.3	Training der aktiven Kontrollgruppe .....	45
2.7	Nachtest .....	46
2.7.1	Intelligenz: Bochumer Matrizentest (BOMAT) .....	46
2.7.2	Deklaratives Gedächtnis: Wörter lernen / freie Wiedergabe .....	46
2.8	Statistische Analysen.....	47
2.8.1	Behaviorale Daten .....	47
2.8.2	Magnetresonanztomographie.....	48
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>49</b>
3.1	Dual-n-back-Training .....	49
3.2	Arbeitsgedächtnis: Zahlenspanne rückwärts .....	54

---

3.3	Intelligenz: Bochumer Matrizentest (BOMAT) .....	55
3.4	Verarbeitungsgeschwindigkeit: Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT) .....	56
3.5	Kreativität: Alternative Uses .....	57
3.6	Deklaratives Gedächtnis: Verbales Gedächtnis / Falsches Erinnern / Falsches Wiedererkennen .....	59
3.7	Inferenzstatistische Ergebnisse.....	63
3.8	Korrelationen.....	64
3.9	Magnetresonanztomographie .....	66
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>67</b>
4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	67
4.2	Trainingseffekte: Arbeitsgedächtnistraining .....	69
4.3	Transfereffekte: Naher Transfer und ferner Transfer.....	71
4.3.1	Naher Transfer .....	71
4.3.2	Ferner Transfer .....	72
4.4	Korrelationen.....	74
4.5	Magnetresonanztomographie .....	75
4.6	Diskussion der Studienbedingungen .....	76
4.6.1	Methodische Aspekte.....	76
4.6.2	Individuelle Unterschiede.....	77
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>80</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>82</b>
<b>7</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>90</b>
<b>8</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>92</b>
<b>9</b>	<b>Anhang: Probandeninformation .....</b>	<b>94</b>
<b>10</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>98</b>
<b>11</b>	<b>Eidesstattliche Versicherung .....</b>	<b>99</b>

# 1 Einleitung

2014 wurde die deutsche Fußball-Nationalmannschaft Weltmeister in Brasilien. Ganz Deutschland feierte ausgelassen! Die meisten Menschen stimmen sicherlich zu, dass zu so einer Leistung neben Talent auch viel Training notwendig ist. Dies wissen die meisten auch aus eigener Erfahrung – nur durch beständiges Training lassen sich Verbesserungen erzielen und Erfolge feiern – unabhängig von der ausgeübten Sportart. Doch wie schaut es mit der geistigen Leistungsfähigkeit aus – ist es auch hier wie auf körperlicher Ebene möglich, durch Training Verbesserungen zu erzielen? Die Antwort lautet eindeutig ja. Viele Gedächtnissportler belegen dies bei Gedächtniswettbewerben immer wieder beeindruckend. Ein Beispiel ist Boris Nikolai Konrad. Er ist Gedächtnis-Team-Weltmeister und mehrfacher Weltrekordhalter unter anderem im „Namen merken“ sowie im „Wörter merken“ und ist überzeugt: „Ein gutes Gedächtnis ist erlernbar“ (Konrad, 2013). Wie die körperliche Leistungsfähigkeit nimmt auch die geistige Leistungsfähigkeit im Laufe des Lebens und ohne Training immer weiter ab. Gerade in unserer leistungsorientierten Gesellschaft ist es daher sowohl für beruflichen Erfolg als auch für private Angelegenheiten von enormer Bedeutung, die kognitiven Funktionen zu verbessern bzw. so lange wie möglich aufrechtzuerhalten. Auch Personen mit eingeschränkten kognitiven Funktionen, zum Beispiel schizophrene Personen, Kinder mit Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätssyndrom (ADHS), Personen mit erlittenen Hirntraumata oder auch die in unserer Gesellschaft rasant zunehmende Anzahl dementer Menschen, könnten von einem kognitiven Training profitieren. Auf körperlicher Ebene ist es offensichtlich, dass durch Training meist nicht nur ein spezifischer Bereich trainiert wird, sondern mehrere Bereiche gleichzeitig profitieren. Um bei obigem Beispiel Fußball zu bleiben: Ein Fußballspieler trainiert gleichzeitig seine Muskulatur, insbesondere die Beinmuskulatur, und das Herz-Kreislaufsystem und damit seine Ausdauer. Das wird ihm auch in vielen anderen Sportarten zu besserer Leistung verhelfen, obwohl er diese nicht speziell trainiert hat.

Darauf Bezug nehmend möchte ich in meiner Dissertation unter anderem herausfinden, ob es auch auf geistiger Ebene eine kognitive Funktion gibt, durch deren Training sich andere kognitive Funktionen verbessern lassen. Im Speziellen: Ist es durch Arbeitsgedächtnistraining möglich, andere kognitive Funktionen (zum Beispiel Intelligenz, Verarbeitungsgeschwindigkeit, Kreativität oder auch das deklarative Gedächtnis) zu verbessern? Im Folgenden werde ich die oben erwähnten kognitiven Funktionen genauer betrachten.

„Ohne die bindende Macht des Gedächtnisses zerfiele unser Bewusstsein in so viele Splitter, als das Leben Augenblicke zählt“ (Hering, 1870). Mithilfe des Gedächtnisses sind wir in der Lage, Informationen zu speichern und wieder abzurufen. Wenn wir nicht wüssten, wie unser Leben bisher verlaufen ist, wer unsere Freunde sind oder wir uns nicht an den Inhalt des letzten Satzes erinnern könnten, dann wären wir nicht in der Lage, zusammenhängend zu denken, zielgerichtetes Verhalten zu zeigen oder soziale Beziehungen einzugehen (Schiebener & Brand, 2014). Das Gedächtnis spielt also eine herausragende Rolle in unserem Leben.

Nach der Dauer der Informationsspeicherung teilten Atkinson und Shiffrin das Gedächtnis in drei verschiedene Subsysteme ein (Atkinson & Shiffrin, 1968):

- Sensorisches Register: es hält Informationen für lediglich einige hundert Millisekunden aufrecht
- Kurzzeitgedächtnis: es speichert Informationen für etwa 30 Sekunden; die Kapazität gilt als begrenzt
- Langzeitgedächtnis: es speichert Informationen für Minuten, Jahre oder sogar ein Leben lang; die Kapazität gilt als unbegrenzt

In diesem Modell von Atkinson und Shiffrin stellt das Kurzzeitgedächtnis ein eher statisches und einheitliches System dar. 1974 wurde es durch das dynamische System des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley und Hitch ersetzt, worauf im Folgenden genauer eingegangen wird.

## 1.1 Arbeitsgedächtnis

Das Kurzzeitgedächtnis ist bereits ein sehr altes Konstrukt aus der kognitiven Psychologie. Weitaus mehr Beachtung findet zurzeit das Konzept des Arbeitsgedächtnisses. Mithilfe des Kurzzeitgedächtnisses kann vorübergehend eine begrenzte Menge an Information schnell abrufbar gespeichert werden. Um mit diesen Inhalten des Kurzzeitgedächtnisses mental arbeiten zu können, benötigen wir das Arbeitsgedächtnis (Cowan, 2008). Das Arbeitsgedächtnis ermöglicht uns also nicht nur, Informationen kurzzeitig zu speichern, aufrechtzuerhalten und zu wiederholen, sondern diese auch mental zu manipulieren und somit mit ihnen zu arbeiten. Um sich zum Beispiel Zahlen in einer bestimmten Reihenfolge merken zu können, reicht das Kurzzeitgedächtnis aus. Sollen die Zahlen allerdings gemerkt und anschließend rückwärts wiedergegeben werden, wird das Arbeitsgedächtnis benötigt (Schiebener & Brand, 2014).

Baddeley definiert das Arbeitsgedächtnis folgendermaßen:

„The theoretical concept of working memory assumes that a limited capacity system, which temporarily maintains and stores information, supports human thought processes by providing an interface between perception, long-term memory and action (Baddeley A. , 2003).

Eine weitere Beschreibung des Arbeitsgedächtnisses lautet:

„Working memory (WM), the ability to store and manipulate information for short periods of time, is an important predictor of scholastic aptitude and a critical bottleneck underlying higher-order cognitive processes, including controlled attention and reasoning” (Au, et al., 2015).

In beiden Definitionen wird deutlich, dass das Arbeitsgedächtnis eine wichtige Rolle in der Informationsverarbeitung spielt, die Kapazität allerdings begrenzt ist. Mittlerweile gibt es viele verschiedene Arbeitsgedächtnismodelle. Auf die aktuell bedeutendsten Modelle wird nun genauer eingegangen.



### 1.1.1 Das Multikomponentenmodell von Baddeley und Hitch

1974 stellten Baddeley und Hitch die erste Version ihres Arbeitsgedächtnismodells (Baddeley & Hitch, 1974) vor. Dieses Modell bestand aus drei Komponenten, nämlich den beiden Speichersystemen visuell-räumlicher Notizblock (visuo-spatial sketchpad) und phonologische Schleife (phonological loop) sowie der zentralen Exekutive (central executive). Der visuell-räumliche Notizblock speichert visuell-räumliche nonverbale Informationen, die phonologische Schleife verbale Informationen. Die zentrale Exekutive kontrolliert beide Speichersysteme.

2000 wurde das Modell um den episodischen Puffer (episodic buffer) ergänzt. Dieser stellt eine Verbindung zum Langzeitgedächtnis dar und wird auch von der zentralen Exekutive kontrolliert, siehe Abbildung 1 (Baddeley A., 2000).

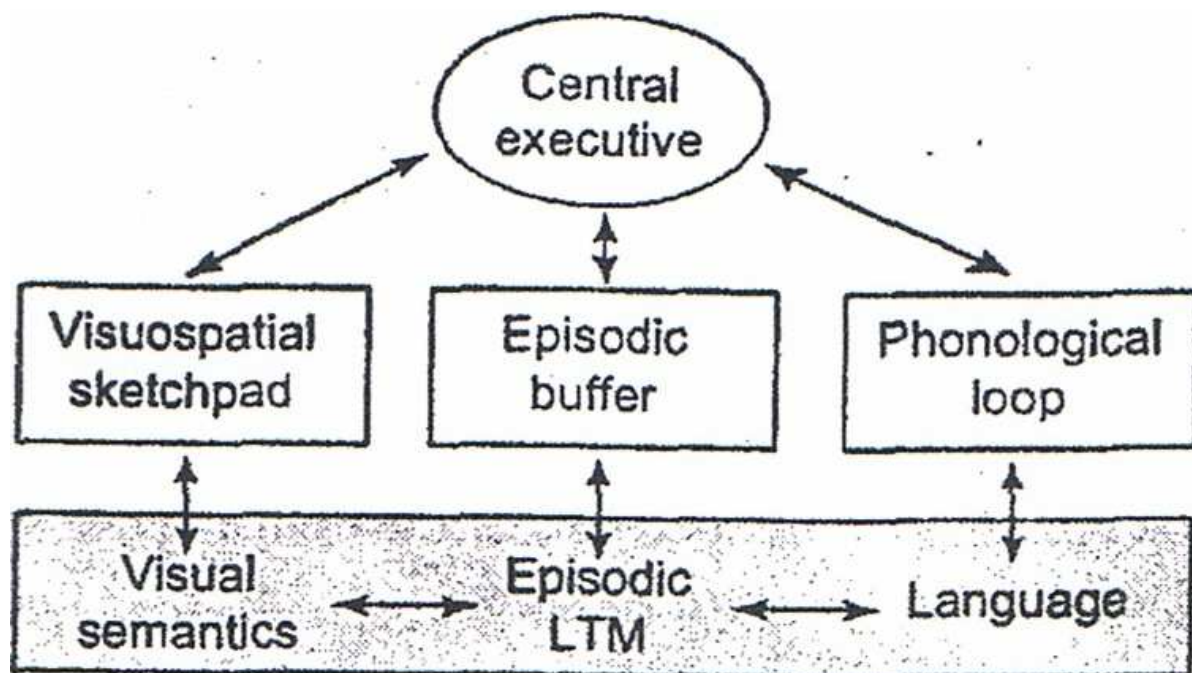


Abbildung 1: Aktuelle Version des Multikomponentenmodells. Der episodische Puffer stellt eine temporäre Schnittstelle zwischen den Speichersystemen und dem Langzeitgedächtnis (LTM) dar. Der visuell-räumliche Notizblock, der episodische Puffer und die phonologische Schleife werden von der zentralen Exekutive kontrolliert. Die drei Komponenten stehen mit kristallinen Strukturen, wie dem Langzeitgedächtnis (LTM), in Verbindung (Baddeley A., 2000).

### 1.1.2 Das Embedded-Process-Model von Cowan

Cowan definiert das Arbeitsgedächtnis als kognitive Prozesse, die Informationen in leicht zugänglicher Form halten, um damit jegliche Aufgaben mit einer kognitiven Komponente lösen zu können (Cowan, 1999). In dem Arbeitsgedächtnismodell von Cowan sind Langzeitgedächtnis, aktiviertes Gedächtnis und der Fokus der Aufmerksamkeit hierarchisch angeordnet. Der Fokus der Aufmerksamkeit und das aktivierte Gedächtnis, also das Arbeitsgedächtnis, sind in das Langzeitgedächtnis eingebettet. Sämtliche Informationen sind im Langzeitgedächtnis gespeichert. Durch Reize wird ein Teil dieser Information aktiviert und somit der Verarbeitung zugänglich. Wiederum nur ein kleiner Teil dieser aktivierten Information gelangt in den Fokus der Aufmerksamkeit. Worauf wir unsere Aufmerksamkeit richten, wird entweder willentlich durch die zentrale Exekutive gesteuert oder automatisch durch besondere Reize. Der Fokus der Aufmerksamkeit ist in seiner Kapazität begrenzt (Cowan, 1999).

### 1.1.3 Das Arbeitsgedächtnismodell von Engle

Das Modell von Engle befasst sich mit der Arbeitsgedächtnisleistung und untersucht insbesondere die interindividuellen Unterschiede (Engle, Kane, & Tuholsky, 1999; Engle, 2002). Wie Baddeley und Hitch (1974) geht auch Engle in seinem Modell davon aus, dass Informationen in Speichersystemen verarbeitet werden. Die Informationsverarbeitung findet aber nicht wie bei dem Modell von Baddeley und Hitch in gebietsspezifischen Speichersystemen (phonologische Schleife oder visuell-räumlicher Notizblock) statt, sondern ist auf zahlreiche gebietsfreie Speichersysteme verteilt.

Laut Cowan ist die Arbeitsgedächtniskapazität in ihrer Größe begrenzt (Cowan, 1999). Im Gegensatz dazu ist bei Engle die Arbeitsgedächtniskapazität davon abhängig, wie gut die Aufmerksamkeit kontrolliert werden kann trotz Ablenkung oder Interferenz (Engle et al., 1999). In experimentellen Untersuchungen konnte Engle Zusammenhänge zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und der fluiden Intelligenz sowie anderer höherer kognitiver Funktionen, wie zum Beispiel dem logischen Denken, feststellen (Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999).

## 1.2 Intelligenz

Der Begriff der Intelligenz ist alles andere als klar definiert. Bis heute gibt es noch keine allgemein akzeptierte Definition der Intelligenz. Eine mögliche Definition der „Intelligenz“, formuliert von 52 Intelligenzforschern, lautet: „Intelligenz ist ein sehr allgemeines geistiges Potenzial, das unter anderem die Fähigkeit zum schlussfolgernden Denken, zum Planen, zur Problemlösung, zum abstrakten Denken, zum Verständnis komplexer Ideen, zum schnellen Lernen und zum Lernen aus Erfahrung umfasst. Es ist nicht reines Bücherwissen, keine enge akademische Spezialbegabung, keine Testerfahrung. Vielmehr reflektiert Intelligenz ein breites und tieferes Vermögen, unsere Umwelt zu verstehen, zu ‚kapieren‘, ‚Sinn in Dingen zu erkennen‘ oder ‚herauszubekommen, was zu tun ist‘ (Gottfredson, 1997).“ Im Folgenden sollen die wichtigsten Intelligenzmodelle beschrieben werden.

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

Bereits 1904 entwickelte Spearman seine Zwei-Faktoren-Theorie der Intelligenz (Spearman, 1904). Spearman ging davon aus, dass es einen Generalfaktor (g-factor) gibt, der allen Intelligenztestaufgaben zugrunde liegt und somit am besten das individuelle intellektuelle Niveau wiedergibt. Zusätzlich gibt es spezifische Faktoren (s-factors), die die Leistung in spezifischen Bereichen, wie verbale oder mathematische Aufgaben, wiedergeben und voneinander unabhängig sind (Funke & Vaterrodt, 2009).

### 1.2.2 Das Primärfaktorenmodell

Thurstone ging nicht von einem generellen Intelligenzfaktor wie Spearman aus. Er ging in seinem Primärfaktorenmodell davon aus, dass mehrere, unabhängige Faktoren existieren, die in ihrer Gesamtheit die Intelligenz ergeben (Thurstone, 1938). Thurstone entwickelte sieben Primärfaktoren (Sprachverständnis, Wortflüssigkeit, schlussfolgerndes Denken, räumliches Vorstellungsvermögen, Gedächtnis, Rechenfähigkeit, Wahrnehmungsgeschwindigkeit). Später gab Thurstone zu, dass zwischen den Primärfaktoren doch positive Korrelationen bestehen, so dass er nun doch einen übergeordneten Generalfaktor g anerkannte (Rost, 2009).

### 1.2.3 Die Theorie der fluiden und kristallinen Intelligenz

Die Zwei-Faktoren-Theorie von Spearman wurde von Cattell abgeändert (Cattell, 1963). Cattell ging von zwei Intelligenzfaktoren aus, der fluiden Intelligenz (Gf) und der kristallinen Intelligenz (Gc).

Bei der fluiden Intelligenz (Gf) handelt es sich um eine komplexe menschliche Fähigkeit, die es uns ermöglicht, uns an neue kognitive Probleme oder neue kognitive Situationen anzupassen (Carpenter, Just, & Shell, 1990). Die fluide Intelligenz spielt eine große Rolle bei vielen kognitiven Aufgaben (Gray & Thompson, 2004), ist eine der wichtigsten Faktoren fürs Lernen und bedeutend für Berufs- und Bildungserfolg (Neisser et al., 1996; Rohde & Thompson, 2007). Ferner hat die fluide Intelligenz eine starke erbliche Komponente und ist durch Erziehung und Sozialisation nur schwer zu beeinflussen (Gray & Thompson, 2004; Cattell, 1963).

Die kristalline Intelligenz hat eine starke umweltbedingte Komponente und beruht insbesondere auf dem individuellen Lernen (Funke & Vaterrodt, 2009). Sie umfasst sowohl faktisches Wissen (zum Beispiel Berlin ist die Hauptstadt von Deutschland) als auch prozedurales Wissen (zum Beispiel Fahrradfahren). Sie entwickelt sich im Laufe des Lebens und ist von Übung und Interesse und zum Teil auch von der fluiden Intelligenz abhängig (Rost, 2009).

### 1.2.4 Das Structure-of-Intellect-Model

Guilford geht in seinem Modell nicht davon aus, dass die Intelligenz auf einem Generalfaktor beruht, sondern, dass sie sich aus vielfältigen unabhängigen Einzelfaktoren zusammensetzt (Guilford, 1985). Kognitive Komponenten können in drei verschiedenen Dimensionen beschrieben werden: erstens den intellektuellen Operationen (zum Beispiel Kognition, Gedächtnis oder divergentes Denken), zweitens den Inhalten (zum Beispiel auditiver, visueller, symbolischer oder verhaltensbezogener Natur) und drittens den Produkten intelligenten Verhaltens (zum Beispiel Einheiten, Klassen oder Beziehungen) (Dresler & Baudson, 2008). Die empirische Absicherung des Modells weist jedoch Schwächen auf. Einige Einzelfaktoren sind nicht nachweisbar gewesen und auch steht immer noch keine standardisierte Testbatterie zur Erfassung der einzelnen Faktoren zur Verfügung (Funke & Vaterrodt, 2009).

### 1.2.5 Arbeitsgedächtnis und Intelligenz

Das Arbeitsgedächtnis und die fluide Intelligenz sind zwei sehr ähnliche, aber dennoch verschiedene Konstrukte des menschlichen Intellekts. Beide sind in ihrer Kapazität begrenzt und teilen gemeinsame Nervenbahnen in den frontalen und parietalen Gehirnregionen (Conway, Cowan, Bunting, Theriault, & Minkoff, 2002; Owen, McMillan, Laird, & Bullmore, 2005). Das Arbeitsgedächtnis umfasst Prozesse wie das Speichern, Aufrechterhalten und Manipulieren von Informationen. Die fluide Intelligenz hingegen umfasst höhere kognitive Funktionen, wie die Fähigkeit zum schlussfolgernden Denken, zum Planen, zum Problemlösen, zum abstrakten Denken oder zum Verständnis komplexer Ideen (Gottfredson, 1997). Beide sind wichtig für die allgemeine Intelligenz und auch für schulischen, beruflichen und persönlichen Erfolg (Gottfredson, 1997). Lange Zeit herrschte die Meinung, dass das Arbeitsgedächtnis und die fluide Intelligenz relativ stabile fixe Größen seien (Klingberg, 2010). Miller postulierte 1956, dass das Arbeitsgedächtnis in seiner Kapazität begrenzt sei. Die Arbeitsgedächtniskapazität betrage  $7 \pm 2$  Informationseinheiten und sei durch Training nicht zu beeinflussen (Miller, 1956). Die Leistungsfähigkeit dieser beiden kognitiven Konstrukte würde im Laufe des Lebens zwar abnehmen, eine Verbesserung nach der Adoleszenz sei aber nicht möglich (Chuderski, 2013). Mittlerweile gibt es aber einige Studien, die diese Meinung in Frage stellen (Klingberg, 2010; Lövdén, Lindenberger, Schaefer, Bäckman, & Schmiedek, 2010). Aufgrund der enormen Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses und der fluiden Intelligenz für das tägliche Leben und der möglichen Plastizität dieser Fähigkeiten über die Adoleszenz hinaus (Lövdén et al., 2010), ist es von großem Wert sich mit diesem Thema genauer zu beschäftigen.

## 1.3 Weitere kognitive Funktionen

### 1.3.1 Verarbeitungsgeschwindigkeit (mental speed)

In der mental speed-Theorie nimmt man an, dass die Geschwindigkeit, mit der Information verarbeitet wird, ein Basisprozess der Intelligenz ist (Jensen, 1982). Man nimmt erstens an, dass das kognitive System bei höherer Verarbeitungsgeschwindigkeit weniger wahrscheinlich überladen wird und somit bei der Verarbeitung von Informationen weniger Fehler auftreten und zweitens, dass durch schnellere Verarbeitung von Information allgemein mehr Information aufgenommen werden kann. Im Laufe der Zeit bewirke dies erhebliche Unterschiede im Wissen und in den Fähigkeiten (Neubauer, 1995).

### 1.3.2 Kreativität

Im Alltag und auch in der Wissenschaft wird der Begriff „Kreativität“ häufig verwendet. Wie auch schon der Begriff der „Intelligenz“ ist auch die „Kreativität“ alles andere als klar und allgemein anerkannt definiert. Simonton betont, „Kreativität zu besitzen, sei eine gute Eigenschaft“ (Simonton, 2000). Sehr häufig wird die Kreativität als Fähigkeit definiert, etwas Originelles, Neuartiges zu produzieren. Gleichzeitig muss ein kreatives Produkt aber auch brauchbar, wertvoll und realisierbar sein (Sternberg & Lubart, 1996). Lange Zeit galt die Kreativitätsforschung als Teilgebiet der Intelligenzforschung. Guilford legte schließlich den Grundstein für die moderne Kreativitätsforschung (Guilford, 1950). Guilford ist der Meinung, dass jeder Mensch kreativ sein kann, wenn er nur entsprechend gefördert wird und stellte sich die Frage, was die Eigenschaften kreativer Personen sind und beschrieb folgende: erstens die Sensitivität gegenüber Problemen, das heißt Kreative finden eher verschiedene Erklärungen für bestimmte Fragestellungen oder Probleme. Zweitens die Ideenflüssigkeit, das heißt Kreative können in kurzer Zeit viele verschiedene Ideen hervorbringen. Drittens die Originalität, das heißt Kreative sind in der Lage ungewöhnliche, einzigartige Ideen zu erzeugen. Und viertens die Flexibilität, das heißt Kreative sind fähig neue Denkweisen zu entwickeln (Guilford, 1950; Dresler & Budson, 2008). Anhand dieser vier Eigenschaften war es nun möglich Kreativität zu erfassen bzw. zu messen (siehe 2.5.6).

### 1.3.3 Deklaratives Gedächtnis

Das deklarative Gedächtnis ist ein Teil des Langzeitgedächtnisses. Die im deklarativen Gedächtnis gespeicherten Inhalte sind dem Bewusstsein zugänglich. Tulving unterteilte das deklarative Gedächtnis in das episodische Gedächtnis und das semantische Gedächtnis (Tulving, 1972). Im episodischen Gedächtnis sind persönliche Erlebnisse gespeichert, also Wissen aus der eigenen Vergangenheit. Das semantische Gedächtnis enthält allgemeines, von der Person unabhängiges Wissen. Aufgrund einer möglichen Interaktion von Arbeitsgedächtnis- und deklarativen Gedächtnisprozessen (Burgess & Hitch, 2005) besteht großes Interesse daran, die Effekte eines Arbeitsgedächtnistrainings auf das verbale deklarative episodische Gedächtnis genauer zu untersuchen.

## 1.4 Arbeitsgedächtnistraining und Transfer

Initiierend für neuronale Plastizität sind einerseits Veränderungen in der funktionellen Kapazität (z.B. nach Hirnverletzung) und andererseits Veränderungen in den Anforderungen an die funktionelle Kapazität (z.B. durch kognitives Training). Solche Veränderungen induzieren allerdings nur neuronale Plastizität, wenn ein Missverhältnis zwischen dem Angebot in Form der funktionellen Kapazität des Systems und den Anforderungen besteht. Zu einem Missverhältnis kommt es auf zwei Wegen: höhere Anforderungen als die verfügbare Kapazität oder höher verfügbare Kapazität als die gegenwärtigen Anforderungen (Lövdén et al., 2010). Um eine bestimmte Fähigkeit, wie zum Beispiel das Arbeitsgedächtnis, verbessern zu können, ist es daher wichtig, dass sich die Schwierigkeit einer Trainingsaufgabe der Leistung des jeweiligen Probanden anpasst. Bei der dual-n-back-Trainingsaufgabe (siehe 2.6.1) handelt es sich um eine solche adaptive Trainingsaufgabe. Hierbei werden dem Probanden simultan ein auditiver und ein visuell-räumlicher Stimulus präsentiert. Die Aufgabe besteht darin, für jeden Stimulus zu entscheiden, ob der gegenwärtige Stimulus mit dem Stimulus, der n Stellen zuvor gezeigt wurde, übereinstimmt. Je höher das n ist, desto schwieriger ist die Aufgabe (näheres siehe 2.6.1). Über die kognitiven Prozesse, die die Leistung in der n-back-Aufgabe vermitteln und die für einen möglichen Transfer (siehe unten) verantwortlichen Prozesse ist allerdings wenig bekannt. Dennoch wird die n-back-Aufgabe allgemein als Arbeitsgedächtnisaufgabe anerkannt (Jaeggi, et al., 2010). Das Arbeitsgedächtnis wird als zentrale Komponente der generellen Kognition angesehen, stellt also eine Art Grundlage für höhere kognitive Funktionen, wie zum Beispiel die fluide Intelligenz, dar (Cowan et al., 2005; Engle et al., 1999; Oberauer, Schulze, Wilhelm, & Süß, 2005; Wiley, Jarosz, Cushen, & Colflesh, 2011). Daher nahm das Interesse zu erforschen, ob durch ein Arbeitsgedächtnistraining ein Transfer auf andere kognitive Funktionen, wie die fluide Intelligenz oder die Verarbeitungsgeschwindigkeit, zu beobachten ist, in den letzten Jahren rasant zu. Wenn sich dies bestätigen würde, hätte dies erhebliche Auswirkungen auf schulischen, beruflichen und persönlichen Erfolg (Gottfredson, 1997).

Doch was versteht man eigentlich unter Transfer? Allgemein spricht man von Transfer bei der Übertragung von Lerneffekten von einer trainierten Aufgabe auf eine neue, nicht trainierte Aufgabe (Klauer, 1993). Bei Verbesserung in der trainierten Aufgabe spricht man nicht von Transfer. Chase und Ericsson berichteten 1982 von einem Probanden, der sich im Laufe des Trainings einer adaptiven Spannaufgabe (Zahlen merken) sehr verbesserte. Er



hatte eine Strategie entwickelt, die er nach Veränderung der Testbedingungen allerdings nicht mehr nutzen konnte. Eine verbesserte Leistung in einer trainierten Aufgabe bedeutet keine Zunahme der Arbeitsgedächtniskapazität (Chase & Ericsson, 1982; Shipstead, Redick, & Engle, 2012). Es muss also gezeigt werden, dass es durch das Training zu einem Transfer auf untrainierte Aufgaben kommt (Barnett & Ceci, 2002; Klingberg, 2010).

Weiterhin wird zwischen nahem und fernem Transfer unterschieden. Bei einer Verbesserung in Aufgaben, die der trainierten Aufgabe ähnlich sind, spricht man von nahem Transfer. Ein Beispiel wäre eine Leistungssteigerung in Aufgaben, die die Arbeitsgedächtniskapazität zu messen beabsichtigen, nach Arbeitsgedächtnistraining. Im Gegensatz dazu spricht man von fernem Transfer, wenn sich trainierte und nicht-trainierte Aufgaben unterscheiden. Ein Beispiel hierfür wäre die Verbesserung bestimmter kognitiver Funktionen, wie der fluiden Intelligenz oder der Verarbeitungsgeschwindigkeit, nach Arbeitsgedächtnistraining (Shipstead et al., 2012).

Für ein effektives Arbeitsgedächtnistraining halten Jaeggi et al. folgende Faktoren für sinnvoll, um Transfer zu erhalten (Jaeggi et al., 2010): Erstens sollten die Trainings- und die Transferaufgaben überlappende kognitive Prozesse aufweisen. Es ist einleuchtend, dass das Training eines bestimmten neuronalen Schaltkreises zu Transfer auf andere Aufgaben führen könnte, die ähnliche oder zumindest überlappende neuronale Schaltkreise aufweisen. Werden verschiedene Gehirnregionen beansprucht, kommt kein Transfer zustande (Jaeggi et al., 2010). Zweitens sollten die Probanden möglichst keine aufgaben-spezifischen Strategien lernen, um zu verhindern, dass spezifische Fertigkeiten trainiert werden. Strategien könnten das Ergebnis einer Person in einem Arbeitsgedächtnistest verbessern, dies ist jedoch von einer Veränderung einer nicht-trainierten Fähigkeit abzugrenzen (Shipstead et al., 2012; Klingberg, 2010). Drittens sollte das Training sich der Leistung der Probanden anpassen, so dass die Probanden immer gefordert sind und es weder langweilig ist noch überfordernd. Wie oben beschrieben sollten die Probanden immer an der individuellen Leistungsgrenze trainieren, um neuronale Plastizität und damit Verbesserung kognitiver Fähigkeiten zu ermöglichen. Das Informationsverarbeitungssystem soll maximal gefordert werden. Das dual-n-back-Trainingsparadigma ist eine Aufgabe, die die vorgenannten Forderungen erfüllt (Jaeggi et al., 2010).

## 1.5 Aktuelle Studienlage zum Transfer

In den letzten Jahren sind zahlreiche Studien durchgeführt worden, die der Frage nachgingen, ob es durch Arbeitsgedächtnistraining tatsächlich möglich ist, höhere kognitive Funktionen, wie zum Beispiel die fluide Intelligenz, positiv zu beeinflussen.

Die Bandbreite der für diese Studien rekrutierten Probanden reicht von Kindern über junge Erwachsene bis hin zu älteren Erwachsenen. Die meisten Studien wurden mit gesunden Probanden durchgeführt. Doch es wurden auch gezielt Probanden mit bestimmten Krankheitsbildern für Arbeitsgedächtnisstudien rekrutiert, darunter Schizophrenie, Schlaganfall/Hirntraumata, Multiple Sklerose oder auch Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätssyndrom (ADHS) (Shipstead et al., 2012). Auch die für das Arbeitsgedächtnistraining verwendeten Aufgaben und die kognitiven Funktionen, die man durch das Training zu verbessern versuchte, sind äußerst vielfältig.

In mehreren Studien mit jungen gesunden Erwachsenen konnte ein naher Transfer gezeigt werden. Das dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining führte nicht nur zu einer Verbesserung in der trainierten dual-n-back-Aufgabe, sondern auch zu einer Verbesserung in Arbeitsgedächtnisaufgaben, die nicht trainiert wurden (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Perrig, 2008; Seidler et al., 2010; Schweizer, Hampshire, & Dalgleish, 2011). Jaeggi et al. (2008) konnten positive Effekte auf die Digit-Span-Task nachweisen, jedoch nicht auf die Reading-Span-Task. Seidler et al. (2010) zeigten signifikante Verbesserungen in der Operation-Span-Task und einen Trend in der Card-Rotation-Task. Die Probanden der von Schweizer et al. (2011) durchgeführten Studie verbesserten sich signifikant in der Digit-Span-Task. Das dual-n-back-Training scheint also eine effektive Aufgabe zu sein, nahen Transfer auf nicht-trainierte Arbeitsgedächtnisaufgaben zu bewirken. Noch bedeutender ist allerdings, ob das dual-n-back-Training auch effektiv genug ist, um fernen Transfer auf höhere kognitive Funktionen zu bewirken. Einige Studien konnten einen fernen Transfer (Jaeggi et al., 2008; Jaeggi et al., 2010; Schweizer et al., 2011; Rudebeck, Bor, Ormond, O'Reilly, & Lee, 2012; Au et al., 2015) nach dual-n-back-Training zeigen. 2008 und 2010 konnten Jaeggi et al. in ihren Studien eine signifikante Verbesserung der fluiden Intelligenz zeigen. Je länger die Probanden trainierten, desto mehr verbesserten sie sich. Der Effekt scheint also von der Trainingsdosis abzuhängen (Jaeggi et al., 2008; Jaeggi et al., 2010). Auch Schweizer et al. (2011), Rudebeck et al. (2012) und Au et al. (2015) konnten eine Verbesserung der fluiden Intelligenz nach Arbeitsgedächtnistraining feststellen. Die Probanden der von Rudebeck et al. (2012)

durchgeführten Studie verbesserten sich neben der fluiden Intelligenz auch im episodischen Gedächtnis. Die Probanden, die vor dem Training eine vergleichsweise niedrige fluide Intelligenz aufwiesen, konnten sich stärker in der fluiden Intelligenz verbessern (Rudebeck et al., 2012). Au et al. (2015) führten eine Metaanalyse durch, in die sie 20 Studien einschlossen. Einschlusskriterien waren ein n-back-Arbeitsgedächtnistraining mit Messung der fluiden Intelligenz und junge, gesunde Erwachsene zwischen 18 und 50 Jahren. Es zeigte sich ein kleiner, aber statistisch signifikanter positiver Effekt des n-back-Arbeitsgedächtnistrainings auf die fluide Intelligenz.

Betrachtet man nur die oben erwähnten Studien scheint das dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining also neben einem nahen Transfer auch einen fernen Transfer, insbesondere auf die fluide Intelligenz bewirken zu können. Die Mechanismen, die den Transfer nach dem Arbeitsgedächtnistraining bewirken, bleiben allerdings unklar (Shipstead et al., 2012; Morrison & Chein, 2011).

Doch mittlerweile existieren auch einige Studien, die keinen Transfer nach einem dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining (Redick et al., 2013; Thompson et al., 2013; Colom et al., 2013; Chooi & Thompson, 2012) zeigen konnten. Die Probanden der von Redick et al. durchgeführten Studie konnten sich zwar in der trainierten dual-n-back-Aufgabe steigern, ein Transfer auf die fluide Intelligenz, das Multitasking, die Arbeitsgedächtniskapazität, die kristalline Intelligenz oder die Verarbeitungsgeschwindigkeit zeigte sich aber nicht (Redick et al., 2013). Chooi & Thompson wollten mit ihrer 2012 durchgeführten Studie die Ergebnisse von Jaeggi et al. (2008; 2010) replizieren. Die Probanden verbesserten sich in der dual-n-back-Trainingsaufgabe, im Gegensatz zu Jaeggi et al. führte das Training zu keiner signifikanten Verbesserung der fluiden Intelligenz oder der Arbeitsgedächtniskapazität. Zwei weitere Beispiele für Studien, die keinen Transfer finden konnten, sind die Studien von Colom et al. (2013) und Thompson et al. (2013). Anhand dieser exemplarisch erwähnten Studien wird deutlich, dass einige Studien von Transfereffekten nach n-back-Arbeitsgedächtnistraining berichten (Jaeggi et al., 2008; Jaeggi et al., 2010; Seidler et al., 2010; Schweizer et al., 2011; Rudebeck et al., 2012; Au et al., 2015), während andere keine Transfereffekte finden konnten (Chooi & Thompson, 2012; Colom et al., 2013; Thompson et al., 2013; Redick et al., 2013). Hier stellt sich nun die Frage nach den Ursachen für diese unterschiedlichen Ergebnisse.

Ursächlich für diese unterschiedlichen Ergebnisse könnten ungleiche Studienbedingungen sein. Zu berücksichtigen sind hierbei einerseits individuelle Unterschiede und andererseits experimentelle Konditionen (Jaeggi S. M., Buschkuhl, Shah, & Jonides, 2014).

Individuelle Unterschiede, die die Effektivität des Trainings beeinflussen könnten, sind das Alter, die Persönlichkeit, aber auch Motivation, präexistierende Fähigkeiten, der „need for cognition“ oder implizite Theorien der Intelligenz (Jaeggi et al., 2014). Ist die Motivation für die Teilnahme an der Studie hauptsächlich ein finanzieller Aspekt, also dass man für die Studienteilnahme Geld erhält oder ist die Hauptmotivation durch das Training seine kognitiven Fähigkeiten verbessern und für das weitere Leben profitieren zu können? Auch der „need for cognition“ könnte eine wesentliche Rolle spielen. Individuen, denen es Spaß macht, sich mit herausfordernden kognitiven Aufgaben zu beschäftigen, werden möglicherweise von dem Training mehr profitieren als Individuen, die es als Pflicht ansehen. Mittlerweile herrscht weitgehend übereinstimmend Konsens darüber, dass 50-80% der Varianz in der Intelligenz erblich bedingt sind, was aber nichts über die Trainierbarkeit von Intelligenz aussagt (Spinath, 2011). Dennoch werden die Probanden, die eine Verbesserung der Intelligenz durch das Training nicht für möglich halten, mit weniger Erwartung an das Training herangehen als diejenigen, die daran glauben durch das Training die Intelligenz positiv beeinflussen zu können (Jaeggi et al., 2014). Neben den individuellen Unterschieden könnten auch experimentelle Konditionen, wie die absolvierte Trainingszeit, die Überwachung des Trainingsfortschritts oder auch das Feedback Einfluss auf die Trainingseffekte haben (Jaeggi et al., 2014).

Laut Shipstead et al. (2012) sollte man bei der Beschäftigung mit Studien, die sich dem Arbeitsgedächtnistraining widmen, folgendes berücksichtigen: Die meisten Studien verwenden nur einen Test, um einen Transfereffekt auf eine kognitive Funktion zu bestimmen. Durch das Training könnten bestimmte Fertigkeiten trainiert werden, die auch für die Testaufgabe benötigt werden und dadurch könnte es zu einer Verbesserung auch in der Testaufgabe kommen. Es wäre falsch von Transfer zu sprechen. Daher wäre die Aussagekraft höher, wenn der Transfer auf eine kognitive Funktion anhand mehrerer Tests geprüft werden würde, die zwar dieselbe kognitive Funktion messen, sich allerdings in peripheren Aspekten unterscheiden (Shipstead et al., 2012). Weiterhin sollte bei einem adaptiven Arbeitsgedächtnistraining auch eine adaptive Kontrollgruppe verwendet werden, um möglichst zuverlässig Test-Retest-Effekte und Placebo-/Hawthorne Effekte zu kontrollieren (Shipstead et al., 2012). Ebenso sollte auf subjektive Berichte zur Messung des Transfers verzichtet werden. Die subjektiven Erwartungen durch das Training würden die Ergebnisse verfälschen (Shipstead et al., 2012).

Es bleibt unklar, ob ein dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining Verbesserungen des Arbeitsgedächtnisses und/oder anderer kognitiver Funktionen, wie der fluiden Intelligenz, bewirken kann, für welche Personen es besonders effektiv ist und welche Mechanismen einem möglichen Transfer zugrunde liegen.

## 1.6 Fragestellung

Das Ziel der vorliegenden experimentellen Studie ist, die nahen und fernen Transfereffekte eines dual-n-back-Arbeitsgedächtnistrainings und Faktoren, die das Training bzw. den Transfer beeinflussen könnten, zu untersuchen. Bei dem dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining werden dem Probanden simultan ein auditiver und ein visuell-räumlicher Stimulus präsentiert. Die Aufgabe besteht darin, für jeden Stimulus zu entscheiden, ob der gegenwärtige Stimulus mit dem Stimulus, der n Stellen zuvor gezeigt wurde, übereinstimmt. Je höher das n ist, desto schwieriger ist die Aufgabe. Von nahem Transfer spricht man bei einer Verbesserung in Aufgaben, die der trainierten Aufgabe ähnlich sind. Ferner Transfer liegt vor, wenn sich trainierte und nicht-trainierte Aufgaben unterscheiden. Als Probanden fungierten gesunde, junge Erwachsene, die auf drei Gruppen verteilt wurden. Die Trainingsgruppe absolvierte ein 40-tägiges tägliches dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining, die aktive Kontrollgruppe ein 40-tägiges tägliches Langzeitgedächtnistraining und die passive Kontrollgruppe kein Training. Um Transfereffekte zu untersuchen, bearbeiteten die Gruppen vor und nach dem Training bzw. nach der freien Zeit eine identische Testbatterie.

Es wurden folgende Hypothesen getestet:

### 1. Trainingseffekte

- Die Trainingsgruppe verbessert sich im Laufe des dual-n-back-Arbeitsgedächtnistrainings in der trainierten Aufgabe (n-back-Mittelwert und n-back-Maximalwert).
- Die Trainingsgruppe verbessert sich vom ersten zum zweiten Messtermin stärker in der dual-n-back-Aufgabe als die beiden Kontrollgruppen (n-back-Mittelwert und n-back-Maximalwert).

### 2. Transfereffekte

- Die Trainingsgruppe verbessert sich vom ersten zum zweiten Messtermin stärker in der nicht-trainierten Arbeitsgedächtnisaufgabe als die beiden Kontrollgruppen (naher Transfer).

- Die Trainingsgruppe verbessert sich vom ersten zum zweiten Messtermin stärker in der fluiden Intelligenz als die beiden Kontrollgruppen (ferner Transfer).
- Explorativ wird zudem getestet, ob sich die Trainingsgruppe vom ersten zum zweiten Messtermin stärker in den Tests weiterer kognitiver Funktionen verbessert als die beiden Kontrollgruppen.

### 3. Korrelationen

- Es gibt einen Zusammenhang zwischen der im Screening gemessenen Intelligenz und der Leistung in der trainierten dual-n-back-Aufgabe (n-back-Mittelwert und n-back-Maximalwert).
- Es gibt einen Zusammenhang zwischen der im Screening gemessenen Intelligenz und dem Leistungszuwachs im BOMAT nach n-back-Training.

### 4. Magnetresonanztomographie

- Es werden signifikante Unterschiede in der grauen Substanz nach der Trainingsphase im Vergleich zum Ausgangsniveau gefunden.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Probanden

Die Probandenrekrutierung erfolgte durch Aushänge in München (Mensa, Studentenwohnheime, Bibliotheken) und E-Mails an mehrere Fachschaften, um Probanden unterschiedlichster Studienrichtungen und Berufsgruppen zu erhalten. Teilnehmen konnten ausschließlich männliche Personen im Alter zwischen 18 und 30 Jahren mit Deutsch als Muttersprache. Ausschlusskriterien waren psychiatrische oder chronische somatische Erkrankungen wie Depression, Psychose oder Epilepsie, Links-/Beidhändigkeit, Schichtdienst, Drogenkonsum, regelmäßiges Rauchen, übermäßiger Alkoholkonsum sowie die regelmäßige Einnahme von zentral wirksamen Medikamenten. Des Weiteren durften die Probanden keine Erfahrungen in Gedächtnistraining oder Mnemotechniken vorweisen. Da einige Tests in der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) stattfanden, durften keine Kontraindikationen gegen eine Magnetresonanztomographie bestehen, wie Platzangst, nicht-MRT-tauglicher Herzschrittmacher, metallhaltige Tätowierungen, ferromagnetische Teile im Körper sowie eine gesteigerte Lärmempfindlichkeit. Abbruchkriterien waren das Nichteinhalten des täglich geforderten Trainings sowie ein Zufallsbefund in der Magnetresonanztomographie, wie Hirntumor oder Hirnzyste (siehe Tabelle 1).

<b>Einschlusskriterien:</b>	<b>Ausschlusskriterien:</b>
männlich	psychiatrische/sonstige Erkrankungen
18-30 Jahre alt	Links-/Beidhändigkeit
Muttersprache Deutsch	Schichtdienst
	Drogen-/Medikamentenkonsum
	regelmäßiges Rauchen
	Erfahrungen in Mnemotechniken
	Kontraindikationen gegen fMRT

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien

Orientiert an vergleichbaren Studien nahmen 51 Probanden an meiner Studie teil. Das Screening (siehe 2.3) wurde solange durchgeführt, bis sich drei Gruppen zu je 17 Probanden ergaben. Zum ersten Messtermin wurden 54 Probanden eingeladen, 3 davon konnten die Studie aber nicht vollenden. Ein Proband erlitt in der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) eine Panikattacke, bei einem Probanden wurde eine Hirnzyste im fMRT festgestellt und ein Proband brach das Arbeitsgedächtnistraining in der ersten Woche aus unbekanntem Gründen ab. 51 Probanden durchliefen die komplette Studie.

Anhand der Ergebnisse des Screenings wurden die Probanden randomisiert auf drei Gruppen zu je 17 Probanden verteilt, allerdings mit der Einschränkung, dass vereinzelt Probanden zwischen den Gruppen getauscht wurden, um eine jeweils gleiche Durchschnittsintelligenz (anhand des CFT-Werts), gleiche Gedächtnisleistung (anhand des LGT-Werts) und gleiches Alter zu gewährleisten (siehe Tabelle 2). Der CFT-Wert (CFT = Culture Fair Test) ist ein Wert, der das allgemeine intellektuelle Niveau einer Person erfasst (siehe 2.3.1). Der LGT-Wert (LGT = Lern- und Gedächtnistest) ist ein Wert, der die Merkfähigkeit einer Person erfasst (siehe 2.3.2). Gruppe 1 (mittleres Alter 24,19 Jahre, Stabw. 2,61, mittlerer LGT-Wert 101,82, Stabw. 21,58, mittlerer CFT-Wert 117,71, Stabw. 15,06) absolvierte ein 40-tägiges Arbeitsgedächtnis-Training (entspricht der Trainingsgruppe, G1). Gruppe 2 (mittleres Alter 23,71 Jahre, Stabw. 2,71, mittlerer LGT-Wert 103,82, Stabw. 13,28, mittlerer CFT-Wert 117,35, Stabw. 12,72) absolvierte ein Langzeitgedächtnistraining (entspricht der aktiven Kontrollgruppe, G2). Gruppe 3 (mittleres Alter 24,41 Jahre, Stabw. 3,81, mittlerer LGT-Wert 101,82, Stabw. 16,16, mittlerer CFT-Wert 118,24, Stabw. 13,18) absolvierte kein Training (entspricht der passiven Kontrollgruppe, G3).

	<b>G1 (N=17)</b>	<b>G2 (N=17)</b>	<b>G3 (N=17)</b>	<b>Gesamt (N=51)</b>
<b>CFT (M ± SD)</b>	117,71 ± 15,06	117,35 ± 12,72	118,24 ± 13,18	117,76 ± 13,42
<b>LGT (M ± SD)</b>	101,82 ± 21,58	103,82 ± 13,28	101,82 ± 16,16	102,49 ± 17,03
<b>Alter (M ± SD)</b>	24,19 ± 2,61	23,71 ± 2,71	24,41 ± 3,81	24,08 ± 3,03

Tabelle 2: Mittelwert (M) und Standardabweichungen (SD) von CFT, LGT und Alter der drei Gruppen G1, G2 und G3 sowie aller Probanden

Die Studie wurde mit der Zustimmung der Ethikkommission der Ludwig-Maximilians-Universität München durchgeführt. Die Probanden der Trainingsgruppe bzw. der aktiven Kontrollgruppe erhielten für ihre Studienteilnahme eine Aufwandsentschädigung von jeweils



250€, die Probanden der passiven Kontrollgruppe jeweils 100€, für die bloße Teilnahme an dem Screening 10€.

## 2.2 Ablauf der Studie

Zwei bis vier Probanden wurden gleichzeitig ins Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München eingeladen. Zuerst wurden die Ein- und Ausschlusskriterien (siehe 2.1) überprüft, anschließend die weiterhin geeigneten Probanden sowohl mündlich als auch schriftlich anhand unter anderem der Probandeninformation (siehe Anhang) über die Studie einschließlich der Magnetresonanztomographie aufgeklärt. Der Aufklärungsbogen über die Magnetresonanztomographie beinhaltete einige Fragen zum Gesundheitszustand sowie die Abfrage der Kontraindikationen, um mögliche Risikofaktoren vor Durchführung der Untersuchung ausschließen zu können. Mit ihren Unterschriften erklärten sich die Probanden einverstanden mit der Teilnahme an der Studie einschließlich der Durchführung der funktionellen Magnetresonanztomographie. Danach folgte das circa 90-minütige Screening. Dabei wurden einige kognitive Tests sowie mehrere Tests zur nochmaligen Überprüfung der Zulassungsvoraussetzungen für die Studie durchgeführt (siehe Tabelle 3). Nach Auswertung und Feststellung der Eignung für die Studie wurden die Probanden zum ersten Messtermin eingeladen. Bei diesem erfolgten zunächst Messungen in der Magnetresonanztomographie, unter anderem strukturelle Aufnahmen (circa 90 Minuten). Nach der MRT wurden weitere kognitive Tests durchgeführt (circa 120 Minuten). Am Ende dieses Messtermins erfuhren die Probanden, welcher der drei Gruppen sie zugeteilt werden.

Gruppe 1 (Trainingsgruppe) führte nach kurzer Einführung in das entsprechende Computerprogramm (Jaeggi et al., 2008) ein 40-tägiges dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining durch. Das Training sollte zu Hause täglich 30 Minuten über 40 Tage erfolgen. Jeweils eine Trainingssitzung pro Woche erfolgte unter Aufsicht im Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München. Gruppe 2 (aktive Kontrollgruppe) wurde von dem Gedächtnistrainer Boris Nikolai Konrad in die Mnemotechniken eingeführt und absolvierte im Anschluss über eine Internetplattform (memocamp.de) ein 40-tägiges Langzeitgedächtnistraining. Das Training sollte zu Hause täglich 30 Minuten über 40 Tage erfolgen. Jeweils eine Trainingssitzung pro Woche erfolgte unter Aufsicht im Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München. Gruppe 3 (passive Kontrollgruppe) führte kein Training durch.

Nach Abschluss dieses 40-tägigen Trainings (Trainingsgruppe und aktive Kontrollgruppe) bzw. nach 40 Tagen ohne Training (passive Kontrollgruppe) folgte der zweite Messtermin. Dieser war identisch zum ersten Messtermin. Ungefähr vier Monate später folgte ein Nachtest. Hierbei führten wir nochmals zwei kognitive Tests durch, um die Langzeitwirkung zu erfassen. Der Ablauf der Studie ist in Tabelle 4 schematisch dargestellt.

1. Grundintelligenztest Culture Fair Test 20-R (CFT 20-R) (siehe 2.3.1)
2. Lern- und Gedächtnistest (LGT-3) (siehe 2.3.2)
3. Vividness of Mental Imagery Questionnaire (VVIQ) (siehe 2.3.3)
4. Selbsteinschätzung der Gedächtnisleistung (siehe 2.3.4)
5. Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenztest-B (MWT-B) (siehe 2.3.5)
6. State-Trait-Angstinventar (STAI-G Form X1) (siehe 2.3.6)
7. Vereinfachtes Beck-Depressions-Inventar (BDI-V) (siehe 2.3.7)
8. Edinburgh Handedness Inventory (EHI) (siehe 2.3.8)
9. Zahlengedächtnis (siehe 2.3.9)

Tabelle 3: Schematischer Ablauf des Screenings

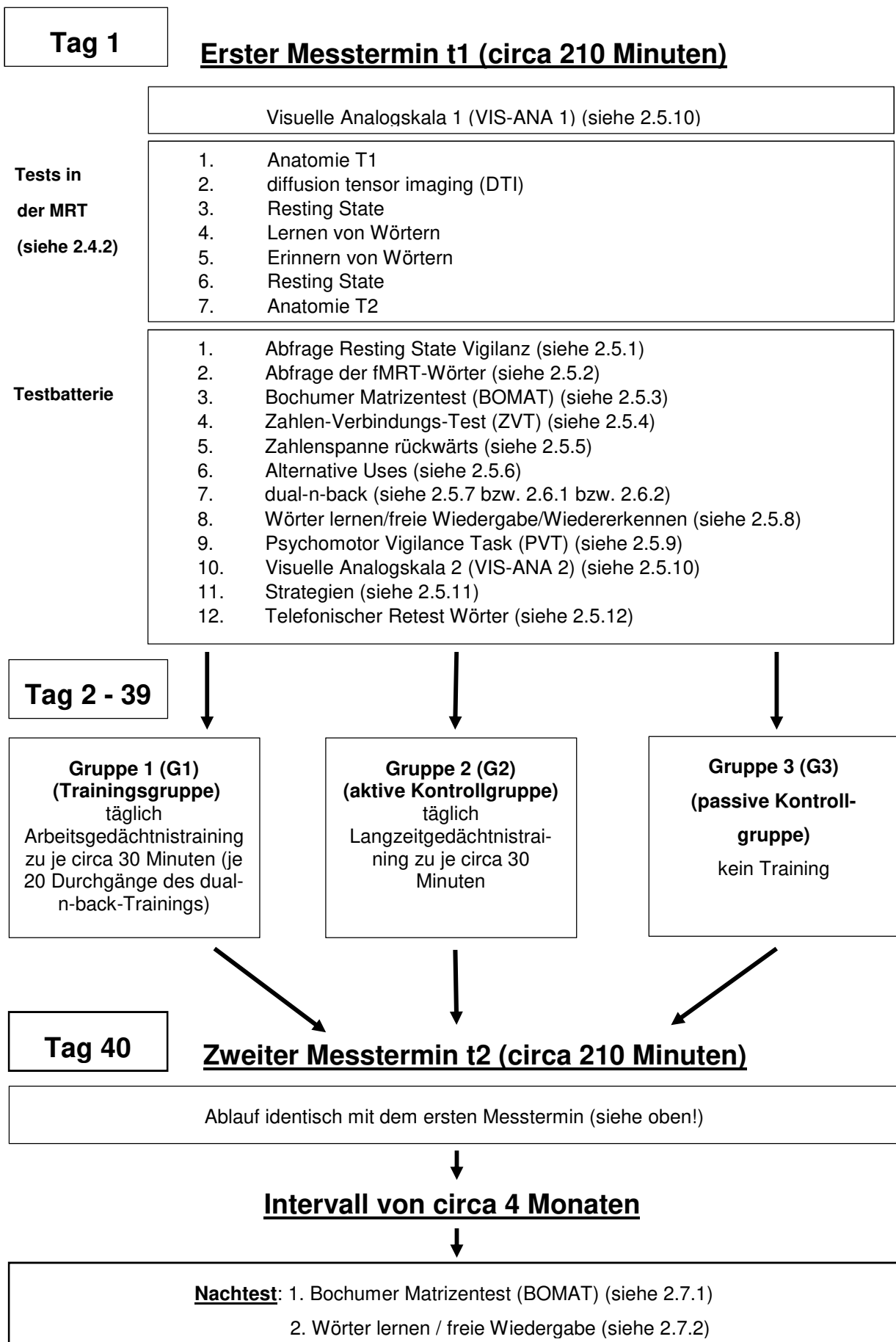


Tabelle 4: Schematische Darstellung des Ablaufs der Studie

## 2.3 Screening

### 2.3.1 Grundintelligenztest CFT 20-R (CFT = Culture Fair Test)

Bei dem CFT 20-R (Weiß, 2006) handelt es sich um die Weiterentwicklung des CFT von R.B.Cattell (Cattell, 1960). Der Test erfasst das allgemeine intellektuelle Niveau (Grundintelligenz) im Sinne der Cattell'schen „General Fluid Ability“. Diese kann umschrieben werden als Fähigkeit, figurale Beziehungen und formal-logische Denkprobleme mit unterschiedlichem Komplexitätsgrad zu erkennen und innerhalb einer bestimmten Zeit zu verarbeiten (Weiß, 2006). Aufgrund der sprachfreien Konzeption des Testes ist er auch für Personen geeignet, die die deutsche Sprache nicht gut beherrschen oder aus einem anderen kulturellen Hintergrund stammen.

Es existiert eine Kurzform und eine Langform. Die Probanden absolvierten die Kurzform. Diese besteht aus insgesamt 56 Items, verteilt auf vier Subtests. Jeder Subtest besteht aus sprachfreien in der Schwierigkeit zunehmenden einzelnen Aufgaben mit jeweils 5 Antwortmöglichkeiten. Nur eine Antwort ist jeweils richtig. Diese sollten die Probanden auf einem separaten Antwortbogen markieren. Vor Beginn des jeweiligen Subtests wurden mit den Probanden je drei Beispielaufgaben durchgegangen, um sicherzustellen, dass die Aufgabenstellung verstanden wurde.

Die Aufgabe des Subtests 1 (15 Items, Bearbeitungszeit 4 Minuten) bestand darin Reihen fortzusetzen: welche Figur setzt die Reihe logisch fort?

Die Aufgabe des Subtests 2 (15 Items, Bearbeitungszeit 4 Minuten) bestand darin Klassifikationen zu erkennen: welche Figur passt nicht zu den anderen Figuren der Reihe?

Die Aufgabe des Subtests 3 (15 Items, Bearbeitungszeit 3 Minuten) bestand darin Matrizen zu bearbeiten: welche Figur ergänzt das untere rechte Feld innerhalb einer Vier- oder Neunfelder-Matrix sinnvoll?

Die Aufgabe des Subtests 4 (11 Items, Bearbeitungszeit 3 Minuten) bestand darin topologische Schlussfolgerungen zu treffen: wie liegt ein Punkt innerhalb sich überschneidender geometrischer Formen? (Weiß, 2006)

Zur Auswertung wurden zunächst die richtigen Lösungen addiert, wobei maximal 56 Punkte möglich waren. Diese Punkte wurden mit Hilfe von Normtabellen in IQ-Werte umgewandelt. Die IQ-Werte können mit Hilfe einer Transformationstabelle in T-Werte, Standardwerte und Prozentränge umgewandelt werden. Um vergleichbare Gruppen zu erhalten,

wurden die Probanden unter anderem nach diesem ermittelten IQ- bzw. CFT-Wert (neben LGT-Wert und Alter) auf die drei Gruppen verteilt.

### 2.3.2 Lern- und Gedächtnistest (LGT-3)

Der Lern- und Gedächtnistest LGT-3 wurde 1974 (Bäumler, 1974) entwickelt und misst die Merkfähigkeit einer Person. Er ist ab circa 14 Jahren einsetzbar. Es gibt zwei Parallelformen. In der Studie wurde Form A verwendet. Der LGT-3 besteht aus einem Lernheft und einem Testheft mit jeweils 6 Subtests. Als erstes erfolgte die Lernphase, in der sich die Probanden möglichst viele Fakten der sechs Subtests einprägen sollten. In der anschließenden Wiedergabephase wurde das soeben Gelernte abgefragt.

Subtest 1 (Stadtplan): In der Lernphase hatten die Probanden eine Minute Zeit sich einen in einem Stadtplan vorgegebenen Weg möglichst genau einzuprägen. In der Wiedergabephase sollte dieser Weg in zwei Minuten aus der Erinnerung in den Stadtplan eingezeichnet werden.

Subtest 2 (Deutsch-Türkisch): In der Lernphase hatten die Probanden eine Minute Zeit 20 Wortpaare Deutsch-Türkisch zu lernen. In der Wiedergabephase standen pro deutschem Wort fünf türkische Wörter zur Auswahl. Die Bearbeitungszeit betrug vier Minuten.

Subtest 3 (Gegenstände): In der Lernphase hatten die Probanden eine Minute Zeit, um sich 20 abgebildete Gegenstände einzuprägen. Die Reihenfolge und Details spielten keine Rolle. In der Wiedergabephase sollten sich die Probanden in zwei Minuten an möglichst viele Gegenstände erinnern und diese aufschreiben.

Subtest 4 (Telefonnummern): in der Lernphase hatten die Probanden zwei Minuten Zeit sich 13 dreistellige Telefonnummern mit den dazugehörigen Anschlussstellen einzuprägen. In der Wiedergabephase sollten die Probanden zu den jeweiligen Anschlussstellen in zwei Minuten die dazugehörigen Nummern notieren.

Subtest 5 (Bau): in der Lernphase hatten die Probanden eine Minute Zeit einen Text zu lesen und sich möglichst viele Details und Informationen zu merken. In der Wiedergabephase wurden dann 21 Punkte aus dem Text abgefragt. Die Probanden hatten hierfür vier Minuten Zeit.

Subtest 6 (Firmenzeichen): in der Lernphase hatten die Probanden eine Minute Zeit sich die Umrandungen von 20 abgebildeten Firmenzeichen einzuprägen. In der Wiedergabephase sollten die Probanden aus vier möglichen Umrandungen die jeweils zum vorgegebenen Firmenzeichen zugehörige auswählen. Die Probanden hatten hierfür vier Minuten Zeit.

Die Auswertung des Subtests 1 (Stadtplan) erfolgte mittels einer Klarsichtschablone. Auf dieser befinden sich Querstriche. Die Querstriche, die sich mit dem vom Probanden eingezeichneten Weg schnitten, wurden addiert. Für jeden geschnittenen Querstrich gab es einen Punkt. Die maximal mögliche Punktzahl betrug 31 Punkte.

Die Auswertung der Subtests 2-6 erfolgte mittels Addition der richtigen Antworten. Die maximal mögliche Punktzahl betrug für Subtest 2, 3 und 6 jeweils 20 Punkte, für Subtest 4 13 Punkte und für Subtest 5 21 Punkte.

Diese Punkte wurden nun mithilfe einer Tabelle in die entsprechenden T-Werte umgewandelt und auf dem Antwortblatt in die Spalte Wertpunkte (=WP) eingetragen. Aus diesen WP wurden ebenfalls mit einer Tabelle die sogenannten gewichteten Wertpunkte (=GWP) ermittelt und diese in die Spalte GWP eingetragen. Alle GWP wurden schließlich addiert und dieser Wert oberhalb der Spalte GWP notiert. Mittels dieser GWP kann man mit einer weiteren Tabelle die Normwerte für den Lern- und Gedächtnisstandard (LGS), das Figuralgedächtnis (FG) und das Verbalgedächtnis (VG) ermitteln. Es wurde lediglich der LGS-Wert ermittelt und daraus der LGT-Wert. Um vergleichbare Gruppen zu erhalten, wurden die Probanden unter anderem nach diesem ermittelten LGT-Wert (neben CFT-Wert und Alter) auf die drei Gruppen verteilt.

### **2.3.3 Vividness of Mental Imagery Questionnaire (VVIQ)**

Der Vividness of Mental Imagery Questionnaire (Marks, 1973) hat zum Ziel die Klarheit der visuellen Vorstellung zu ermitteln. Unter „visueller Vorstellung“ versteht man die Fähigkeit, sich Bilder mental vor Augen zu führen. Der VVIQ besteht aus 16 Items in vier Gruppen zu je 4 Items. Die Aufgabe der Probanden bestand nun darin sich zu jeder spezifischen Situation jeweils ein Bild mental vorzustellen und je nach Klarheit auf einer 5-Punkte-Skala zu bewerten, bei einem vollkommen klaren Bild Bewertung 1, bis zu gar keinem Bild Bewertung 5. Zuerst sollten alle Items mit offenen Augen bearbeitet werden, anschließend mit geschlossenen Augen.

### **2.3.4 Selbsteinschätzung der Gedächtnisleistung**

Die Probanden sollten ihre Gedächtnisleistung allgemein, beim Einprägen von Zahlen, Namen und Gesichtern und Lernen schriftlich präsentierter Informationen einschätzen und anschließend im Vergleich zu ihrem Bekanntenkreis bewerten. Die verwendete Visuelle Analogskala reichte von schlecht bis gut bzw. von unterdurchschnittlich bis überdurchschnittlich und sollte mit einem senkrechten Strich markiert werden. Des Weiteren sollten die Probanden einschätzen, wie viele Ziffern bzw. Worte sie sich in fünf Minuten in richtiger Reihenfolge merken können und anschließend angeben, welche Anzahl hierbei für sie eine außergewöhnlich gute Gedächtnisleistung bedeuten würde.

### **2.3.5 Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenz-Test-B (MWT-B)**

Der Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenz-Test-B (Lehrl, Triebig, & Fischer, 1995) misst das allgemeine Intelligenzniveau, vor allem die kristalline Intelligenz. Der Test besteht aus 37 im Schwierigkeitsgrad zunehmenden Items zu je fünf Wörtern. Jeweils vier Wörter sind erfunden, ein Wort gibt es tatsächlich. Ein Beispiel für ein Item wäre: Nale – Sahe – Nase – Nesa – Sehna. Die Aufgabe der Probanden bestand nun darin das ihnen bekannte Wort jeweils durchzustreichen. Für jedes richtig erkannte Wort gab es einen Punkt. Für die Bearbeitung gab es keine Zeitvorgabe.

### **2.3.6 State-Trait-Angstinventar (STAI-G Form X1)**

Das „State-Trait-Anxiety-Inventory“ wurde 1970 (Spielberger, Gorsuch, & Lushene, 1970) entwickelt, seit 1981 wird die deutsche Version (Laux, Glanzmann, Schaffner, & Spielberger, 1981) verwendet. Mit dem Test soll die aktuelle und die allgemeine Angst erfasst werden. Es kann also mittels zweier separater Fragebögen die Angst als Zustand (State-Angst) und die Angst als Eigenschaft (Trait-Angst) bestimmt werden. Beide Fragebögen bestehen aus jeweils 20 Items mit einer jeweils vierstufigen Antwortskala. Die ersten 20 Items (1-20) sollen die Angst als Zustand (State-Angst) erfassen, die Items 21-40 die Angst als Eigenschaft (Trait-Angst). Die Probanden sollten sich bei den Items 1-20 vergegenwärtigen, wie sie sich jetzt, das

heißt genau in diesem Moment, fühlen und von den vier möglichen Antworten die jeweils zutreffende ankreuzen. Bei den Items 21-40 sollten sie die Antwort ankreuzen, die am besten wiedergibt, wie sie sich im Allgemeinen fühlen. Zur Auswertung wurden die Punktwerte summiert, sodass sich für jeden der beiden Fragebögen eine Gesamtpunktzahl zwischen 20 und 80 ergibt.

### **2.3.7 Vereinfachtes Beck-Depressions-Inventar (BDI-V)**

Das Beck-Depression-Inventar wird sehr häufig zur Erfassung der Schwere depressiver Symptomatik verwendet. 1961 entstand die Originalversion (Beck, Ward, Mendelson, Mock, & Erbaugh, 1961), 1994 schließlich die deutsche Version (Hautzinger, Bailer, Worall, & Keller, 1994). Diese umfasste 21 typische Depressionssymptome mit jeweils vier Antwortmöglichkeiten in aufsteigender Schwere. 2000 kam eine vereinfachte Form heraus (Schmitt & Maes, 2000), das sogenannte vereinfachte Beck-Depressions-Inventar mit 20 Items. Dieses vereinfachte Beck-Depressions-Inventar bearbeiteten die Probanden der Studie. Zu jedem Item sollten die Probanden nun auf einer sechsstufigen Skala von 0 (=nie) bis 5 (=fast immer) angeben, wie häufig die genannte Stimmung oder Sichtweise auf sie zutrifft. Zur Auswertung wurden die Werte der einzelnen Items summiert. Der mögliche Wertebereich reicht von 0 bis 100. Je höher dieser Wert, desto schwerer ist die depressive Symptomatik. Ziel dieses Tests war es eine depressive Symptomatik auszuschließen, was zum Studienausschluss geführt hätte.

### **2.3.8 Edinburgh Handedness Inventory (EHI)**

Das Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971) ist eine Methode, um die Händigkeit zu erfassen. Die Probanden erhielten einen Fragebogen mit 10 Items. Sie sollten angeben, welche Hand sie bei der jeweiligen Aktivität bevorzugen und ob sie jemals die andere Hand benutzen. Folgende Aktivitäten wurden abgefragt: Schreiben, Malen, Werfen, eine Schere benutzen, Zähne putzen, ein Messer benutzen (ohne Gabel), einen Löffel benutzen, einen Besen benutzen (obere Hand am Stiel), ein Streichholz anzünden sowie eine Schachtel öffnen (Hand am Deckel). Dieser Test wurde durchgeführt, um die Voraussetzung der Rechtshändigkeit zur Teilnahme an der Studie zu überprüfen.



### **2.3.9 Zahlengedächtnis**

Die Probanden sollten in fünf Minuten möglichst viele Zahlen in vorgegebener Reihenfolge lückenlos lernen. Insgesamt befanden sich 100 Zahlen in 5 Reihen zu je 20 Zahlen auf dem Blatt. Zur Auswertung wurden die notierten Zahlen bis zum ersten Fehler addiert.

## 2.4 Magnetresonanztomographie

### 2.4.1 Grundlagen

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist ein bildgebendes Verfahren, das auf der Grundlage eines starken Magnetfeldes und hochfrequenter Radiowellen beruht. Nach dem heutigen Wissensstand ist sie unschädlich, da keine ionisierende Strahlung verwendet wird. Die MRT ist das Verfahren mit dem höchsten Weichteilkontrast und erlaubt daher eine sehr differenzierte Beurteilung anatomischer Strukturen. Für die Beurteilung des Gehirns ist sie daher sehr gut geeignet (Reiser, Kuhn, & Debus, 2006).

Die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) ist eine Weiterentwicklung der MRT. Während bei der MRT lediglich statische Schnittbilder erstellt werden können, ist es nun mit der fMRT möglich, dynamische Prozesse des Gehirns sichtbar zu machen. Um die Funktionsweise der funktionellen MRT zu verstehen, ist der BOLD-Effekt (blood oxygenation level dependent) entscheidend. Dieser gibt den unterschiedlichen Sauerstoffgehalt in den roten Blutkörperchen an. Bei Aktivierung von Hirnarealen, zum Beispiel bei der Aufforderung die Hand zu heben, wird in dem jeweiligen Hirnareal Energie verbraucht und somit steigt der Bedarf an Sauerstoff an. Der Blutfluss zu diesem Areal nimmt zu. Diese Änderung zwischen sauerstoffhaltigem und entladem Hämoglobin ist nun messbar. Ist der Sauerstoffgehalt hoch, schließt man daraus indirekt auf eine Aktivierung dieses Hirnareals. Dadurch konnte nachgewiesen werden, welche Hirnareale bei welcher Aktivität aktiv sind (Huettel, Song, & McCarthy, 2004).

### 2.4.2 Ablauf der Magnetresonanztomographie

Im Folgenden wird kurz der Ablauf der verschiedenen MRT-Aufnahmen beschrieben, die in Abbildung 2 schematisch dargestellt sind. Alle Daten wurden mittels eines 3 Tesla Scanners (GE Discovery MR750) mit einer 12-Kanal Kopfspule gemessen. Vor Beginn der MRT wurden die Probanden nochmals über die Studie aufgeklärt und füllten die Visuelle-Analogskala 1 (siehe 2.5.10) aus.

*Anatomie:* Nach Standard-Localizer und Spulenkalisierung wurde zur Darstellung anatomischer Strukturen eine T1-Gewichtung des Gehirns angefertigt (TR 7.1 ms, TE 2.2 ms,

Schichtendicke 1.3 mm, FOV 240 mm, 320×320×128 Matrix, 12° Flip Angle). Die weiße Hirnsubstanz und Fett erscheinen hell (hyperintens), die graue Hirnsubstanz und Wasser dunkel (hypointens). Weiterhin wurden diffusionsgewichtete Scans durchgeführt. Mittels der Diffusions-Tensor-Bildgebung (diffusion tensor imaging, DTI) kann man den Verlauf und die Integrität von Faserverbindungen innerhalb der weißen Hirnsubstanz darstellen (Walter, 2005).

*Resting State:* Die Resting State fMRT ist eine relativ neue Methode der funktionellen Hirnbildgebung, die regionale Interaktionen unter Ruhebedingungen beschreibt (Biswal, 2012). Die Probanden sollten während eines Scans von 8 Minuten keine Aufgabe lösen und bekamen die Anweisung, an nichts Besonderes zu denken. Die Augen sollten während der Aufnahmen geschlossen sein.

*Lernen von Wörtern:* Bei dieser Aufgabe sollten die Probanden sich 72 Wörter merken. Jedes Wort erschien für drei Sekunden, gefolgt von einer Pause von einer Sekunde. Nach sechs Wörtern gab es jeweils eine Pause von 30 Sekunden. Während dieser Pause sollten die Probanden die Augen offen lassen. Es gab zwei verschiedene Wortlisten. Jeder Proband bearbeitete beide Wortlisten, die eine beim ersten Messtermin und die andere beim zweiten Messtermin. Die Reihenfolge der Bearbeitung dieser beiden Wortlisten erfolgte zunächst zufällig. Im Ganzen wurde auf eine gleichmäßige Verteilung geachtet.

*Erinnern von Wörtern:* Bei dieser Aufgabe sollten sich die Probanden an die zuvor gelernten Wörter erinnern. Drei Wörter aus der gelernten Wortliste wurden für jeweils drei Sekunden nacheinander angezeigt. Anschließend sollten die Probanden angeben, ob die Reihenfolge dieser drei Wörter richtig war. Hierzu hatten sie vier Antwortmöglichkeiten (ich bin mir sicher, dass die Reihenfolge stimmt; ich bin mir nicht ganz sicher, denke aber eher, dass die Reihenfolge stimmt; ich bin mir nicht ganz sicher, denke aber eher, dass die Reihenfolge nicht stimmt; ich weiß, dass die Reihenfolge nicht stimmt) zur Auswahl. Nun folgten drei Wörter, bei denen die Probanden die Silben der Wörter zählen sollten. Die Silbenwörter sollten nur visuell bewertet werden, nicht mitgesprochen oder subvokalisiert werden. Die Silbenwörter sollten die Probanden sich nicht merken, da sie nicht abgefragt wurden. Nun folgten wieder drei Wörter, bei denen wie oben die richtige Reihenfolge beurteilt werden sollte. Dieser Aufgabenablauf wiederholte sich noch mehrmals.

Auf eine ausführlichere Beschreibung und Analyse der verbalen Gedächtnisaufgaben wird im Weiteren verzichtet, da dieser Test für meine Doktorarbeit nicht relevant ist. Hierauf wird in einer anderen Dissertation genauer eingegangen. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich stattdessen auf die T1-gewichteten Aufnahmen, um Effekte des Arbeitsgedächtnis-Trainings auf die graue Hirnsubstanz zu untersuchen.

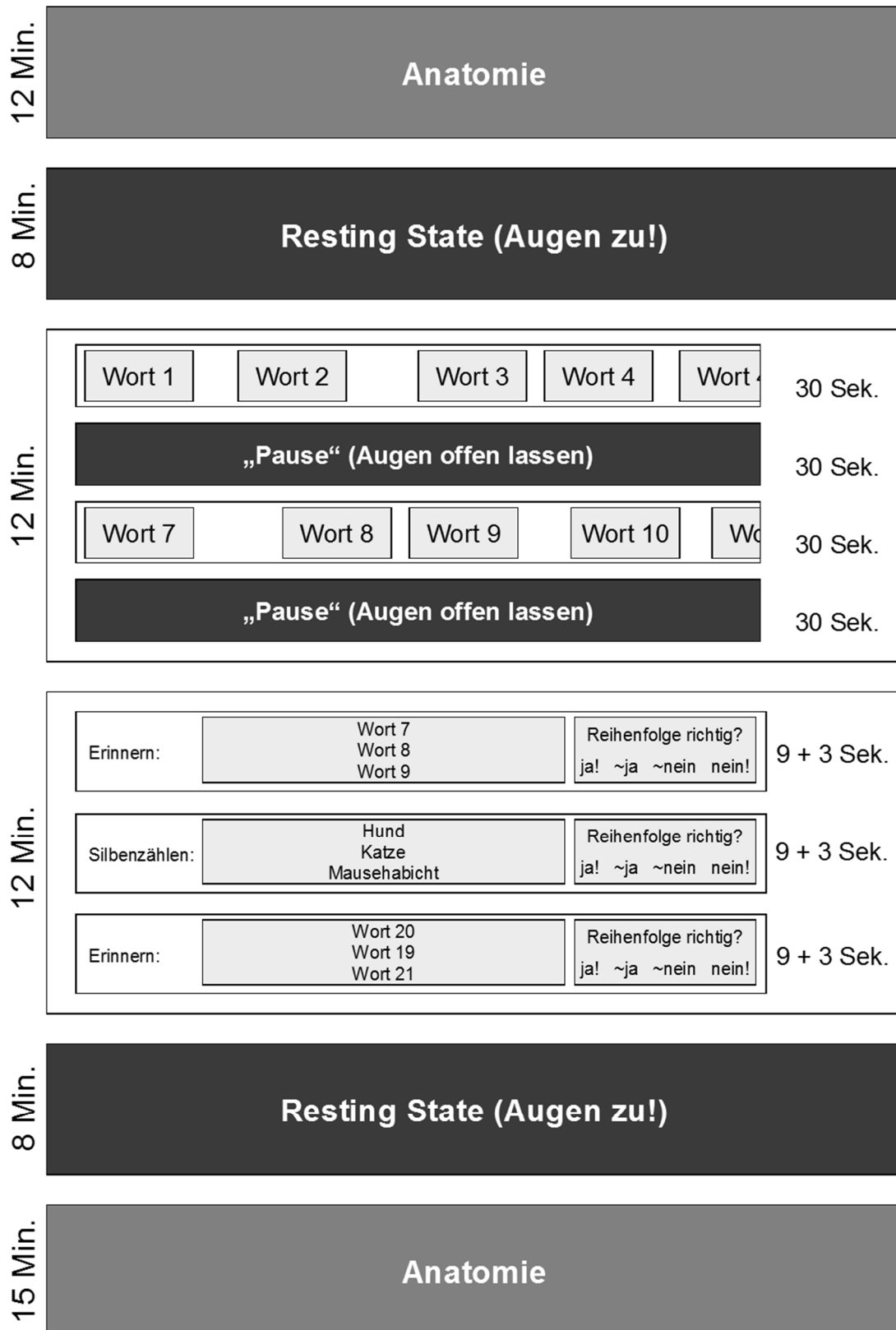


Abbildung 2: Schematischer Ablauf der MRT-Untersuchung

## **2.5 Testbatterie (außerhalb der fMRT)**

### **2.5.1 Abfrage Resting State Vigilanz**

Mittels eines Fragebogens wurde die Vigilanz während der Resting State fMRT Aufnahmen abgefragt. Außerdem sollte angegeben werden, ob die Anweisungen bzgl. Augen offen oder geschlossen in der fMRT befolgt wurden.

### **2.5.2 Abfrage der fMRT-Wörter**

Die Probanden hatten fünf Minuten Zeit möglichst viele der in der fMRT gelernten Wörter aufzuschreiben. Die Wörter, bei denen die Silben gezählt werden sollten, wurden nicht abgefragt. Die Reihenfolge spielte keine Rolle.

### **2.5.3 Intelligenz: Bochumer Matrizenstest (BOMAT)**

Der Bochumer Matrizenstest (BOMAT) wurde 1999 entwickelt (Hossiep, Turck, & Hasella, 1999). Er dient „der Erfassung der Allgemeinintelligenz und Intelligenzkapazität im hohen kognitiven Leistungsbereich“ (Hossiep, Hasella, & Turck, 2001). Es handelt sich um einen sprachfreien Test. Derzeit existieren drei Versionen des BOMAT (BOMAT-advanced seit 1999, BOMAT-advanced-short version seit 2001 und BOMAT-Standard seit 2010). In der Studie wurde die BOMAT-advanced-short version, Formen A und B (Hossiep et al., 2001) verwendet. Jeder Proband bearbeitete den BOMAT am 1. Messtermin und am 2. Messtermin und absolvierte einmal Form A und einmal Form B. Die Reihenfolge der Bearbeitung dieser beiden Formen erfolgte zunächst zufällig. Im Ganzen wurde auf eine gleichmäßige Verteilung geachtet. Die BOMAT-advanced-short version besteht aus 29 in der Schwierigkeit zunehmenden Items. Die reguläre Bearbeitungszeit beträgt 45 Minuten. Die Probanden hatten lediglich 10 Minuten Zeit. Es war für die Probanden also aufgrund der kurzen Zeit nicht möglich alle Items vollständig zu bearbeiten, worauf vor Testbeginn hingewiesen wurde. Jedes Item besteht aus einer Matrix von 15 Feldern, die in drei Zeilen zu je fünf Feldern angeordnet sind. In jeder Matrix ist eines dieser 15 Felder frei. Die Aufgabe der Probanden war es dieses

leere Feld durch eine von sechs möglichen Antworten sinnvoll zu ergänzen anhand des Erkennens der logischen Regeln der 14 gefüllten Felder (Hossiep et al., 2001). Ein Beispiel für ein Item ist in der Abbildung 3 dargestellt. Vor Testbeginn erhielt jeder Proband ein Übungsheft mit 10 Übungsaufgaben und ausführlich erklärter Lösung. Anschließend folgte die Testbearbeitung der 29 Items. Die Antworten mussten auf einem separaten Antwortbogen eingetragen werden. Für jede richtig gelöste Aufgabe gab es einen Punkt. Die maximal mögliche Punktzahl betrug 29.

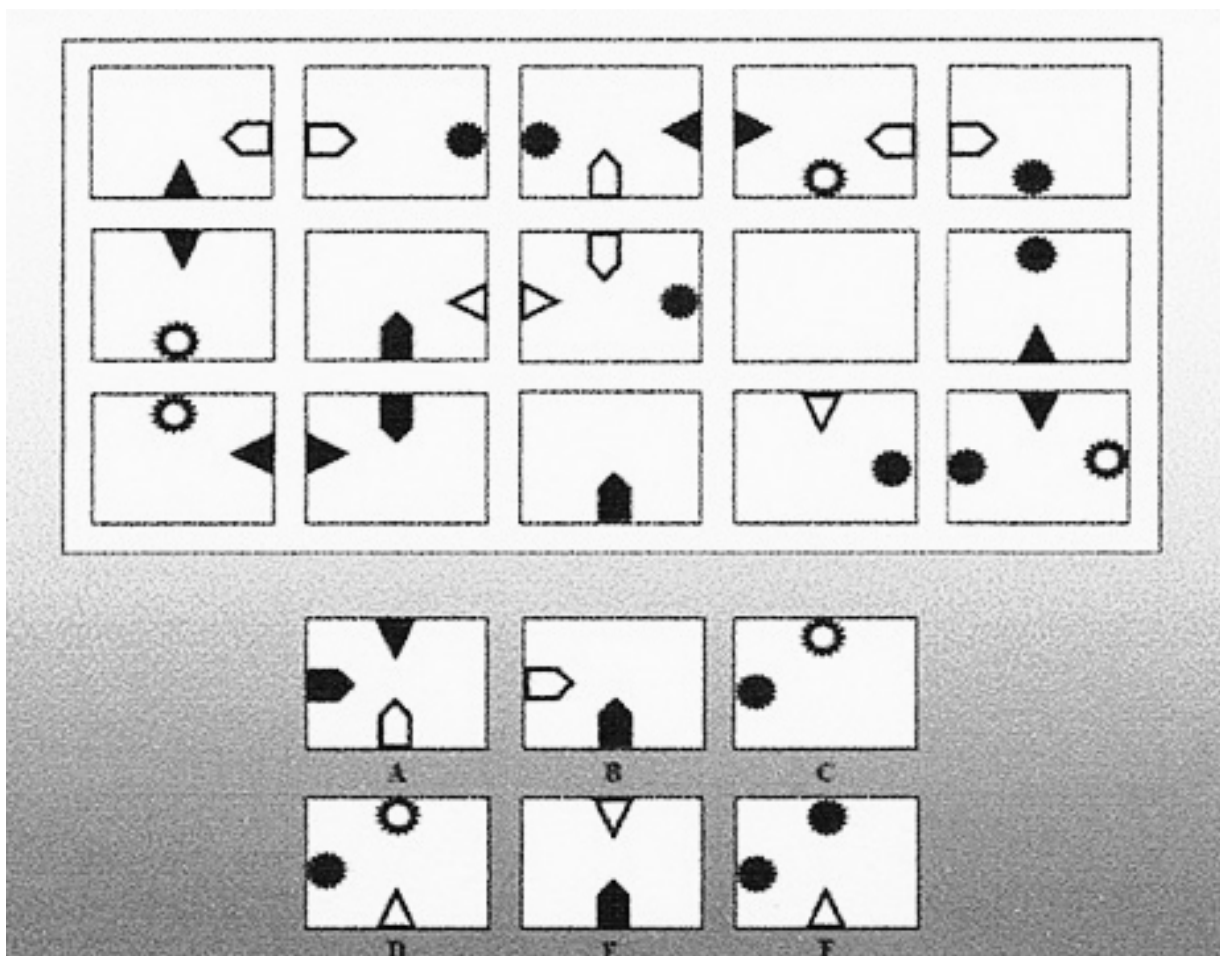


Abbildung 3: Beispiel für ein Item des BOMATs

### **2.5.4 Verarbeitungsgeschwindigkeit: Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT)**

Der Zahlenverbindungstest wurde 1987 von W. D. Oswald und E. Roth entwickelt (Oswald & Roth, 1987). Der Intelligenztest misst die kognitive Leistungsgeschwindigkeit. Der Test besteht aus den vier Parallelversionen A bis D. Die Probanden der Studie bearbeiteten bei jedem der beiden Messtermine jeweils zwei Versionen, also beim ersten Termin Form A und B oder Form C und D und beim zweiten jeweils die noch nicht bearbeiteten Formen. Die Reihenfolge wurde zufällig gewählt, wobei insgesamt auf ein ausgewogenes Verhältnis geachtet wurde. Die Aufgabe der Probanden war es die Zahlen von 1 bis 90 in aufsteigender Reihenfolge so schnell wie möglich fehlerfrei miteinander zu verbinden. Die jeweilige Zeit in Sekunden wurde notiert und der Durchschnittswert der beiden Zeiten berechnet. Um sicherzustellen, dass die Aufgabenstellung richtig verstanden wurde, wurden vor Testbeginn jeweils zwei Übungsaufgaben absolviert. Hierbei sollten die Zahlen 1-20 so schnell wie möglich in aufsteigender Reihenfolge miteinander verbunden werden.

### **2.5.5 Arbeitsgedächtnis: Zahlenspanne rückwärts**

Der „Zahlenspanne rückwärts“-Test ist ein Untertest der deutschen Version der Wechsler Memory Scale (Härting, et al., 2000) und misst vor allem die Arbeitsgedächtnisleistung. Den Probanden wurden auf dem Computerbildschirm Zahlenfolgen aufsteigender Länge mit einer Frequenz von 1 Zahl/Sekunde präsentiert. Diese Zahlen sollte der Proband anschließend in umgekehrter Reihenfolge aufschreiben (aus 3-8-1-4 wird 4-1-8-3). Begonnen wurde mit dreistelligen Zahlen. Auf zwei dreistellige Zahlen folgten zwei vierstellige Zahlen, darauf zwei fünfstelligen Zahlen usw. Abgebrochen wurde der Test nach vier aufeinanderfolgenden Fehlern. Zur Auswertung wurden jeweils drei Werte berechnet: Wert 1 durch Summierung der richtig wiedergegebenen Zahlenspannen, Wert 2 entspricht der maximal richtig wiedergegebenen Zahlenlänge und Wert 3 entspricht der Zahlenlänge, bei der beide Zahlen der gleichen Länge richtig wiedergegeben wurden. Wert 3 wird bei der klassischen Auswertung ermittelt.

### **2.5.6 Kreativität: Alternative Uses**

Der „Alternative Uses“-Test wurde 1967 von J.P. Guilford entwickelt und soll die Kreativität bestimmen (Guilford, 1967). Auch hier wurden zwei Versionen A und B verwendet. Jeder Proband bearbeitete beide Versionen, die eine beim ersten Messtermin und die andere beim zweiten Messtermin. Die Reihenfolge der Bearbeitung der beiden Versionen erfolgte zunächst zufällig. Im Ganzen wurde auf eine gleichmäßige Verteilung geachtet. Die Probanden hatten jeweils zwei Minuten Zeit auf eine gestellte Frage (zum Beispiel: Was kann man alles mit einer Büroklammer machen? oder Was kann man riechen?) möglichst viele und möglichst originelle Antworten zu finden und diese aufzuschreiben. An beiden Messterminen wurden jeweils drei solcher Fragen gestellt. Vier verschiedene Kreativitätskriterien können erfasst werden: die Flüssigkeit des Denkens entspricht der Anzahl der Antworten, die der Proband auf die jeweilige Frage in einer vorgegebenen Zeit gegeben hat, die Originalität gibt an, wie ungewöhnlich die gegebene Antwort ist. Die Flexibilität gibt an, wie ähnlich bzw. unähnlich sich die einzelnen gegebenen Antworten sind. Je unähnlicher sie sind, desto höher die Kreativität. Die Elaboriertheit gibt an, wie detailliert die Antworten beschrieben wurden (Stangl, 2013). In der Studie wurde lediglich die Flüssigkeit des Denkens ausgewertet. Hierfür wurde die Anzahl der gegebenen Antworten der drei Fragen summiert.

### **2.5.7 Arbeitsgedächtnis: dual-n-back**

Aufbau und Durchführung des dual-n-back-Trainings siehe unter 2.6.1 und 2.6.2

### **2.5.8 Deklaratives Gedächtnis: Wörter lernen / freie Wiedergabe / Wiedererkennen**

Die Probanden hörten über Kopfhörer 75 Wörter, von denen sie sich möglichst viele merken sollten. Es gab zwei verschiedene Wortlisten. Jeder Proband bearbeitete beide Wortlisten, die eine beim ersten Messtermin und die andere beim zweiten Messtermin. Die Reihenfolge der Bearbeitung dieser beiden Wortlisten erfolgte zunächst zufällig. Im Ganzen wurde auf eine



gleichmäßige Verteilung geachtet. Die Wörter wurden nicht zufällig ausgewählt, sondern stammten jeweils aus fünf Kategorien.

Anschließend hatten die Probanden fünf Minuten Zeit möglichst viele dieser Wörter aufzuschreiben. Bei der Auswertung wurden jeweils die richtig notierten Wörter und die falsch notierten Wörter zusammengezählt. Ebenso wurde die Anzahl der notierten „false memories“ ermittelt.

Die Probanden bekamen nun einen Bogen mit 40 Wörtern vorgelegt und sollten für jedes Wort extra angeben, ob das Wort in der soeben gelernten Wortliste vorkam oder nicht, wie sicher sie sich hierbei sind anhand von vier Abstufungen (absolut sicher, eher sicher, eher unsicher, musste raten) und ob sie sich an das Lernen des jeweiligen Wortes bewusst erinnern oder nicht. Bei diesen 40 Wörtern wurden fünf Wörter eingestreut (sog. „critical lures“), die man mit der gelernten Kategorie in Verbindung bringt, aber die tatsächlich nicht gelernt wurden.

Zur Auswertung wurden folgende Werte ermittelt: richtig angekreuzt und kam tatsächlich vor, richtig angekreuzt und kam tatsächlich nicht vor, falsch angekreuzt und kam vor, falsch angekreuzt und kam nicht vor, Anzahl der „false memories“, subjektive Sicherheit und bewusste Erinnerung.

### **2.5.9 Aufmerksamkeit: Psychomotor Vigilance Task (PVT)**

Der „Psychomotor Vigilance Task“ (Dinges & Powell, 1985) misst die Reaktionsgeschwindigkeit auf einen visuellen Reiz. Damit sollten Aussagen über die Aufmerksamkeit und die Reaktionszeit der jeweiligen Probanden gemacht werden. Die Aufgabe der Probanden bestand darin möglichst schnell mit der Computermaus in ein vorgegebenes Feld auf dem Bildschirm zu klicken, sobald ein Punkt auf dem Bildschirm erscheint. Die Aufgabe dauerte ungefähr 10 Minuten. Nach Bearbeitung des Tests wurde automatisch die Testdauer in Sekunden, die durchschnittliche Reaktionszeit in Millisekunden und die Anzahl der Versuche (entspricht der Anzahl der Klicks mit der Computermaus) erstellt.

### **2.5.10 Visuelle Analogskala (VIS-ANA 1 bzw. 2)**

Die Visuelle Analogskala ist eine Skala zur Erfassung subjektiver Empfindungen. Zu Beginn beider Messtermine sollten die Probanden angeben, wie motiviert sie momentan sind die folgenden Aufgaben zu bearbeiten. Jeweils zu Beginn und am Ende beider Messtermine sollten die Probanden ihre Testleistung im Vergleich zu anderen Personen, die nicht an der Studie teilnehmen, einschätzen. Zur Beantwortung wurde eine Visuelle Analogskala verwendet, die aus einer 10cm langen waagerechten Linie besteht, in die die Probanden je nach Motivation bzw. Einschätzung der Testleistung einen senkrechten Strich weiter nach links (unmotiviert bzw. sehr schlecht) oder rechts (hochmotiviert bzw. sehr gut) setzen sollten.

Zur Auswertung wurden die cm bis zum eingezeichneten Strich bestimmt. Je höher dieser Wert (mögliche Spannweite von 0 bis 10) desto motivierter war der Proband bzw. desto besser schätzte er seine Testleistung im Vergleich zu anderen Personen ein.

### **2.5.11 Strategien**

Die Probanden sollten aufschreiben, welche Strategien sie beim Wörter lernen in der fMRT, beim Wörter lernen über die Kopfhörer und beim Zahlen merken verwendet haben.

### **2.5.12 Telefonischer Retest Wörter**

Nach 24 Stunden wurden telefonisch nochmals die Wörter aus der fMRT und die Audiowörter abgefragt und notiert.

## 2.6 Training

### 2.6.1 Aufbau des dual-n-back-Trainings

Bei dem dual-n-back-Training handelt es sich um ein sehr häufig verwendetes Training in Studien, die sich mit dem Arbeitsgedächtnis befassen. Das Prinzip der n-back-Aufgabe wurde von W.K. Kirchner (1958) entwickelt. Das dual-n-back-Training führten alle Probanden am Computer durch. Die verwendete Software war E-Prime 2.0 und lief mit E-Run 2.0 (Jaeggi et al., 2008). Das Prinzip des Trainings ist in Abbildung 4 dargestellt.

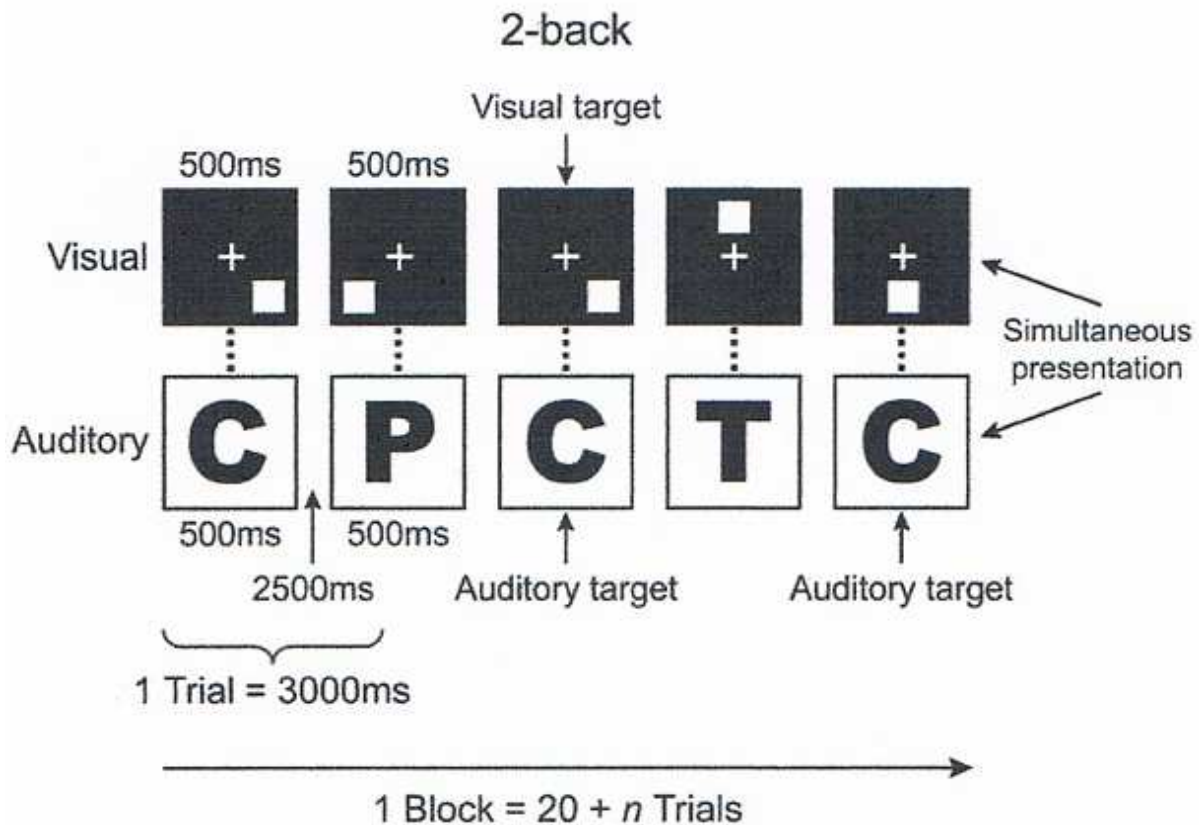


Abbildung 4: Beispiel für n-back-Aufgabe, hier mit der Bedingung 2-back. Die visuell-räumlichen und auditiven Stimuli wurden simultan präsentiert (Jaeggi et al., 2008).

Bei diesem Training wurden den Probanden gleichzeitig zwei verschiedene Stimuli präsentiert, ein visuell-räumlicher und ein auditiver Stimulus. Jeder Stimulus erschien für 500ms, die Zeit zwischen den Stimuli (= Inter-Stimulus-Intervall = ISI) betrug jeweils 2500ms. Die Aufgabe der Probanden bestand nun darin, für jeden Stimulus zu entscheiden, ob der gegenwärtige Stimulus mit dem Stimulus, der n Stellen zuvor gezeigt wurde, übereinstimmte. Es wurde ein

adaptives n-back-Training durchgeführt. Das Level von n hing von der Leistung des jeweiligen Probanden ab. Je höher das n war, desto anspruchsvoller war die Aufgabe. Bei den visuell-räumlichen Stimuli handelte es sich um blaue Quadrate. Diese konnten an acht möglichen Positionen zufällig auf dem Computerbildschirm erscheinen. Bei den auditiven Stimuli handelte es sich um acht verschiedene Buchstaben (D, C, P, T, G, Q, V, K), die die Probanden über Kopfhörer hörten. Sollten die Probanden zum Beispiel 1-back absolvieren, mussten sie die Taste „A“ auf der Computertastatur jedes Mal drücken, wenn der visuell-räumliche Stimulus an derselben Position wie der eins zuvor präsentierte Stimulus gezeigt wurde. Für die auditiven Stimuli musste entsprechend die Taste „L“ gedrückt werden. Bei 2-back musste die Taste gedrückt werden, wenn der jeweils gezeigte Stimulus dem Stimulus, der zwei Stellen zuvor gezeigt wurde, entsprach, bei 3-back entsprechend 3 Stellen zurück usw. Wenn kein Stimulus übereinstimmte, musste nichts gedrückt werden. Das Schwierigkeitslevel n war jeweils für die visuell-räumlichen und auditiven Stimuli gleich. Vor jedem Durchgang wurde das jeweilige Level von n angezeigt. Ein Durchgang bestand aus 20+n visuell-räumlichen Stimuli und 20+n auditiven Stimuli. Wie oben bereits erwähnt war das Training adaptiv, das heißt angepasst an die Leistung des Probanden. Betrug die Leistung des Probanden in dem jeweiligen Durchgang  $\geq 90\%$  bzw. maximal 2 Fehler in beiden Modalitäten, wurde das n-back-Level um 1 erhöht. Bei einer Leistung  $\leq 70\%$  in dem jeweiligen Durchgang in mindestens einer Modalität bzw. mindestens sechs Fehlern, wurde das n-back-Level um 1 gesenkt. Anderenfalls blieb das Level unverändert (Jaeggi et al., 2008).

### 2.6.2 Durchführung des dual-n-back-Trainings

Alle Probanden (Trainingsgruppe, aktive Kontrollgruppe, passive Kontrollgruppe) führten an den beiden Messterminen jeweils ein dual-n-back-Training mit 10 Durchgängen durch. Vor Beginn wurde den Probanden ausführlich die Aufgabenstellung erklärt, es wurden Fragen beantwortet und um Missverständnisse auszuschließen, ein Probedurchgang durchgeführt. Die Probanden der Trainingsgruppe begannen nach dem ersten Messtermin ihr 40-tägiges dual-n-back-Training. Die Software wurde den Probanden auf ihre Computer installiert, sodass das Training zuhause absolviert werden konnte. Einmal wöchentlich musste das Training unter Aufsicht am Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München durchgeführt werden. Die Probanden der Trainingsgruppe mussten nun täglich 20 Durchgänge des dual-n-back-Trainings

bearbeiten und die gespeicherten Daten täglich per E-Mail verschicken, um eine Trainingsüberprüfung zu gewährleisten. Zur besseren Veranschaulichung siehe Tabelle 5.

Sitzung	Gruppe 1 (Trainingsgruppe)	Gruppe 2 (aktive Kontrollgruppe)	Gruppe 3 (passive Kontrollgruppe)
Erster Messtermin	dual-n-back-Training Session 1 // 10 Durchgänge		
Training	dual-n-back-Training Sessions 2-39 jeweils 20 Durchgänge	Langzeitgedächtnis- training	kein Training
Zweiter Messtermin	dual-n-back-Training Session 40 // 10 Durchgänge	dual-n-back-Training Session 2 // 10 Durchgänge	

Tabelle 5: Ablauf des dual-n-back-Trainings

### 2.6.3 Training der aktiven Kontrollgruppe

Die aktive Kontrollgruppe absolvierte ein 40-tägiges tägliches Langzeitgedächtnistraining. Vor Trainingsbeginn nahmen die Probanden dieser Gruppe an einem Intensivseminar Gedächtnistraining mit dem Gedächtnistrainer Boris Nikolai Konrad teil, in dem die Probanden in die Mnemotechniken, insbesondere die Loci-Methode eingeführt wurden. Mnemotechniken sind Lerntechniken, die es ermöglichen, sich große Mengen an Informationen schnell und dauerhaft anzueignen (Gummelt, 2005). Bei der Loci-Methode stellt man sich verschiedene Inhalte mit Hilfe bekannter Ortspunkte visuell vor. In dem Seminar lernten die Probanden die erste Route. Hierfür wurden die Probanden durch das Max-Planck-Institut für Psychiatrie und Umgebung geführt und sollten sich verschiedene Orte in der vorgegebenen Reihenfolge möglichst genau einprägen. Die Aufgabe bestand nun darin zu lernende Begriffe mit den eingprägten Orten bildhaft zu verbinden, indem die Orte der Route mental durchdacht werden. Die Probanden erhielten wöchentlich einen Trainingsplan und sollten das Training wie die Trainingsgruppe täglich für 30 Minuten absolvieren. Sie sollten weitere eigene Routen erstellen und in die Trainings-Plattform eintragen und zu lernende Begriffe mit den Orten der gelernten

Routen verbinden und so ihre Gedächtnisleistung im Laufe des Trainings verbessern. Das Training erfolgte über die Internet-Plattform [www.memocamp.de](http://www.memocamp.de). Einmal wöchentlich musste das Training unter Aufsicht im Max-Planck-Institut für Psychiatrie durchgeführt werden.

## **2.7 Nachtest**

Jeweils ungefähr vier Monate nach dem zweiten Messtermin wurde jeder Proband nochmals an das Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München eingeladen, um einen Nachtest zu absolvieren. Damit sollte herausgefunden werden, wie sich die Leistung mit der Zeit entwickelt hat.

### **2.7.1 Intelligenz: Bochumer Matrizen test (BOMAT)**

Näheres zum Bochumer Matrizen test siehe unter 2.5.3. Die Probanden bearbeiteten jeweils die länger zurückliegende Form des BOMAT, also die Form vom ersten Messtermin. Vor Beginn des Tests wurden diesmal keine Übungsaufgaben absolviert.

### **2.7.2 Deklaratives Gedächtnis: Wörter lernen / freie Wiedergabe**

Den Probanden wurden auf dem Computerbildschirm nacheinander 72 Wörter visuell präsentiert. Jedes Wort erschien für drei Sekunden, gefolgt von einer Pause von einer Sekunde. Die Wörter entsprachen den Wortlisten aus der fMRT. Die Probanden bearbeiteten jeweils die länger zurückliegende Wortliste, also die vom ersten Messtermin. Anschließend hatten die Probanden fünf Minuten Zeit möglichst viele der eben gelernten Wörter aufzuschreiben.

## 2.8 Statistische Analysen

### 2.8.1 Behaviorale Daten

Zur Analyse der Trainingseffekte auf die kognitive Testbatterie wurde zunächst eine MANOVA mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor Zeit, dem Zwischensubjektfaktor Trainingsgruppe und neun Variablen Verbales auditives Gedächtnis, falsche Erinnerung, falsches Wiedererkennen, n-back-Mittelwert, n-back-Maximalwert, BOMAT, ZVT, Zahlenspanne und „Alternative Uses“ angewendet.

Da die Probanden auf die drei Gruppen randomisiert mit Einschränkung (siehe 2.1) verteilt wurden und mögliche allgemeine Test-Retest-Verbesserungen nicht von Interesse waren, wurden vornehmlich die spezifischen Effekte der einzelnen Trainingsbedingungen geprüft. Im Falle einer signifikanten Interaktion Zeit x Trainingsbedingung wurden anschließend univariate ANOVAs gerechnet. Für spezifische Vergleiche wurden schließlich LSD-Posthoc-Tests gerechnet.

Zur Untersuchung eines modulierenden Zusammenhangs des Ausgangsniveaus der Intelligenz mit den Trainingseffekten auf Intelligenz und Arbeitsgedächtnis wurde eine Pearson-Korrelation zwischen den CFT-Ergebnissen aus dem Screening und den Veränderungen des n-back-Mittelwerts, des n-back-Maximalwerts und der BOMAT-Ergebnisse gerechnet.

Alle Analysen wurden mit IBM SPSS Statistics (Version 21) berechnet, für alle Analysen wurde ein Alpha von  $p < 0,05$  als signifikant betrachtet.

## 2.8.2 Magnetresonanztomographie

Die T1-gewichteten Aufnahmen wurden mittels Voxel-basierter Morphometrie (VBM) der FMRIB Software Library (FSL) analysiert (Ashburner & Friston, 2000; Good et al., 2001; Smith et al., 2004). Nach Hirnextrahierung mittels Brain Extraction Tool (Smith, 2002) und Gewebetypsegmentierung mittels FAST4 (Zhang, Brady, & Smith, 2001) wurden die Aufnahmen der grauen Substanz mittels FLIRT (Jenkinson & Smith, 2001; Jenkinson, Bannister, Brady, & Smith, 2002) zum MNI152 Standardraum ausgerichtet und mittels FNIRT (Anderson, Jenkinson, & Smith, 2007) registriert. Zum direkten Vergleich des Volumens wurden die individuellen Aufnahmen der grauen Substanz zu einem studienspezifischen Template gemittelt, zu dem dann die nativen Aufnahmen der grauen Substanz nichtlinear registriert wurden. Die registrierten partiellen Volumenaufnahmen wurden anschließend durch Division durch die Jacobi-Matrix des Warpfeldes moduliert. Die modulierten segmentierten Aufnahmen wurden dann durch einen isotropischen Gauss'schen Kernel mit  $\sigma=3\text{mm}$  geglättet. Schließlich wurde zum Test signifikanter Unterschiede zwischen post- und prä-Trainingszustand ein voxelweises Allgemeines Lineares Modell mit permutations-basiertem nichtparametrischem Test entsprechend der Implementierung in FSL (Smith & Nichols, 2009) gerechnet. Als Signifikanzniveau wurde ein FWE-korrigiertes Alpha von  $p=0,05$  gewählt.



## 3 Ergebnisse

### 3.1 Dual-n-back-Training

Die Probanden der n-back-Trainingsgruppe (= G1) erreichten nach dem sechswöchigen dual-n-back-Training einen n-back-Mittelwert von 4,62 mit einer Standardabweichung von 1,07. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 106%. Die Probanden der aktiven Kontrollgruppe (=G2) erreichten nach dem sechswöchigen Langzeitgedächtnistraining einen n-back-Mittelwert von 2,32 mit einer Standardabweichung von 0,34. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 6%. Die Probanden der passiven Kontrollgruppe (=G3), die kein Training absolvierten, erreichten nach sechs Wochen einen n-back-Mittelwert von 2,33 mit einer Standardabweichung von 0,30. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 8%. Zur besseren Veranschaulichung siehe Abbildung 5 und Tabelle 6.

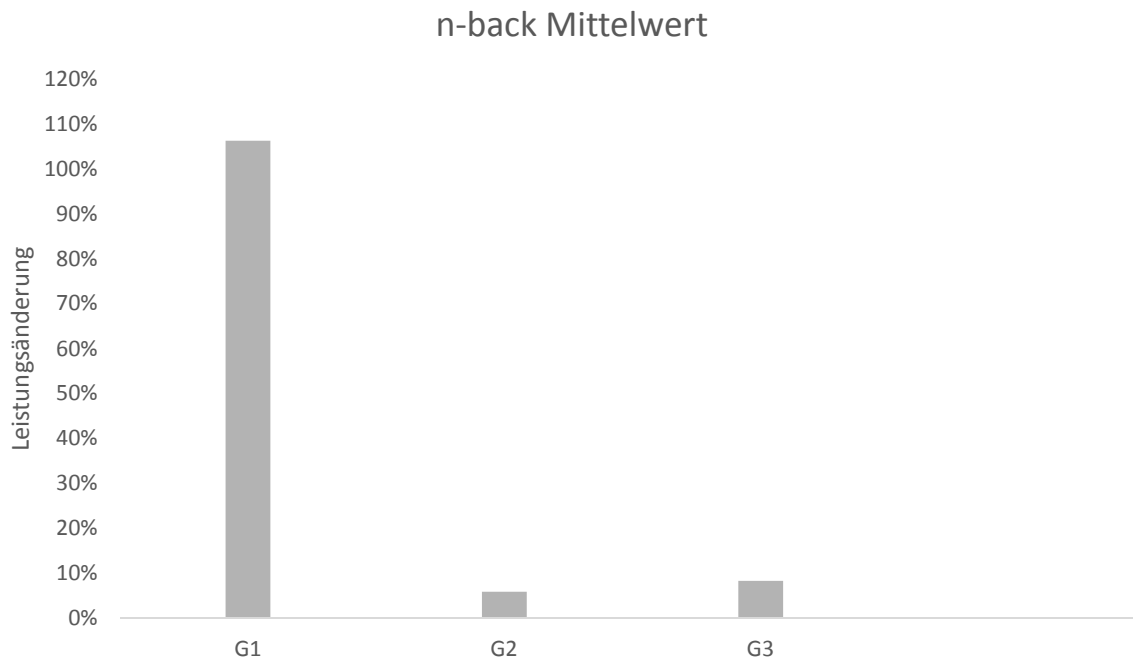


Abbildung 5: Leistungsänderung im n-back-Mittelwert nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3

n-back Mittelwert	M ± SD (t1)	M ± SD (t2)
<b>G1</b>	2,24 ± 0,53	4,62 ± 1,07
<b>G2</b>	2,19 ± 0,29	2,32 ± 0,34
<b>G3</b>	2,15 ± 0,22	2,33 ± 0,30

Tabelle 6: n-back-Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2)

Die Probanden der n-back-Trainingsgruppe (= G1) erreichten nach dem sechswöchigen dual-n-back-Training durchschnittlich einen n-back-Maximalwert von 6,29 mit einer Standardabweichung von 1,79. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 102%. Die Probanden der aktiven Kontrollgruppe (=G2) erreichten nach dem sechswöchigen Langzeitgedächtnistraining durchschnittlich einen n-back-Maximalwert von 3,06 mit einer Standardabweichung von 0,43. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 4%. Die Probanden der passiven Kontrollgruppe (=G3), die kein Training absolvierten, erreichten nach sechs Wochen ebenfalls durchschnittlich einen n-back-Maximalwert von 3,06 mit einer Standardabweichung von 0,43. Auch dies entsprach einer Leistungssteigerung von 4%. Zur besseren Veranschaulichung siehe Abbildung 6 und Tabelle 7.

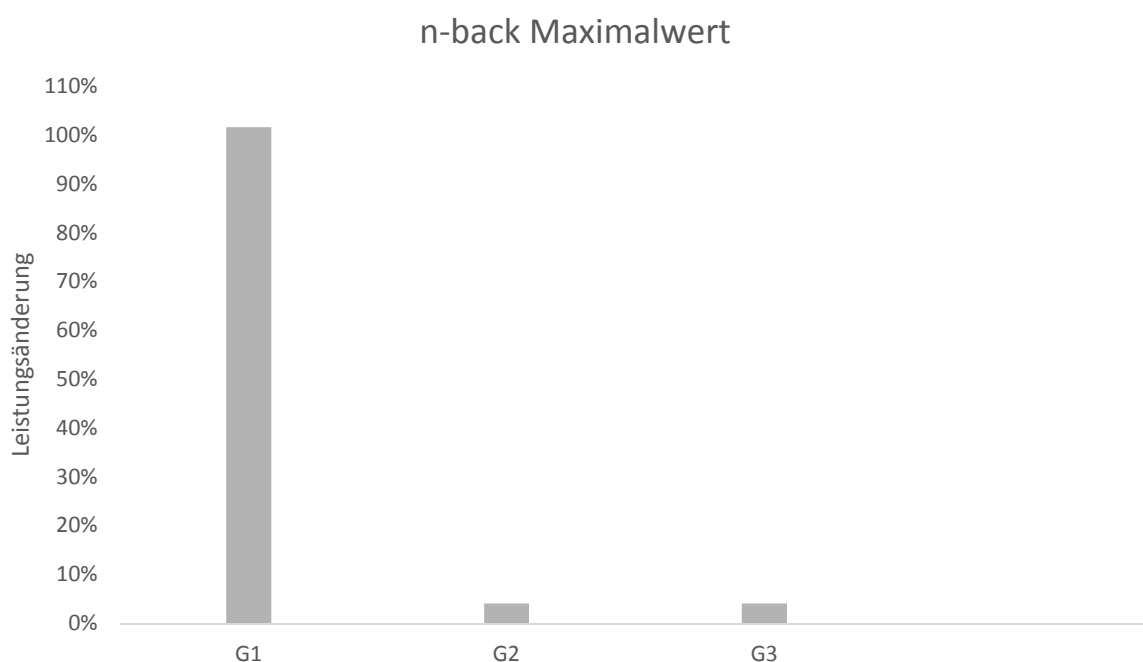


Abbildung 6: Leistungsänderung im n-back-Maximalwert nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3

---

<b>n-back Maximalwert</b>	<b>M ± SD (t1)</b>	<b>M ± SD (t2)</b>
<b>G1</b>	3,12 ± 0,93	6,29 ± 1,79
<b>G2</b>	2,94 ± 0,43	3,06 ± 0,43
<b>G3</b>	2,94 ± 0,24	3,06 ± 0,43

---

Tabelle 7: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 des n-back-Maximalwerts vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2)

In Abbildung 7 und Tabelle 8 wird die Leistungssteigerung im Verlauf des sechswöchigen dual-n-back-Trainings dargestellt. Die Kurven (siehe Abbildung 7) zeigen in der ersten Trainingswoche einen recht steilen Anstieg (von Sitzung 1 (= t1) bis Sitzung 7 mit einer Leistungssteigerung des n-back-Mittelwerts von 76% und des n-back-Maximalwerts von 66%), der anschließend abflacht (von Sitzung 7 bis zum Trainingsende (t2) Leistungssteigerung des n-back-Mittelwerts von zusätzlich 30% und des n-back-Maximalwerts von zusätzlich 36%), sodass sich die Leistung von der ersten Trainingssitzung (t1) bis zur letzten Trainingssitzung (t2) um 106% (n-back-Mittelwert) und 102% (n-back-Maximalwert) gesteigert hat. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Trainingssitzungen sind in Tabelle 8 dargestellt. t2 beinhaltet die Werte der jeweils letzten Trainingssitzung der Probanden (bei zehn Probanden entspricht dies der Sitzung 40, bei fünf Probanden der Sitzung 41, entsprechend einmal Sitzung 43 und einmal Sitzung 38).

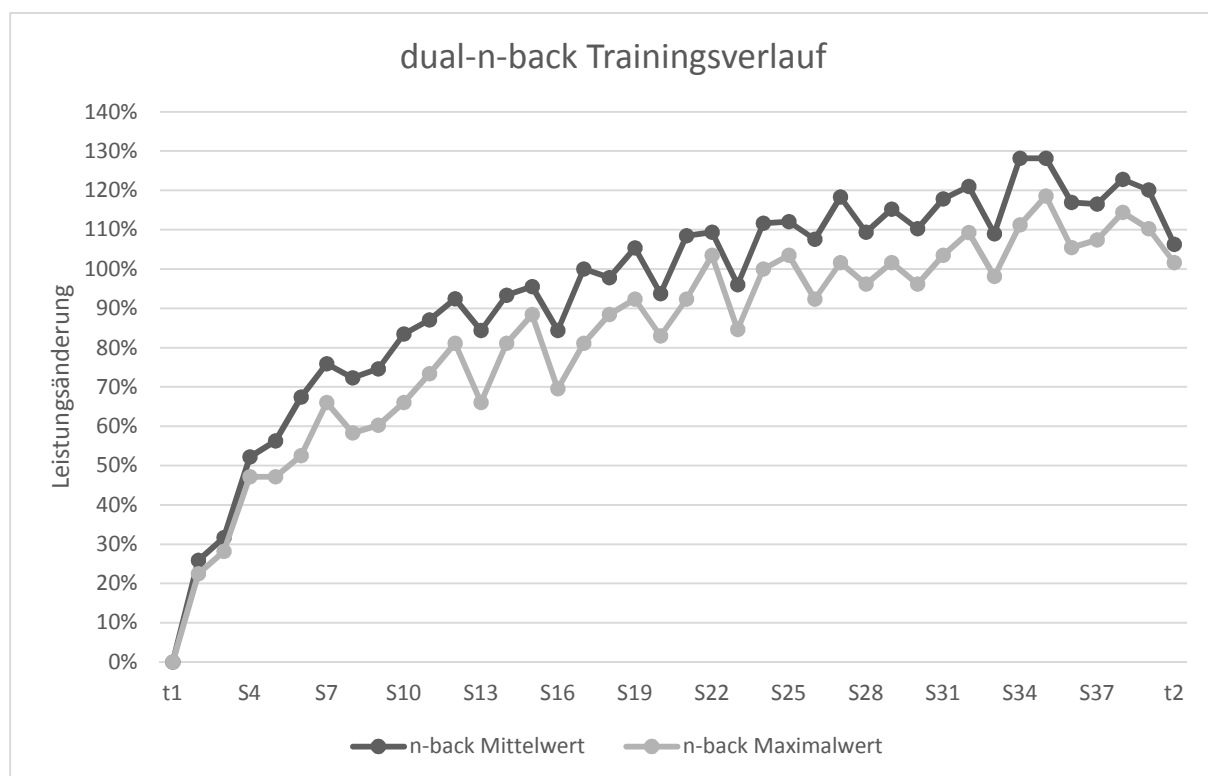


Abbildung 7: Leistungsänderung der n-back-Trainingsgruppe im Verlauf des sechswöchigen dual-n-back-Trainings vom Anfang (t1) über die täglichen Sitzungen (S) bis zum Ende (t2) des Trainings

<b>dual-n-back Trainingsverlauf</b>	<b>n-back Mittelwert (M ± SD)</b>	<b>n-back Maximalwert (M ± SD)</b>
t1	2,24 ± 0,53	3,12 ± 0,93
S2	2,82 ± 0,74	3,82 ± 1,07
S3	2,91 ± 0,68	4,00 ± 0,94
S4	3,41 ± 0,81	4,59 ± 1,23
S5	3,50 ± 0,85	4,59 ± 1,00
S6	3,75 ± 0,99	4,76 ± 1,25
S7	3,94 ± 1,11	5,18 ± 1,42
S8	3,86 ± 0,92	4,94 ± 1,14
S9	3,91 ± 1,08	5,00 ± 1,37
S10	4,11 ± 1,16	5,18 ± 1,47
S11	4,19 ± 1,17	5,41 ± 1,58
S12	4,31 ± 1,38	5,65 ± 1,84
S13	4,13 ± 1,04	5,18 ± 1,33
S14	4,33 ± 1,18	5,65 ± 1,50
S15	4,38 ± 1,26	5,88 ± 1,69
S16	4,13 ± 1,34	5,29 ± 1,45
S17	4,48 ± 1,20	5,65 ± 1,41
S18	4,43 ± 1,33	5,88 ± 1,73
S19	4,60 ± 1,44	6,00 ± 2,26
S20	4,34 ± 1,72	5,71 ± 2,28
S21	4,67 ± 1,35	6,00 ± 1,58
S22	4,69 ± 1,42	6,35 ± 1,87
S23	4,39 ± 1,43	5,76 ± 1,75
S24	4,74 ± 1,50	6,24 ± 2,25
S25	4,75 ± 1,69	6,35 ± 2,12
S26	4,65 ± 1,56	6,00 ± 2,09
S27	4,89 ± 1,53	6,29 ± 1,99
S28	4,69 ± 1,76	6,12 ± 2,23
S29	4,82 ± 1,64	6,29 ± 1,99
S30	4,71 ± 1,47	6,12 ± 1,87
S31	4,88 ± 1,58	6,35 ± 2,03
S32	4,95 ± 1,71	6,53 ± 2,24
S33	4,68 ± 1,52	6,18 ± 2,01
S34	5,11 ± 1,70	6,59 ± 2,12
S35	5,11 ± 1,81	6,82 ± 2,51
S36	4,86 ± 1,80	6,41 ± 2,53
S37	4,85 ± 1,60	6,47 ± 2,21
S38	4,99 ± 1,90	6,69 ± 2,47
S39	4,93 ± 1,55	6,56 ± 1,86
t2	4,62 ± 1,07	6,29 ± 1,79

Tabelle 8: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der n-back-Mittelwerte und n-back-Maximalwerte aller Trainingssitzungen (S); t1 entspricht der ersten Sitzung, t2 der letzten Sitzung

## 3.2 Arbeitsgedächtnis: Zahlenspanne rückwärts

Die Probanden der n-back-Trainingsgruppe (= G1) erreichten nach dem sechswöchigen dual-n-back-Training in dem Zahlenspanne-rückwärts-Test einen Mittelwert von 7,82 mit einer Standardabweichung von 1,47. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 15,68%. Die Probanden der aktiven Kontrollgruppe (= G2) erreichten nach dem sechswöchigen Langzeitgedächtnistraining einen Mittelwert von ebenfalls 7,82 mit einer Standardabweichung von 1,91. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 19,75%. Die Probanden der passiven Kontrollgruppe (= G3), die kein Training absolvierten, erreichten nach sechs Wochen einen Mittelwert von 7,18 mit einer Standardabweichung von 1,19. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 6,21%. Zur besseren Veranschaulichung siehe Abbildung 8 und Tabelle 9.

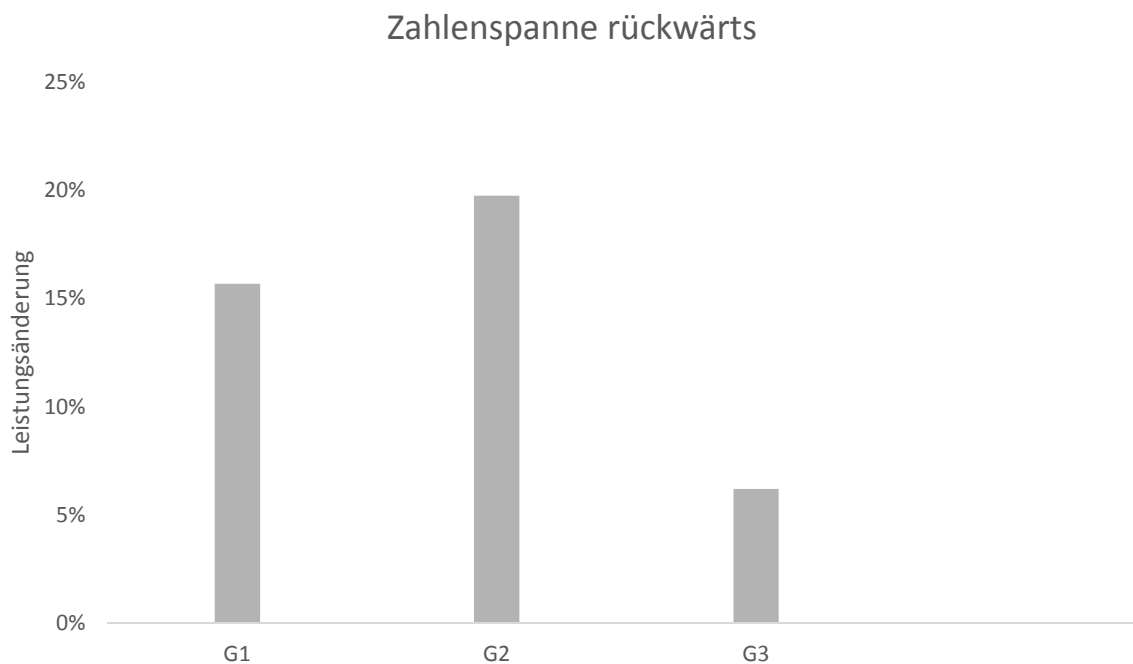


Abbildung 8: Leistungsänderung in der Zahlenspanne rückwärts nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3

Zahlenspanne rückwärts	M ± SD (t1)	M ± SD (t2)
<b>G1</b>	6,76 ± 1,44	7,82 ± 1,47
<b>G2</b>	6,53 ± 1,18	7,82 ± 1,91
<b>G3</b>	6,76 ± 1,56	7,18 ± 1,19

Tabelle 9: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 in der Zahlenspanne rückwärts vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der Länge der Zahlenspanne nach der klassischen Auswertung

### 3.3 Intelligenz: Bochumer Matrizenstest (BOMAT)

Die Probanden der n-back-Trainingsgruppe (= G1) erreichten nach dem sechswöchigen dual-n-back-Training in dem BOMAT einen Mittelwert von 9,71 mit einer Standardabweichung von 2,17. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 15,46%. Die Probanden der aktiven Kontrollgruppe (= G2) erreichten nach dem sechswöchigen Langzeitgedächtnistraining einen Mittelwert von 9,29 mit einer Standardabweichung von 2,49. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 8,15%. Die Probanden der passiven Kontrollgruppe (= G3), die kein Training absolvierten, erreichten nach sechs Wochen einen Mittelwert von 9,06 mit einer Standardabweichung von 2,95. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 0,67%. Zur besseren Veranschaulichung siehe Abbildung 9 und Tabelle 10.

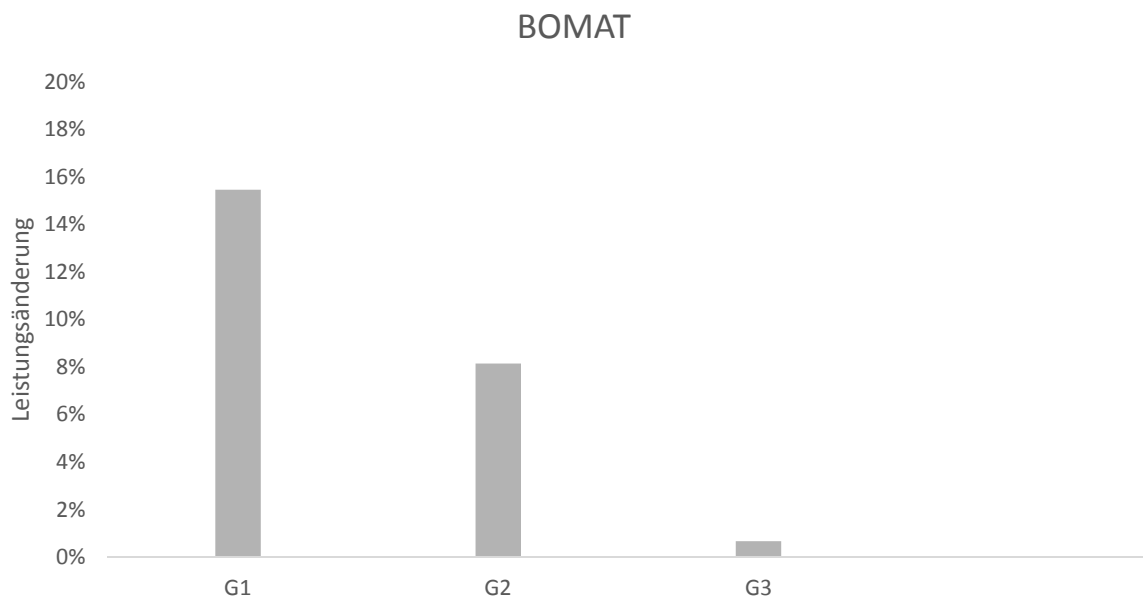


Abbildung 9: Leistungsänderung im BOMAT nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3

BOMAT	M ± SD (t1)	M ± SD (t2)
<b>G1</b>	8,41 ± 2,24	9,71 ± 2,17
<b>G2</b>	8,59 ± 2,55	9,29 ± 2,49
<b>G3</b>	9,00 ± 2,03	9,06 ± 2,95

Tabelle 10: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 im BOMAT vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der Anzahl der richtigen Lösungen

### 3.4 Verarbeitungsgeschwindigkeit: Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT)

Die Probanden der n-back-Trainingsgruppe (= G1) erreichten nach dem sechswöchigen dual-n-back-Training in dem ZVT einen Mittelwert von 52,94 mit einer Standardabweichung von 7,27. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 8,22%. Die Probanden der aktiven Kontrollgruppe (= G2) erreichten nach dem sechswöchigen Langzeitgedächtnistraining einen Mittelwert von 50,20 mit einer Standardabweichung von 7,13. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 4,65%. Die Probanden der passiven Kontrollgruppe (= G3), die kein



Training absolvierten, erreichten nach sechs Wochen einen Mittelwert von 52,57 mit einer Standardabweichung von 7,60. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 3,42%. Zur besseren Veranschaulichung siehe Abbildung 10 und Tabelle 11.

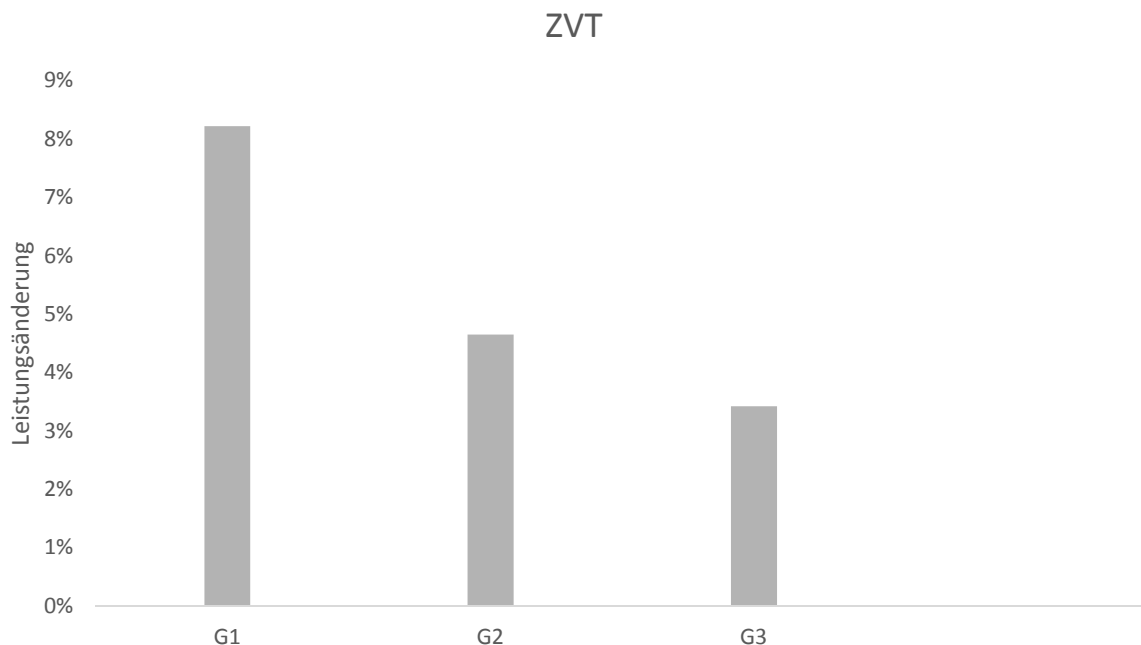


Abbildung 10: Leistungsänderung im ZVT nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3

ZVT	M ± SD (t1)	M ± SD (t2)
<b>G1</b>	57,68 ± 8,03	52,94 ± 7,27
<b>G2</b>	52,65 ± 7,05	50,20 ± 7,13
<b>G3</b>	54,43 ± 8,37	52,57 ± 7,60

Tabelle 11: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 im ZVT vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der benötigten Zeit in Sekunden

### 3.5 Kreativität: Alternative Uses

Die Probanden der n-back-Trainingsgruppe (= G1) erreichten nach dem sechswöchigen dual-n-back-Training in dem Alternative-Uses-Test einen Mittelwert von 37,71 mit einer

Standardabweichung von 9,95. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 13,45%. Die Probanden der aktiven Kontrollgruppe (= G2) erreichten nach dem sechswöchigen Langzeitgedächtnistraining einen Mittelwert von 42,88 mit einer Standardabweichung von 13,46. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 13,38%. Die Probanden der passiven Kontrollgruppe (= G3), die kein Training absolvierten, erreichten nach sechs Wochen einen Mittelwert von 41,00 mit einer Standardabweichung von 10,43. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 12,61%. Zur besseren Veranschaulichung siehe Abbildung 11 und Tabelle 12.

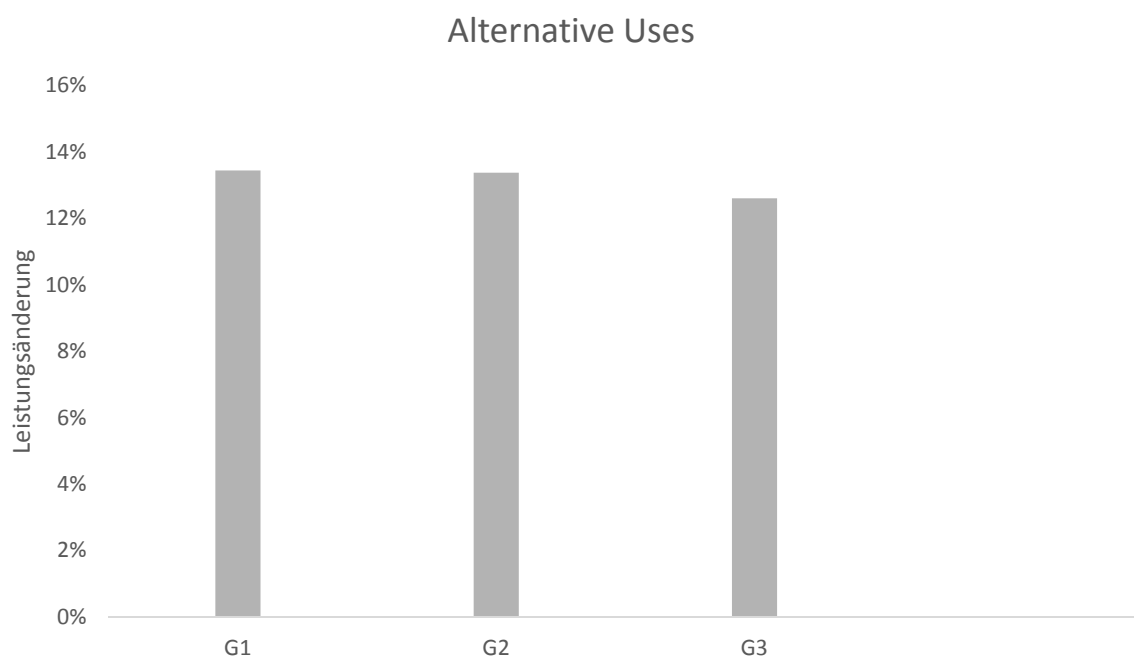


Abbildung 11: Leistungsänderung im Alternative-Uses-Test nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3

Alternative Uses	M ± SD (t1)	M ± SD (t2)
<b>G1</b>	33,24 ± 7,54	37,71 ± 9,95
<b>G2</b>	37,82 ± 11,59	42,88 ± 13,46
<b>G3</b>	36,41 ± 10,17	41,00 ± 10,43

Tabelle 12: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 im Alternative-Uses-Test vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der Anzahl der richtig gelösten Aufgaben

### 3.6 Deklaratives Gedächtnis: Verbales Gedächtnis / Falsches Erinnern / Falsches Wiedererkennen

Die Probanden der n-back-Trainingsgruppe (= G1) erreichten nach dem sechswöchigen dual-n-back-Training im verbalen Gedächtnis einen Mittelwert von 40,12 mit einer Standardabweichung von 10,58. Dies entsprach einer Leistungsabnahme von 1,02%. Die Probanden der aktiven Kontrollgruppe (= G2) erreichten nach dem sechswöchigen Langzeitgedächtnistraining einen Mittelwert von 51,59 mit einer Standardabweichung von 13,41. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 31,88%. Die Probanden der passiven Kontrollgruppe (= G3), die kein Training absolvierten, erreichten nach sechs Wochen einen Mittelwert von 41,59 mit einer Standardabweichung von 10,39. Dies entsprach einer Leistungssteigerung von 11,00%. Zur besseren Veranschaulichung siehe Abbildung 12 und Tabelle 13.

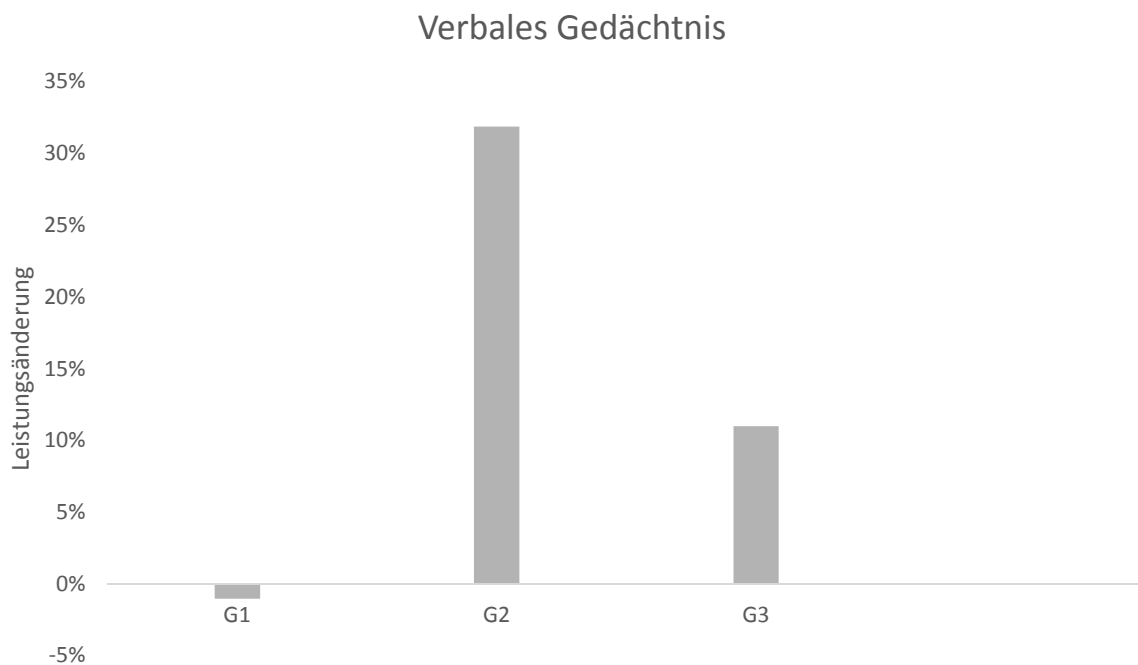


Abbildung 12: Leistungsänderung im verbalen Gedächtnis nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3

Verbales Gedächtnis	M ± SD (t1)	M ± SD (t2)
<b>G1</b>	40,53 ± 9,94	40,12 ± 10,58
<b>G2</b>	39,12 ± 7,61	51,59 ± 13,41
<b>G3</b>	37,47 ± 6,66	41,59 ± 10,39

Tabelle 13: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 im verbalen Gedächtnis vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der Anzahl der richtig gelösten Aufgaben

Die Probanden der n-back-Trainingsgruppe (= G1) erreichten nach dem sechswöchigen dual-n-back-Training im falschen Erinnern einen Mittelwert von 0,94 mit einer Standardabweichung von 0,90. Dies entsprach einer Zunahme von falscher Erinnerung um 59,32%. Die Probanden der aktiven Kontrollgruppe (= G2) erreichten nach dem sechswöchigen Langzeitgedächtnistraining einen Mittelwert von 0,82 mit einer Standardabweichung von 0,88. Dies entsprach einer Abnahme von falscher Erinnerung um 22,64%. Die Probanden der passiven Kontrollgruppe (= G3), die kein Training absolvierten, erreichten nach sechs Wochen einen Mittelwert von 1,18 mit einer Standardabweichung von 1,07. Dies entsprach einer Abnahme von falscher Erinnerung um 12,59%. Zur besseren Veranschaulichung siehe Abbildung 13 und Tabelle 14.

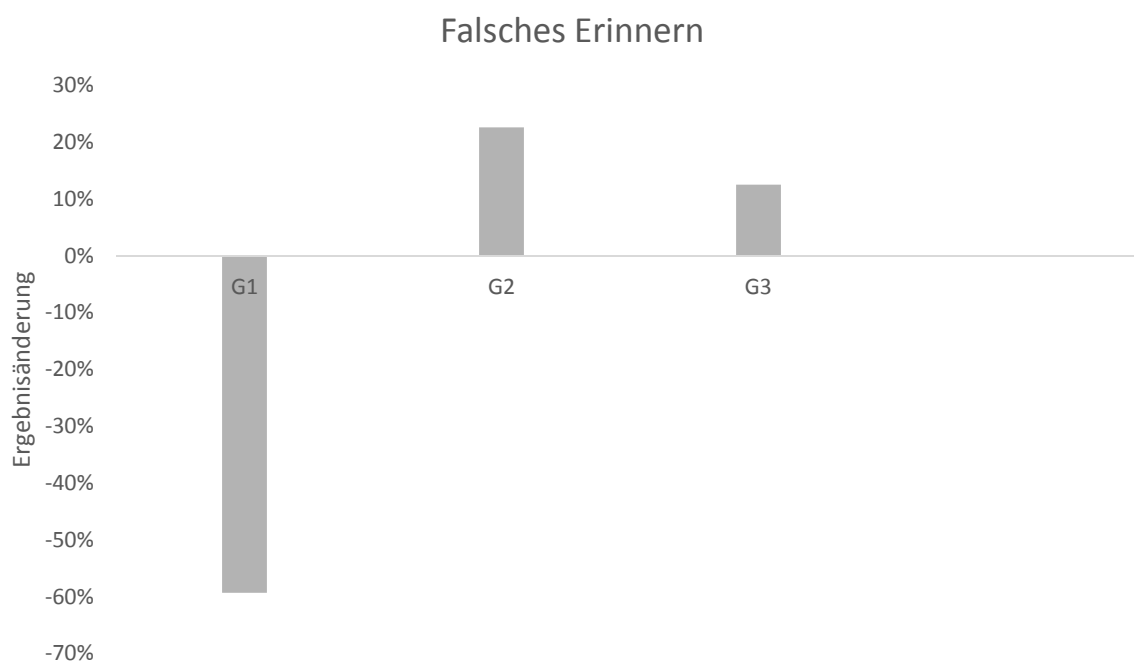


Abbildung 13: Ergebnisänderung im falschen Erinnern nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3

<b>Falsches Erinnern</b>	<b>M ± SD (t1)</b>	<b>M ± SD (t2)</b>
<b>G1</b>	0,59 ± 0,80	0,94 ± 0,90
<b>G2</b>	1,06 ± 0,90	0,82 ± 0,88
<b>G3</b>	1,35 ± 1,11	1,18 ± 1,07

Tabelle 14: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 im falschen Erinnern vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der Anzahl der falsch erinnerten Wörter („critical lures“)

Die Probanden der n-back-Trainingsgruppe (= G1) erreichten nach dem sechswöchigen dual-n-back-Training im falschen Wiedererkennen einen Mittelwert von 2,35 mit einer Standardabweichung von 1,22. Dies entsprach einer Zunahme von falschem Wiedererkennen um 2,62%. Die Probanden der aktiven Kontrollgruppe (= G2) erreichten nach dem sechswöchigen Langzeitgedächtnistraining einen Mittelwert von 3,29 mit einer Standardabweichung von 1,76. Dies entsprach einer Zunahme von falschem Wiedererkennen um 7,52%. Die Probanden der passiven Kontrollgruppe (= G3), die kein Training absolvierten, erreichten nach sechs Wochen einen Mittelwert von 2,71 mit einer Standardabweichung von 1,26. Dies entsprach einer Abnahme von falschem Wiedererkennen um 16,36%. Zur besseren Veranschaulichung siehe Abbildung 14 und Tabelle 15.

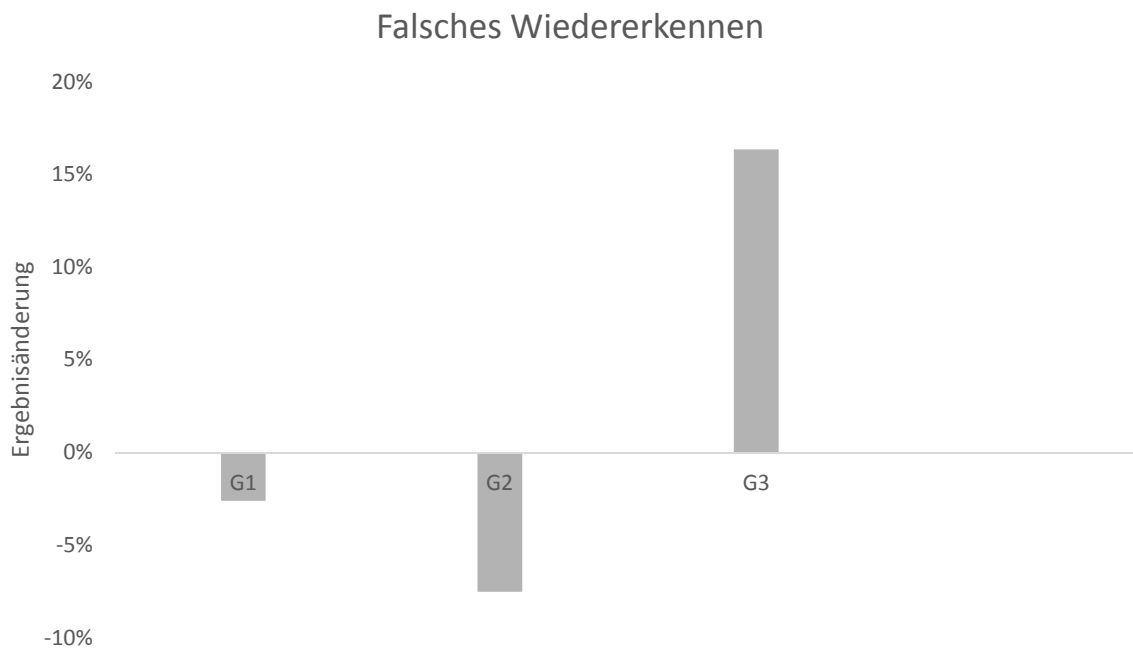


Abbildung 14: Ergebnisänderung im falschen Wiedererkennen nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3

<b>Falsches Wiedererkennen</b>	<b>M ± SD (t1)</b>	<b>M ± SD (t2)</b>
<b>G1</b>	2,29 ± 1,45	2,35 ± 1,22
<b>G2</b>	3,06 ± 1,48	3,29 ± 1,76
<b>G3</b>	3,24 ± 1,64	2,71 ± 1,26

Tabelle 15: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 im falschen Wiedererkennen vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der Anzahl der falsch erinnerten Wörter („critical lures“)

### 3.7 Inferenzstatistische Ergebnisse

Die MANOVA mit Messwiederholung zeigte neben einem signifikanten Zeiteffekt ( $F_{9,40} = 22.43$ ,  $p < .001$ ) und einem signifikanten Trainingsgruppeneffekt ( $F_{18,80} = 4.63$ ,  $p < .001$ ) eine signifikante Interaktion zwischen Zeit und Trainingsgruppe an ( $F_{18,80} = 8.66$ ,  $p < .001$ ).

Die anschließenden univariaten ANOVAs zeigten signifikante Zeit x Trainingsgruppe-Interaktionen für Verbales auditives Gedächtnis ( $F_{2,48} = 5.82$ ,  $p = .005$ ), n-back-Mittelwert ( $F_{2,48} = 87.00$ ,  $p < .001$ ) und n-back-Maximalwert ( $F_{2,48} = 60.59$ ,  $p < .001$ ) an. Keine der anderen Variablen zeigte eine signifikante Zeit x Trainingsgruppe-Interaktion, wobei der ZVT einen Trend aufwies ( $F_{2,48} = 3.09$ ,  $p = .055$ ). Die statistischen Ergebnisse der ANOVAs sind in Tabelle 16 dargestellt.

Task	$F_{2,48}$	p	$\eta^2$
Verbales Gedächtnis	5.82	.005*	.195
Falsches Erinnern	1.40	.258	.055
Falsches Wiedererkennen	0.91	.411	.036
n-back-Mittelwert	87.01	.001*	.784
n-back-Maximalwert	60.59	.001*	.716
BOMAT	1.08	.347	.043
ZVT	3.09	.055	.114
Zahlenspanne rückwärts	1.54	.225	.060
Alternative Uses	0.02	.977	.001

Tabelle 16: Ergebnisse der Zeit  $\times$  Trainingsbedingung-Analysen der ANOVAs.

Die posthoc-Tests zeigten, dass die n-back-Trainingsgruppe signifikant höhere Zuwächse als die aktive Kontrollgruppe und die passive Kontrollgruppe sowohl für den n-back-Mittelwert ( $p < .001$ ) als auch den n-back-Maximalwert ( $p < .001$ ) aufwies.

Im BOMAT zeigte die n-back-Trainingsgruppe nominal höhere Leistungszuwächse als die aktive Kontrollgruppe und die passive Kontrollgruppe, die Unterschiede erwiesen sich jedoch weder in der ANOVA, noch in den Posthoc-Tests als signifikant (alle  $p > .3$ ).

Weiterhin wies die aktive Kontrollgruppe signifikant höhere Zuwächse als die passive Kontrollgruppe ( $p < .046$ ) und marginal signifikant höhere Zuwächse als die n-back-Trainingsgruppe ( $p < .084$ ) im Test Verbales auditives Gedächtnis auf.

### 3.8 Korrelationen

Innerhalb der n-back-Trainingsgruppe korrelierte die im Screening gemessene Intelligenz signifikant positiv mit den Zuwächsen im n-back-Mittelwert ( $r = .51$ ,  $p = .037$ ) und dem n-back-Maximalwert ( $r = .57$ ,  $p = .017$ ), nicht aber mit den Zuwächsen im BOMAT ( $r = .24$ ,  $p = .36$ ), siehe auch Abbildungen 15, 16 und 17.



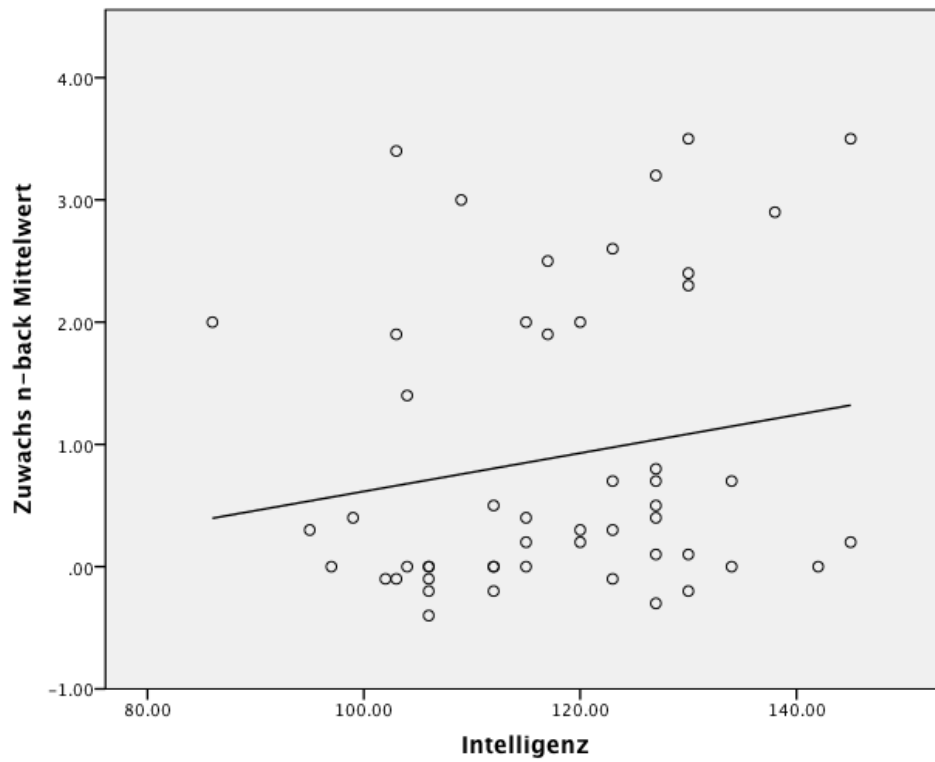


Abbildung 15: Korrelation zwischen Intelligenz und Leistungszuwachs im n-back-Task nach n-back-Training.

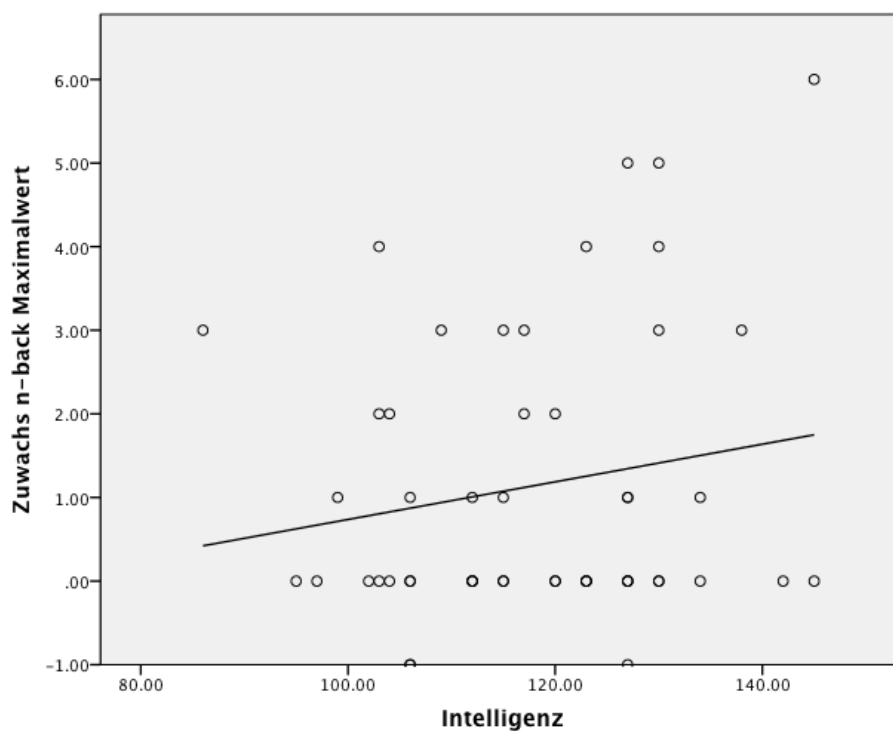


Abbildung 16: Korrelation zwischen Intelligenz und Leistungszuwachs im n-back-Task nach n-back-Training.

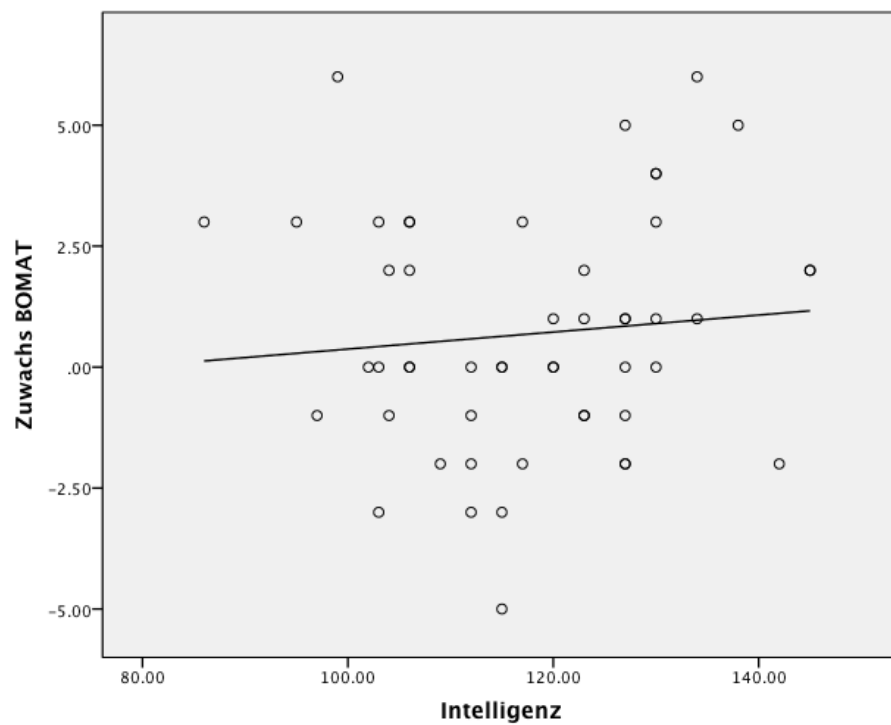


Abbildung 17: Korrelation zwischen Intelligenz und Leistungszuwachs im BOMAT nach n-back-Training

### 3.9 Magnetresonanztomographie

In keiner der drei Trainingsbedingungen wurden signifikante Unterschiede in der grauen Substanz nach der Trainingsphase im Vergleich zum Ausgangsniveau gefunden.

---

## 4 Diskussion

### 4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit der Studie sollte herausgefunden werden, ob durch ein Arbeitsgedächtnistraining, im Vergleich mit einer passiven und aktiven Kontrolle, bestimmte kognitive Funktionen verbessert werden können. Die Studie wurde mit gesunden, jungen, männlichen Erwachsenen zwischen 18 und 30 Jahren durchgeführt.

Die Ergebnisse ergaben, dass gesunde junge Erwachsene, die ein dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining täglich für 40 Tage zu je ungefähr 30 Minuten durchführten, im Vergleich zu einer passiven und aktiven Kontrolle, keine statistisch signifikante Verbesserung in den nicht-trainierten Aufgaben des Arbeitsgedächtnisses und bestimmter kognitiver Funktionen (fluide Intelligenz, Verarbeitungsgeschwindigkeit, Kreativität, deklaratives Gedächtnis) zeigen konnten.

Bei den in vorliegender Studie getesteten Hypothesen zeigten sich folgende Ergebnisse:

#### 1. Trainingseffekte

- Die Trainingsgruppe verbessert sich im Laufe des dual-n-back-Arbeitsgedächtnistrainings in der trainierten Aufgabe (n-back-Mittelwert und n-back-Maximalwert).
- Die Trainingsgruppe verbessert sich vom ersten zum zweiten Messtermin stärker in der dual-n-back-Aufgabe als die beiden Kontrollgruppen (n-back-Mittelwert und n-back-Maximalwert).

Diese beiden Hypothesen wurden bestätigt.

#### 2. Transfereffekte

- Die Trainingsgruppe verbessert sich vom ersten zum zweiten Messtermin stärker in der nicht-trainierten Arbeitsgedächtnisaufgabe als die beiden Kontrollgruppen (naher Transfer).
- Die Trainingsgruppe verbessert sich vom ersten zum zweiten Messtermin stärker in der fluiden Intelligenz als die beiden Kontrollgruppen (ferner Transfer).

- Explorativ wird zudem getestet, ob sich die Trainingsgruppe vom ersten zum zweiten Messtermin stärker in den Tests weiterer kognitiver Funktionen verbessert als die beiden Kontrollgruppen.

Diese Hypothesen wurden nicht bestätigt.

### 3. Korrelationen

- Es gibt einen Zusammenhang zwischen der im Screening gemessenen Intelligenz und der Leistung in der trainierten dual-n-back-Aufgabe (n-back-Mittelwert und n-back-Maximalwert).

Diese Hypothese wurde bestätigt. Die im Screening gemessene Intelligenz korrelierte positiv mit den Zuwächsen im n-back-Mittelwert und n-back-Maximalwert.

- Es gibt einen Zusammenhang zwischen der im Screening gemessenen Intelligenz und dem Leistungszuwachs im BOMAT nach n-back-Training.

Diese Hypothese wurde nicht bestätigt.

### 4. Magnetresonanztomographie

- Es werden signifikante Unterschiede in der grauen Substanz nach der Trainingsphase im Vergleich zum Ausgangsniveau gefunden.

Diese Hypothese wurde in Übereinstimmung mit den anderen Ergebnissen nicht bestätigt.

Die Ergebnisse unterstützen andere dual-n-back-Trainingsstudien, in denen auch keine Effekte auf Messungen des Arbeitsgedächtnisses und anderer kognitiver Funktionen, wie der fluiden Intelligenz, gefunden wurden (Redick et al., 2013; Thompson et al., 2013; Colom et al., 2013; Chooi & Thompson, 2012).

## 4.2 Trainingseffekte: Arbeitsgedächtnistraining

Die Trainingsgruppe konnte ihre Leistung in der trainierten Aufgabe im Laufe des 40-tägigen Arbeitsgedächtnistrainings steigern und erreichte signifikant höhere Zuwächse als die aktive Kontrollgruppe und die passive Kontrollgruppe sowohl für den n-back-Mittelwert als auch den n-back-Maximalwert. Dies stimmt mit den Ergebnissen früherer dual-n-back-Trainingsstudien mit jungen Erwachsenen überein (Jaeggi et al., 2008; Redick et al., 2013; Thompson et al., 2013). Hätte sich kein Effekt in der trainierten Aufgabe gefunden, wären die fehlenden Transfereffekte offensichtlich ohne Informationsgehalt (Redick et al., 2013). Das Ausmaß der Verbesserung in der trainierten dual-n-back-Aufgabe war dem Ausmaß der Verbesserung der von Jaeggi et al. (2008) durchgeführten Studie, die eine Verbesserung der fluiden Intelligenz nachweisen konnte, sehr ähnlich. Die Trainingsgruppe von Jaeggi et al. (2008), die 19 Sitzungen der dual-n-back-Aufgabe absolvierte, steigerte sich um 2,3 n-back-Level. Die Trainingsgruppe meiner Studie absolvierte 40 Sitzungen der dual-n-back-Aufgabe und steigerte sich im Laufe des Trainings um 2,4 n-back-Level. Ein ähnliches Ergebnis erreichten die Probanden der Studie von Thompson et al. (2013), deren Gesamttrainingszeit weitgehend meiner Studie entsprach. Zwei andere Studien berichteten von einer geringeren Verbesserung der Probanden in der dual-n-back-Aufgabe nach 20-tägigem dual-n-back-Training (Redick et al., 2013; Chooi & Thompson, 2012). Die Probanden von Redick et al. (2013) steigerten sich um nur 1,8 n-back-Level. Jaeggi et al. konnten in ihrer 2008 durchgeführten Studie einen Transfer auf die fluide Intelligenz finden. Redick et al. (2013), Thompson et al. (2013) und Chooi & Thompson (2012) konnten in Übereinstimmung mit meiner Studie aber keinen Transfer finden. In einer 2015 durchgeführten Metaanalyse (Au et al., 2015), die 20 Studien einschloss, unter anderem die eben erwähnten, zeigte sich ein kleiner, aber signifikanter positiver Effekt auf die fluide Intelligenz nach n-back-Training. Würde man nur die zwei Studien von Redick et al. (2013) und Chooi & Thompson (2012) betrachten, könnte es sein, dass die geringere Verbesserung in der trainierten dual-n-back-Aufgabe den fehlenden Transfer auf die fluide Intelligenz erklären könnte. Die Ergebnisse meiner Studie und auch der Studie von Thompson et al. (2013) sprechen aber dafür, dass für den fehlenden Transfer auf unter anderem die fluide Intelligenz, nicht die Verbesserung in der trainierten dual-n-back-Aufgabe verantwortlich zu sein scheint. Ebenfalls erwähnenswert ist, dass die Probanden meiner Studie in etwa doppelt so lange und die Probanden der Studie von Thompson et al. (2013) in etwa ein Drittel mehr trainierten als die Probanden der Trainingsgruppe von Jaeggi et al. (2008), die 19

Trainingseinheiten absolvierten. Trotz des längeren Trainings konnten sich die Probanden der beiden Studien in der trainierten dual-n-back-Aufgabe nicht mehr steigern als die Probanden der Studie von Jaeggi et al. (2008). Warum das zusätzliche Training nicht zu einer stärkeren Verbesserung der Arbeitsgedächtniskapazität führte, ist nicht bekannt. Eine mögliche Erklärung wäre, dass das dual-n-back-Training eine Obergrenze aufweist, bis zu der eine Steigerung möglich ist. Darüber hinaus ist keine Verbesserung mehr möglich (Thompson et al., 2013). Der Verlauf der Trainingskurve meiner Probanden könnte dies unterstützen. Zu Beginn des Trainings kommt es recht schnell zu einer großen Leistungssteigerung in der dual-n-back-Aufgabe. Im Laufe des Trainings stagniert die Kurve weitgehend auf einem Leistungsniveau (siehe Abbildung 7). Ebenso könnte das Auftreten von Transfer, so wie das Ausmaß der Verbesserung in der dual-n-back-Aufgabe individuell unterschiedlich ist, vom jeweiligen Individuum abhängen (Thompson et al., 2013). Ein individueller Faktor, von dem das Ausmaß der Verbesserung in der dual-n-back-Aufgabe abhängen könnte, ist der Baseline-IQ. In unserer Studie korrelierte die im Screening gemessene Intelligenz positiv mit den Zuwächsen im n-back-Mittelwert und n-back-Maximalwert, das heißt die Probanden mit initial höherem Baseline-IQ steigerten sich in der dual-n-back-Aufgabe mehr als die Probanden mit initial niedrigerem Baseline-IQ. Dieses Ergebnis steht im Kontrast zu den Ergebnissen der Studie von Jaeggi et al. (2008), bei der sich die Probanden mit initial niedrigerem Baseline-IQ sogar etwas mehr in der dual-n-back-Aufgabe steigerten als diejenigen mit initial höherem Baseline-IQ. Diese unterschiedlichen Ergebnisse sind eventuell auf die verschiedenen Studienbedingungen (siehe 4.6) zurückzuführen.

Als wesentlich anzusehen sind in meiner Studie die besonders guten Kontrollbedingungen. Im Gegensatz zur Studie von Jaeggi et al. (2008), die lediglich eine passive Kontrollgruppe verwendete, wurde in meiner Studie zusätzlich eine vergleichbar anspruchsvolle und motivierende, aber auf ganz anderen kognitiven Mechanismen beruhende aktive Kontrollgruppe verwendet. Auch wies die Testbatterie eine große Breite auf, so dass viele Daten in die Ergebnisse mit einfließen konnten. Dennoch konnte kein Transfer, insbesondere auf die fluide Intelligenz, gefunden werden.

## 4.3 Transfereffekte: Naher Transfer und ferner Transfer

Ein möglicher Mechanismus, um Transfer zu erhalten, könnte sein, dass die trainierte Aufgabe und die nicht-trainierten Aufgaben eine gemeinsame Verarbeitungsgrundlage teilen (Jaeggi et al., 2008; Jonides, 2004) oder auch dass die trainierte Aufgabe ähnliche Gehirnareale wie die nicht-trainierten Aufgaben aktiviert (Jaeggi & Buschkuhl, 2014). Bei Betrachtung der aktuellen Studienlage fällt auf, dass die Studien, die den Transfer von der trainierten dual-n-back-Aufgabe auf nicht-trainierte Arbeitsgedächtnisaufgaben (naher Transfer) und/oder andere kognitive Funktionen wie die fluide Intelligenz (ferner Transfer) untersucht haben, unterschiedliche Ergebnisse erhalten haben. Einige Studien konnten einen nahen Transfer (Jaeggi et al., 2008; Seidler et al., 2010; Schweizer et al., 2011) und/oder einen fernen Transfer (Jaeggi et al., 2008; Jaeggi et al., 2010; Schweizer et al., 2011; Rudebeck et al., 2012; Au et al., 2015) zeigen, während andere Studien weder einen nahen noch einen fernen Transfer (Redick et al., 2013; Thompson et al., 2013; Colom et al., 2013; Chooi & Thompson, 2012) finden konnten.

### 4.3.1 Naher Transfer

Arbeitsgedächtnistraining führt typischerweise zu Veränderungen in nicht-trainierten Arbeitsgedächtnisaufgaben (Shipstead et al., 2012; Morrison & Chein, 2011). Es ist einleuchtend, dass ein Transfer auf Aufgaben, die „identische Elemente“ (Thorndike & Woodworth, 1901) teilen, möglich ist (Redick et al., 2013). In meiner Studie konnte allerdings kein naher Transfer auf eine nicht-trainierte Arbeitsgedächtnisaufgabe nachgewiesen werden. Als Aufgabe, um den nahen Transfer zu untersuchen, wurde die digit-span-backward-Aufgabe (Zahlenspanne rückwärts) verwendet. Redick und Lindsey berichteten in ihrer Meta-Analyse, dass die complex-span-Aufgaben und die n-back-Aufgaben nur schwache Korrelationen aufweisen. Selbiges gelte auch für simple-span und n-back-Aufgaben (Redick & Lindsey, 2013). Falls es nur wenige oder keine überlappenden Prozesse zwischen den zwei Arten von Arbeitsgedächtnisaufgaben gibt, dann wäre die Wahrscheinlichkeit, dass eine Verbesserung in einer Aufgabe (dual-n-back-Aufgabe) zu einer verbesserten Leistung in anderen nicht-trainierten Aufgaben (span tasks) führt, nicht sehr hoch (Redick et al., 2013). Die Studienlage hierzu ist unbeständig. Einige Studien konnten einen Transfer auf eine nicht-trainierte

Arbeitsgedächtnisaufgabe finden (Jaeggi et al., 2008; Seidler et al., 2010; Schweizer et al., 2011), einige Studien nicht (Redick et al., 2013; Thompson et al., 2013; Colom et al., 2013; Chooi & Thompson, 2012). Die verwendeten Transferaufgaben, die Stichprobengrößen und das absolvierte Training unterschieden sich allerdings sehr, so dass ein Vergleich der verschiedenen Studien schwer möglich ist. Die Korrelation der n-back-Aufgabe mit der in der Studie verwendeten digit-span-backward-Aufgabe soll allerdings höher sein als die Korrelation der n-back-Aufgabe mit verbalen complex-span-Aufgaben oder der digit-span-forward-Aufgabe. Dies könnte auf einer größeren Ähnlichkeit der beteiligten Prozesse bei der Ausführung der beiden Aufgaben beruhen (Redick & Lindsey, 2013). Dennoch konnten wir keinen signifikanten Transfer von der dual-n-back-Aufgabe auf die digit-span-backward-Aufgabe finden. Ein Vergleich der Ergebnisse mit der aktiven Kontrollgruppe könnte irreführend sein, denn die aktive Kontrollgruppe lernte in ihrem Training eine Strategie kennen, mit der man sich Zahlen besser merken kann. Diese wurde aber nicht aktiv trainiert, so dass dadurch, wenn überhaupt, nur von einem geringen Einfluss ausgegangen werden kann.

### **4.3.2 Ferner Transfer**

Trotz der Verbesserung der Leistung in der trainierten dual-n-back-Aufgabe konnte kein positiver Transfer auf die untersuchten kognitiven Funktionen (fluide Intelligenz, Verarbeitungsgeschwindigkeit, Kreativität und deklaratives Gedächtnis) gefunden werden.

#### **4.3.2.1 Ferner Transfer auf die fluide Intelligenz**

Die Möglichkeit, dass die fluide Intelligenz durch ein dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining verbessert werden kann, bestätigten viele Ergebnisse (Jaeggi et al., 2008; Jaeggi et al., 2010; Rudebeck et al., 2012; Schweizer et al., 2011; Au et al., 2015). Die Arbeitsgedächtniskapazität und die fluide Intelligenz korrelieren hoch und zeigen eine ähnliche Aktivierung von Gehirnarealen (Conway, Kane, & Engle, 2003). Jedoch ergab sich keine signifikante Verbesserung der fluiden Intelligenz nach dem 40-tägigen dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining verglichen mit der aktiven Kontrollgruppe oder der passiven Kontrollgruppe.



Eine mögliche Antwort für den fehlenden Transfer auf die fluide Intelligenz ist laut Redick et al., dass durch ein Arbeitsgedächtnistraining eigentlich nicht häufig ein Transfer auf die fluide Intelligenz beobachtet wird (Redick, et al., 2013). Jaeggi et al., die in ihrer Studie von einem positiven Transfer auf die fluide Intelligenz berichteten, verwendeten als Maß für die fluide Intelligenz ebenfalls den BOMAT. Wie in meiner Studie hatten die Probanden lediglich 10 Minuten Zeit, um möglichst viele Items zu lösen. Trotzdem konnten die Probanden der Trainingsgruppe meiner Studie keine signifikante Verbesserung im BOMAT nach dem Training erreichen. Weitere Studien finden ebenfalls keine Transfereffekte nach dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining. Redick et al. (2013) wollten die Methoden von Jaeggi et al. (2008) replizieren und fügten einige Messungen mehr hinzu (fluide Intelligenz, kristalline Intelligenz, Multitasking, Arbeitsgedächtniskapazität, Verarbeitungsgeschwindigkeit), konnten aber dennoch keinen Transfer finden. Auch Thompson et al. fanden keinen Transfer. Ein möglicher Grund des fehlenden Transfers auf die fluide Intelligenz könnte die überdurchschnittliche Intelligenz der Probanden gewesen sein (mittlerer Intelligenzwert laut Wechsler-Intelligenztest von 121). Ein Deckeneffekt könnte das Auftreten oder die Erfassung einer Verbesserung der fluiden Intelligenz verhindern (Thompson, et al., 2013). Der im Screening mittels CFT erfasste mittlere Intelligenzwert meiner Trainingsgruppe betrug 117,71. Laut Jaeggi et al. (2008) könnten die Probanden, die am Ende des Trainings ein sehr hohes Level des n erreicht haben, aufgabenspezifische Strategien entwickelt haben, die die n-back-Leistung verbesserten, den Transfer jedoch verhinderten, weil die gelernten Strategien zu aufgabenspezifisch waren. Man könne also nicht mittels des erreichten n-back-Levels die Steigerung der fluiden Intelligenz vorhersagen. Ein Grund für den fehlenden Transfer könnte daher sein, dass die Probanden häufig Strategien entwickelt haben, um in der n-back-Aufgabe besser zu werden. Für den erhofften Transfer auf die fluide Intelligenz könnte sich dies eher negativ ausgewirkt haben. Dafür würde auch das Ergebnis sprechen, dass Probanden mit höherem Baseline-IQ sich stärker in der dual-n-back-Aufgabe verbessert haben als Probanden mit niedrigerem Baseline-IQ. Auch die Trainingszeit könnte hierbei eine Rolle spielen. Meine Probanden trainierten doppelt so lange wie die Probanden der Studie von Jaeggi et al. (2008), wodurch eventuell mehr Strategien entwickelt wurden als bei kürzerer Trainingsdauer. Leider wurden die verwendeten Strategien nicht explizit abgefragt. Dies könnte in zukünftigen Studien umfangreicher untersucht werden.

### **4.3.2.2 Ferner Transfer auf Verarbeitungsgeschwindigkeit, Kreativität, deklaratives Gedächtnis**

Neben der Untersuchung des Transfers auf die fluide Intelligenz gibt es Studien, die den Transfer auf viele andere kognitive Funktionen, wie die kognitive Kontrolle, das episodische Gedächtnis oder auch das Leseverständnis nach einem Arbeitsgedächtnistraining untersucht haben. Daher sollte auch in meiner Studie herausgefunden werden, ob bestimmte kognitive Funktionen von einem Arbeitsgedächtnistraining profitieren können. Hierzu wurden zusätzliche Tests, die die Verarbeitungsgeschwindigkeit, die Kreativität und das deklarative Gedächtnis messen, in unsere Studie eingeschlossen. Jedoch wurde auch hier kein Transfer vom Arbeitsgedächtnis auf eine dieser kognitiven Funktionen gefunden. Um festzustellen, ob mögliche Transfereffekte aufgrund einer Veränderung der Verarbeitungsgeschwindigkeit zustande kommen, wurde der Zahlenverbindungstest durchgeführt. Hierbei ließ sich ein Trend nachweisen. Bei größerer Stichprobe wäre vielleicht eine signifikante Steigerung gefunden worden. Zusammenfassend könnte sich also das dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining positiv auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit auswirken und dies langfristig zu einer verbesserten fluiden Intelligenz beitragen.

## **4.4 Korrelationen**

Jaeggi et al. (2008) postulierten, dass der Transfer auf die fluide Intelligenz von der Trainingsdosis abhängt. Je mehr Trainingssitzungen die Probanden absolvieren, desto wahrscheinlicher wird Transfer beobachtet. Diese Aussage hat sich nicht bestätigt. Obwohl die Probanden mindestens doppelt so viele Trainingssitzungen der dual-n-back-Aufgabe absolvierten wie die Probanden von Jaeggi et al., wurde kein Transfer beobachtet.

Vorbestehende individuelle Unterschiede in der Intelligenz oder der Arbeitsgedächtniskapazität spielen keine Rolle. Beide Probandengruppen, sowohl Probanden mit initial niedriger fluider Intelligenz als auch Probanden mit initial hoher fluider Intelligenz profitieren ähnlich. Probanden mit initial niedriger fluider Intelligenz zeigten sogar etwas größere Steigerungen als die Probanden mit initial höherer fluider Intelligenz (Jaeggi et al., 2008). Diese Ergebnisse konnte ich nicht bestätigen. Die im Screening gemessene Intelligenz korrelierte positiv mit den Zuwächsen im n-back-Mittelwert und n-back-Maximalwert, jedoch

nicht mit den Zuwächsen im BOMAT. Mit anderen Worten, die Probanden mit initial höherer Intelligenz steigerten sich in der dual-n-back-Aufgabe mehr als die Probanden mit initial niedrigerer Intelligenz. Meine Studie erbrachte also ein gegensätzliches Ergebnis zu der Studie von Jaeggi et al. (2008). Auf eine mögliche Verbesserung der Intelligenz scheint die initiale Intelligenz allerdings keinen Einfluss zu haben. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Probanden mit initial höherer Intelligenz eine bessere Leistung in der dual-n-back-Aufgabe erreichen können. Eine Auswirkung auf einen möglichen Transfer konnte aber nicht beobachtet werden.

## 4.5 Magnetresonanztomographie

Mittels der Magnetresonanztomographie sollte herausgefunden werden, ob sich das Volumen der grauen Substanz durch das dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining ändert. Nach dem Training wurden keine wesentlichen anatomischen Effekte, insbesondere auf die graue Substanz, gefunden. Dieses Ergebnis ist konsistent mit den weiteren Studienergebnissen, in denen keine breiten Transfereffekte nachgewiesen werden konnten.

Das Ergebnis steht im Kontrast zu den Ergebnissen der Studie von Colom et al. (2016). Diese berichtet von einer Volumenzunahme der grauen Substanz der Trainingsgruppe nach n-back-Arbeitsgedächtnistraining in bestimmten Hirnregionen. Statistisch signifikante Korrelationen zwischen dieser Volumenzunahme und den beobachteten Transfereffekten, unter anderem auf die fluide Intelligenz, fanden sich nicht, so dass psychologische und biologische Änderungen als unabhängig angesehen wurden (Colom, et al., 2016). Auch hier muss davon ausgegangen werden, dass diese konträren Ergebnisse auf unterschiedliche Studienbedingungen (siehe 4.6) zurückzuführen sind. Die Studie von Colom et al. (2016) verwendete zum Beispiel im Gegensatz zu meiner Studie keine aktive Kontrollgruppe, was methodisch ein Mangel ist.

## 4.6 Diskussion der Studienbedingungen

Als mögliche Erklärungen für die unterschiedlichen Transfereffekte der Studien kommen einerseits methodische Aspekte und andererseits individuelle Unterschiede in Betracht.

### 4.6.1 Methodische Aspekte

Einige Studien wurden kritisiert, da sie keine aktive Kontrollgruppe verwendet hatten. Dies könnte bedeuten, dass der gefundene Transfer auf einem „Hawthorne-Effekt“ beruht (Jaeggi et al., 2014): Einige Studien haben zwar eine aktive Kontrollgruppe benutzt, die Kontrollaufgabe wurde aber kritisiert – die aktive Kontrollgruppe sollte möglichst gleich viel Kontakt zu den Studienleitern haben wie die Trainingsgruppe, und die Aufgaben sollten auch beide ähnlich herausfordernd und Spaß machend sein. Die aktive Kontrollgruppe meiner Studie absolvierte ein Langzeitgedächtnistraining und lernte hierfür in einer Einführung eines professionellen Gedächtnistrainers verschiedene Mnemotechniken. Die Probanden der Trainingsgruppe erhielten lediglich eine kurze Einführung in die dual-n-back-Aufgabe. Es kann durchaus sein, dass die aktive Kontrollgruppe durch die längere Einführung motivierter war und mehr Steigerungspotenzial sah als die Trainingsgruppe. Das Training der aktiven Kontrollgruppe war abwechslungsreicher und eher auf das tägliche Leben anwendbar, so dass angenommen werden kann, dass der aktiven Kontrollgruppe das Training mehr Spaß gemacht hat und damit die Leistung besser war. Dies könnte ein möglicher Grund für die fehlenden Transfereffekte sein.

Laut Shipstead et al. (2012) verwendeten viele Studien nur einen Test, um einen Transfereffekt auf eine kognitive Funktion zu bestimmen. Der Effekt könnte nur testspezifisch sein, aber allgemein nicht gefunden werden. Hierbei von Transfer oder fehlendem Transfer zu sprechen, wäre falsch. In meiner Studie wurde auch nur jeweils ein Test benutzt, um einen Transfer auf das Arbeitsgedächtnis und bestimmte kognitive Funktionen zu bestimmen. Es könnte sein, dass durch mehrere Tests zu einer kognitiven Funktion Transfereffekte gefunden worden wären.

Auch die Trainingsqualität scheint ein wichtiges Merkmal für den Trainingserfolg zu sein. Die Anzahl der Trainingseinheiten, der Abstand zwischen den einzelnen Einheiten oder auch die Örtlichkeit des Trainings könnten die Ergebnisse beeinflussen. Die Probanden

trainierten täglich für 40 Tage, auch am Wochenende; Trainingsort und Trainingszeit waren frei wählbar. Einmal wöchentlich musste das Training unter Aufsicht am Max-Planck-Institut für Psychiatrie durchgeführt werden. Bei dem häuslichen Training könnten die Probanden abgelenkt worden sein und dies könnte sich negativ auf die Ergebnisse ausgewirkt haben. Die Probanden von Jaeggi et al. (2008) trainierten lediglich 8, 12, 17 oder 19 Tage, mit fünf Einheiten pro Woche und Trainingspause am Wochenende. Auch könnte die den kognitiven Tests vorausgehende Untersuchung in der fMRT die Leistung in den anschließend absolvierten Tests negativ beeinflusst haben. Inwieweit diese unterschiedlichen Trainingssettings eine Rolle für die Ergebnisse spielen, ist unklar.

Mit einer größeren Stichprobengröße könnten die Wirkungen des Trainings besser gezeigt werden. Aufgrund des zeitlichen Aufwandes ist dies jedoch nur schwer zu verwirklichen.

#### 4.6.2 Individuelle Unterschiede

Eine wesentliche Rolle in der Effektivität des Trainings könnte die Motivation spielen. Jaeggi et al. haben mehrere Studien verglichen und herausgefunden, dass Transfer auf die fluide Intelligenz nur gefunden wurde, wenn die Probanden kein Geld (Jaeggi et al., 2008) bzw. nur sehr wenig Geld, z.B. 20 \$ (Jaeggi, et al., 2010) für ihre Studienteilnahme erhalten haben (Jaeggi et al., 2014). Studien, die ihren Probanden Geld für die Teilnahme bezahlt haben, fanden keinen Transfer (\$ 130 Chooi & Thompson, 2012; \$352 Redick et al., 2013; ca. \$800 Thompson et al., 2013). Die Probanden meiner Studie erhielten für ihre Teilnahme €250. Es könnte also sein, dass diese extrinsische Belohnung in Form von Geld die intrinsische Motivation geschwächt (Deci, Koestner, & Ryan, 1999) und damit auch die Effektivität des Trainings gemindert hat (Burton, Lydon, D' Alessandro, & Koestner, 2006). Auch die Trainingskurven der Studien, die keinen Transfer fanden, seien deutlich flacher als die der Studien mit Transfer (Jaeggi et al., 2014). Die Probanden der bezahlten Studien verbesserten sich durch das Training nur zwischen 1,6 und 1,8 n-back-Level (Chooi & Thompson, 2012; Redick et al., 2013), die Probanden der nicht-bezahlten Studien zwischen 2,3 und 2,6 n-back-Level (Jaeggi et al., 2008; Jaeggi et al., 2010). Die Probanden von Thompson et al. verbesserten sich ähnlich wie die Probanden der Studie von Jaeggi et al. (2008), sie trainierten aber auch beinahe doppelt so lang, so dass ein Vergleich schwierig ist (Thompson et al., 2013; Jaeggi et al., 2014). Meine Probanden konnten das n-back-Level um 2,4 steigern, also ähnlich der Steigerung, die Jaeggi

et al. (2008; 2010) gefunden haben. Doch auch hier muss berücksichtigt werden, dass meine Probanden doppelt so lange trainiert haben. Es macht also durchaus Sinn, dass sich eine Bezahlung negativ auf die Leistung und damit auch auf den Transfer auswirken könnte. Die längere Trainingszeit der Probanden könnte sich auch negativ auf die Motivation ausgewirkt haben und damit ein möglicher Grund für den fehlenden Transfer sein. Bei näherer Betrachtung der Trainingskurve kommt es zunächst kontinuierlich zu einer Zunahme der Leistung in der dual-n-back-Aufgabe mit einem Maximum bei Session 35. Anschließend fällt eine leichte Leistungsabnahme auf. Ein möglicher Grund wäre eine nachlassende Motivation.

Ein wichtiger Punkt, um als erfolgreiche Arbeitsgedächtnisaufgabe angesehen zu werden, ist die Adaptivität der Aufgabe. Auch meine Probanden führten ein adaptives dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining durch, das heißt die Schwierigkeit der Aufgabe passte sich der Leistung der Probanden an. Die Aufgabe sollte einerseits herausfordernd sein, aber andererseits auch nicht überfordernd. Auch hier gibt es wieder individuelle Unterschiede. Personen, die sich gerne mit herausfordernden Aufgaben beschäftigen und Spaß daran haben, könnten von dem Training mehr profitieren als jene Personen, die die Aufgabe nur aufgrund extrinsischer Motivation absolvieren (Jaeggi et al., 2014). Um zu beurteilen, wie viel Spaß eine Person an herausfordernden, schwierigen kognitiven Aktivitäten hat, wurde die Need for Cognition Scale (Jaeggi et al., 2014) benutzt. Auch dies könnte eine wesentliche Rolle spielen, ob Transfer gefunden wird oder nicht.

Weiterhin gibt es unterschiedliche Vorstellungen über die Intelligenz. Einerseits glauben Personen, dass die Intelligenz eine angeborene, fixe, unveränderliche Größe ist, andererseits gibt es Personen, die sehr wohl daran glauben, dass die Intelligenz formbar und verbesserbar ist (Jaeggi et al., 2014). Personen, die nicht daran glauben die Intelligenz verbessern zu können, werden sich beim Training nicht so sehr anstrengen und bei herausfordernden Aufgaben eher abbrechen als jene, die glauben ihre Intelligenz verbessern zu können (Blackwell, Trzesniewski, & Dweck, 2007).

Ein weiterer Faktor, der die Effektivität des Arbeitsgedächtnistrainings beeinflussen könnte, ist das Alter. Es könnte sein, dass ältere Personen mehr von einem Arbeitsgedächtnistraining profitieren als Jüngere. Untersuchungen der kognitiven Leistungsfähigkeit im Laufe des Lebens erbrachten, dass das Maximum der fluiden Intelligenz etwa mit 25 Jahren erreicht wird, und ab einem Alter von etwa 35 Jahren eine Abnahme der fluiden Intelligenz einsetzt; deshalb könnte es sein, dass es jungen Erwachsenen schwerer fällt die fluide Intelligenz noch weiter zu verbessern als älteren Erwachsenen (Li, et al., 2004). Ältere Personen könnten wieder mehr Potential zur Verbesserung haben als jüngere Personen, die

---

schon ihr Spitzenniveau erreicht haben könnten. Dies könnte auch ein Grund für die nicht beobachteten Transfereffekte sein, denn die Probanden der Trainingsgruppe waren im Mittel 24,19 ( $\pm 2,61$ ) Jahre alt, was dem Alter der höchsten Leistungsfähigkeit sehr nahe kommt.

## 5 Zusammenfassung

Fluide Intelligenz ermöglicht uns die Anpassung an neue kognitive Probleme oder neue kognitive Situationen. Sie spielt eine große Rolle bei vielen kognitiven Aufgaben und ist einer der wichtigsten Faktoren für das Lernen und sehr bedeutend für schulischen, beruflichen und persönlichen Erfolg. Das Arbeitsgedächtnis ermöglicht uns nicht nur die kurzfristige Speicherung, Aufrechterhaltung und Wiederholung von Informationen, sondern auch die mentale Manipulation und somit das Arbeiten mit diesen Informationen. Lange Zeit wurde die fluide Intelligenz als konstante, unveränderbare Größe angesehen. In den letzten Jahren jedoch konnte in mehreren Studien eine Verbesserung der fluiden Intelligenz nach einem adaptiven Arbeitsgedächtnistraining gezeigt werden. Ziel der vorliegenden Studie war es, diese Ergebnisse zu replizieren und darüber hinaus zu erweitern, indem die Effekte eines Arbeitsgedächtnistrainings auf weitere kognitive Funktionen neben der fluiden Intelligenz (Arbeitsgedächtniskapazität, Verarbeitungsgeschwindigkeit, Kreativität, deklaratives Gedächtnis) untersucht werden sollten. Neben der Breite der Testbatterie sollten die besonders guten Kontrollbedingungen als innovativ hervorgehoben werden. Zusätzlich zur passiven Kontrollgruppe wurde eine vergleichbar anspruchsvolle und motivierende aber auf ganz anderen kognitiven Mechanismen beruhende aktive Kontrollgruppe verwendet.

Dafür wurden 51 gesunde, männliche Probanden im Alter von 18 – 30 Jahren für die Studie rekrutiert und auf drei Gruppen zu je 17 Probanden verteilt. Die Trainingsgruppe, die 40 Tage lang täglich ein adaptives dual-n-back-Arbeitsgedächtnistraining absolvierte, wurde mit einer aktiven Kontrollgruppe, die 40 Tage lang täglich ein Langzeitgedächtnistraining absolvierte, und einer passiven Kontrollgruppe, die kein Training absolvierte, verglichen. Vor Beginn und nach Abschluss des Trainings wurden mit allen drei Gruppen eine Magnetresonanztomographie und eine kognitive Testbatterie durchgeführt. Die Tests umfassten unter anderem die Bereiche Arbeitsgedächtnis (Zahlenspanne rückwärts), fluide Intelligenz (BOMAT), Verarbeitungsgeschwindigkeit (Zahlenverbindungstest), Kreativität (Alternative Uses) und deklaratives Gedächtnis (Verbales Gedächtnis, falsches Erinnern, falsches Wiedererkennen).

Trotz signifikanter Verbesserung in der trainierten dual-n-back-Aufgabe (n-back-Mittelwert und n-back-Maximalwert), zeigte sich kein signifikanter positiver Transfer auf eine der untersuchten kognitiven Fähigkeiten. Ferner korrelierte die vor dem Training in dem Screening gemessene Intelligenz signifikant positiv mit den Zuwächsen im n-back-Mittelwert



und n-back-Maximalwert, jedoch nicht mit den Zuwächsen im BOMAT. In Übereinstimmung mit dem Fehlen breiter Transfereffekte konnten auch in der Magnetresonanztomographie keine wesentlichen anatomischen Effekte gefunden werden.

Zusammenfassend gelang es uns nicht die Ergebnisse früherer Studien zu replizieren, dass ein adaptives Arbeitsgedächtnistraining bei jungen, gesunden Erwachsenen eine Verbesserung der Arbeitsgedächtniskapazität, der fluiden Intelligenz oder weiterer kognitiver Funktionen bewirkt.

In Zukunft sollten Studien durchgeführt werden, die sich einerseits genauer mit den Mechanismen, die einem möglichen Transfer zugrunde liegen könnten, beschäftigen und andererseits mehr Wert auf Faktoren, wie methodische Aspekte oder individuelle Unterschiede, legen, um möglichst die Variablen zu identifizieren, die für ein effektives Arbeitsgedächtnistraining am wichtigsten sind.

## 6 Literaturverzeichnis

- Anderson, J., Jenkinson, M., & Smith, S. (2007). *FMRIB technical reports TR07JA1 and TR07JA2*. Von [www.fmrib.ox.ac.uk/analysis/techrep](http://www.fmrib.ox.ac.uk/analysis/techrep) abgerufen
- Ashburner, J., & Friston, K. J. (2000). Voxel-based morphometry - the methods. *Neuroimage*, *11*(6), S. 805-821.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *The psychology of learning and motivation* 2, S. 89-195.
- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, *22*(2), S. 366-377.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), S. 417-423.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*(10), S. 829-839.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *The psychology of learning and motivation.*, *8*, S. 47-89.
- Barnett, S. M., & Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn?: A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin*, *128*(4), S. 612-637.
- Bäumler, G. (1974). *Der Lern- und Gedächtnistest LGT-3*. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Beck, A. T., Ward, C. H., Mendelson, M., Mock, J., & Erbaugh, J. (1961). An Inventory for Measuring Depression. *Archives of General Psychiatry*, *4*, S. 561-571.
- Biswal, B. B. (2012). Resting State fMRI: a personal history. *Neuroimage*, *62*(2), S. 938-944.
- Blackwell, L. S., Trzesniewski, K. H., & Dweck, C. S. (2007). Implicit theories of intelligence predict achievement across an adolescent transition: A longitudinal study and an intervention. *Child Development*, *78*(1), S. 246-263.
- Burgess, N., & Hitch, G. (2005). Computational models of working memory: putting long-term memory into context. *Trends in cognitive sciences*, *9*(11), S. 535-541.
- Burton, K. D., Lydon, J. E., D' Alessandro, D. U., & Koestner, R. (2006). The differential effects of intrinsic and identified motivation on wellbeing and performance: prospective, experimental, and implicit approaches to self-determination theory. *Journal of Personality and Social Psychology*, *91*(4), S. 750-762.

- Carpenter, P. A., Just, M. A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures: a theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices Test. *Psychological Review*, 97(3), S. 404-431.
- Cattell, R. B. (1960). *Measuring intelligence with the Culture Fair Tests*. Savoy, IL: Institute for Personality and Ability Testing.
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, 54(1), S. 1-22.
- Chase, W. G., & Ericsson, K. A. (1982). Skill and working memory. In G. H. Bower, *The psychology of learning and motivation* (Bd. 16, S. 1-58). New York.
- Chooi, W. T., & Thompson, L. A. (2012). Working memory training does not improve intelligence in healthy young adults. *Intelligence*, 40(6), S. 531-542.
- Chuderski, A. (2013). When are fluid intelligence and working memory isomorphic and when are they not? *Intelligence*, 41(4), S. 244-262.
- Colom, R., Martinez, K., Burgaleta, M., Román, F. J., García-García, D., Gunter, J. L., . . . Thompson, P. M. (2016). Gray matter volumetric changes with a challenging adaptive cognitive training program based on the dual n-back task. *Personality and Individual Differences*, 98, S. 127-132.
- Colom, R., Román, F. J., Abad, F. J., Shih, P. C., Froufe, M., & Karama, S. (2013). Adaptive n-back training does not improve fluid intelligence at the construct level: Gains on individual tests suggest that training may enhance visuospatial processing. *Intelligence*, 41(5), S. 712-727.
- Conway, A. R., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J., & Minkoff, S. R. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30(2), S. 163-183.
- Conway, A. R., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working memory capacity and its relation to general intelligence. *Trends in cognitive sciences*, 7(12), S. 547-552.
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake, & P. Shah, *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (S. 62-101).
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Progress in brain research*, 169, S. 323-338.
- Cowan, N., Elliott, E. M., Saults, J. S., Morey, C. C., Mattox, S., Hismjatullina, A., & Conway, A. R. (2005). On the capacity of attention: its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive Psychology*, 51(1), S. 42-100.

- Deci, E. L., Koestner, R., & Ryan, R. M. (1999). A meta-analytic review of experiments examining the effects of extrinsic rewards on intrinsic motivation. *Psychological bulletin*, 125(6), S. 627-668.
- Dinges, D. F., & Powell, J. W. (1985). Microcomputer analysis of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behavior research methods, instruments, & computers*, 17(6), S. 652-655.
- Dresler, M., & Baudson, T. G. (2008). *Kreativität: Beiträge aus den Natur- und Geisteswissenschaften*. Stuttgart: Hirzel.
- Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current directions in psychological science*, 11(1), S. 19-23.
- Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake, & P. Shah, *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (S. 102-134). New York: Cambridge University Press.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. (1999). Working memory, short term memory, and general fluid intelligence: a latent-variable approach. *Journal of experimental psychology: General*, 128(3), S. 309-331.
- Funke, J., & Vaterrodt, B. (2009). *Was ist Intelligenz?* München: C. H. Beck.
- Good, C. D., Johnsrude, I., Ashburner, J., Henson, R. N., Friston, K. J., & Frackowiak, R. S. (2001). Cerebral asymmetry and the effects of sex and handedness on brain structure: a voxel-based morphometric analysis of 465 normal adult human brains. *Neuroimage*, 14(3), S. 685-700.
- Gottfredson, L. S. (1997). Mainstream science on intelligence. an editorial with 52 signatories, history, and bibliography. *Intelligence*, 24(1), S. 13-23.
- Gottfredson, L. S. (1997). Why g matters: The complexity of everyday life. *Intelligence*, 24(1), S. 79-132.
- Gray, J. R., & Thompson, P. M. (2004). Neurobiology of intelligence: science and ethics. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(6), S. 471-482.
- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5, S. 444-454.
- Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: Mc Graw-Hill.
- Guilford, J. P. (1985). The structure-of-intellect-model. In B. B. Wolman, *Handbook of intelligence: Theories, measurements, and applications.*, S. 225-266.

- Gummelt, M. (2005). *Mnemotechniken - Umsetzung und beobachtbare Langzeiteffekte am Beispiel der Unterrichtseinheit "Die Bundesländer Deutschlands" in zwei 6. Klassen der Förderschule Schwerpunkt Lernen*. München: Grin Verlag.
- Härting, C., Markowitsch, H.-J., Neufeld, H., Calabrese, P., Deisinger, K., & Kessler, J. (2000). *Wechsler Memory Scale - Revised Edition, German Edition. Manual*. Bern: Huber.
- Hautzinger, M., Bailer, M., Worall, H., & Keller, F. (1994). *Beck-Depressions-Inventar (BDI), 1. Auflage*. Bern: Hans Huber.
- Hering, K. E. (1870). Über das Gedächtnis als eine allgemeine Function der organisirten Materie. Paper presented at the Kaiserliche Akademie der Wissenschaften.
- Hossiep, R., Hasella, M., & Turck, D. (2001). *BOMAT - advanced - short version - Bochumer Matrizentest*. Göttingen: Hogrefe.
- Hossiep, R., Turck, D., & Hasella, M. (1999). *BOMAT - advanced - Bochumer Matrizentest*. Göttingen: Hogrefe.
- Huettel, S. A., Song, A. W., & McCarthy, G. (2004). *Functional Magnetic Resonance Imaging*. Sunderland: Sinauer Associates.
- Jaeggi, S. M., & Buschkuehl, M. (2014). Transfer of Working Memory Training - Theoretical and Practical Considerations (Chapter 2). In B. Toni (Ed.), *New Frontiers of Multidisciplinary Research in STEAM-H (Science, Technology, Engineering, Agriculture, Mathematics, and Health)*. *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*, 90.
- Jaeggi, S. M., Buschkuehl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(19), S. 6829-6833.
- Jaeggi, S. M., Buschkuehl, M., Shah, P., & Jonides, J. (2014). The role of individual differences in cognitive training and transfer. *Memory & cognition*, 42(3), S. 464-480.
- Jaeggi, S. M., Studer-Luethi, B., Buschkuehl, M., Su, Y. F., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2010). The relationship between n-back performance and matrix reasoning - implications for training and transfer. *Intelligence*, 38(6), S. 625-635.
- Jenkinson, M., & Smith, S. (2001). A global optimisation method for robust affine registration of brain images. *Medical image analysis*, 5(2), S. 143-156.
- Jenkinson, M., Bannister, P., Brady, M., & Smith, S. (2002). Improved optimization for the robust and accurate linear registration and motion correction of brain images. *Neuroimage*, 17(2), S. 825-841.

- Jensen, A. R. (1982). The chronometry of intelligence. In R. J. Sternberg, *Advances in the psychology of human intelligence.*, 1, S. 255-310.
- Jonides, J. (2004). How does practice makes perfect? *Nature Neuroscience*, 7(1), S. 10-11.
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short term retention of rapidly changing information. *Journal of experimental psychology*, 55(4), S. 352-358.
- Klauer, K. J. (1993). *Trainingsforschung: Ansätze, Theorien, Ergebnisse*. In K. J. Klauer, *Kognitives Training*. Göttingen: Hogrefe.
- Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in cognitive sciences*, 14(7), S. 317-324.
- Konrad, B. N. (2013). *Superhirn - Gedächtnistraining mit einem Weltmeister: Über faszinierende Leistungen des menschlichen Gehirns*. Berlin/Wien: Goldegg Verlag.
- Laux, L., Glanzmann, P., Schaffner, P., & Spielberger, C. D. (1981). *"Das State-Trait-Angstinventar (Testmappe mit Handanweisung, Fragebogen STAI-G Form X 1 und Fragebogen STAI-G Form X 2)"*. Weinheim: Beltz.
- Lehrl, S., Triebig, G., & Fischer, B. (1995). Multiple choice vocabulary test MWT as a valid and short test to estimate premorbid intelligence. *Acta Neurologica Scandinavica*, 91(5), S. 335-345.
- Li, S. C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W., & Baltes, P. B. (2004). Transformations in the couplings among intellectual abilities and constituent cognitive processes across the life span. *Psychological Science*, 15(3), S. 155-163.
- Lövdén, M., Lindenberger, U., Schaefer, S., Bäckman, L., & Schmiedek, F. (2010). A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychological bulletin*, 136(4), S. 659-676.
- Marks, D. F. (1973). Visual imagery differences in the recall of pictures. *British journal of psychology*, 64(1), S. 17-24.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), S. 81-97.
- Morrison, A. B., & Chein, J. M. (2011). Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychonomic bulletin & review*, 18(1), S. 46-60.
- Neisser, U., Boodoo, G., Bouchard Jr, T. J., Boykin, A. W., Brody, N., Ceci, S. J., . . . & Urbina, S. (1996). Intelligence: knowns and unknowns. *American psychologist*, 51(2), S. 77-101.

- Neubauer, A. C. (1995). *Intelligenz und Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung*. . New York: Springer.
- Oberauer, K., Schulze, R., Wilhelm, O., & Süß, H. M. (2005). Working memory and intelligence - their correlation and their relation: comment on Ackerman, Beier, and Boyle. *Psychological bulletin*, 131(1), S. 61-65.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), S. 97-113.
- Oswald, W. D., & Roth, E. (1987). *Der Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT). Ein sprachfreier Intelligenz-Test zur Messung der "kognitiven Leistungsgeschwindigkeit". Handanweisung. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage*. Göttingen: Hogrefe.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: a meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human brain mapping*, 25(1), S. 46-59.
- Redick, T. S., & Lindsey, D. R. (2013). Complex span and n-back measures of working memory: A meta-analysis. *Psychonomic bulletin & review*, 20(6), S. 1102-1113.
- Redick, T. S., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Fried, D. E., Hambrick, D. Z., . . . & Engle, R. W. (2013). No evidence of intelligence improvement after working memory training: a randomized, placebo-controlled study. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), S. 359-379.
- Reiser, M., Kuhn, F.-P., & Debus, J. (2006). *Duale Reihe Radiologie. 2. korrigierte Auflage*. Stuttgart: Thieme Verlag.
- Rohde, T. E., & Thompson, L. A. (2007). Predicting academic achievement with cognitive ability. *Intelligence*, 35(1), S. 83-92.
- Rost, D. H. (2009). *Intelligenz Fakten und Mythen*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Rudebeck, S. R., Bor, D., Ormond, A., O'Reilly, J. X., & Lee, A. C. (2012). A potential spatial working memory training task to improve both episodic memory and fluid intelligence. *PLoS One*, 7(11), S. e50431.
- Schiebener, J., & Brand, M. (2014). *Allgemeine Psychologie I. Grundriss der Psychologie Band 3*. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH.
- Schmitt, M., & Maes, J. (2000). Vorschlag zur Vereinfachung des Beck-Depressions-Inventars (BDI). *Diagnostica*, 46(1), S. 38-46.
- Schweizer, S., Hampshire, A., & Dalgleish, T. (2011). Extending brain-training to the affective domain: increasing cognitive and affective executive control through emotional working memory training. *PLoS One*, 6(9), S. e24372.

- Seidler, R. D., Bernard, J. A., Buschkuhl, M., Jaeggi, S. M., Jonides, J., & Humfleet, J. (2010). Cognitive training as an intervention to improve driving ability in the older adult. *Ann Arbor: University of Michigan*.
- Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2012). Is Working Memory Training Effective? *Psychological bulletin*, 138(4), S. 628-654.
- Simonton, D. K. (2000). Creativity: Cognitive, personal, developmental, and social aspects. *American psychologist*, 55(1), S. 151.
- Smith, S. M. (2002). Fast robust automated brain extraction. *Human brain mapping*, 17(3), S. 143-155.
- Smith, S. M., & Nichols, T. E. (2009). Threshold-free cluster enhancement: addressing problems of smoothing, threshold dependence and localisation in cluster inference. *Neuroimage*, 44(1), S. 83-98.
- Smith, S. M., Jenkinson, M., Woolrich, M. W., Beckmann, C. F., Behrens, T. E., Johansen-Berg, H., & ... Niazy, R. K. (2004). Advances in functional and structural MR image analysis and implementation as FSL. *Neuroimage*, 23, S. 208-219.
- Spearman, C. (1904). "General intelligence", objectively determined and measured. *The American Journal of Psychology*, 15(2), S. 201-292.
- Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., & Lushene, R. E. (1970). *"State-Trait Anxiety Inventory, Manual for the State-Trait Anxiety Inventory"*. Palo Alto: Consulting Psychologist Press.
- Spinath, F. M. (2011). Psychologische Intelligenzforschung - Provokation und Potenzial. In M. Dresler, *Kognitive Leistungen: Intelligenz und mentale Fähigkeiten im Spiegel der Neurowissenschaften* (S. 1-22). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Stangl, W. (2013). *Alternative Uses Task. Lexikon für Psychologie und Pädagogik*.
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1996). Investing in creativity. *American Psychologist*., 51(7), S. 677-688.
- Thompson, T. W., Waskom, M. L., Garel, K. L., Cardenas-Iniguez, C., Reynolds, G. O., Winter, R., & ... Gabrieli, J. D. (2013). Failure of working memory training to enhance cognition or intelligence. *PLoS One*, 8(5), S. e63614.
- Thorndike, E. L., & Woodworth, R. S. (1901). The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions. (I.). *Psychological Review*, 8, S. 247-261.
- Thurstone, L. L. (1938). Primary mental abilities. *University of Chicago Press*.



- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory 1. Organization of Memory. *Academic*, 381(4).
- Walter, H. (2005). *Funktionelle Bildgebung in Psychiatrie und Psychotherapie. Kapitel 7: Diffusions-Tensor-Bildgebung (DTI)*. Stuttgart: Schattauer.
- Weiß, R. (2006). *CFT 20-R. Grundintelligenztest Skala 2. Manual*. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Wiley, J., Jarosz, A. F., Cushen, P. J., & Colflesh, G. J. (2011). New Rule Use Drives the Relation Between Working Memory Capacity and Raven's Advanced Progressive Matrices. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 37(1), S. 256-263.
- Zhang, Y., Brady, M., & Smith, S. (2001). Segmentation of brain MR images through a hidden Markov random field model and the expectation-maximization algorithm. *Medical Image, IEEE Transactions on*, 20(1), S. 45-57.

## 7 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Aktuelle Version des Multikomponentenmodells. Der episodische Puffer stellt eine temporäre Schnittstelle zwischen den Speichersystemen und dem Langzeitgedächtnis (LTM) dar. Der visuell-räumliche Notizblock, der episodische Puffer und die phonologische Schleife werden von der zentralen Exekutiven kontrolliert. Die drei Komponenten stehen mit kristallinen Strukturen, wie dem Langzeitgedächtnis (LTM), in Verbindung (Baddeley A. D., 2000).....	9
Abbildung 2: Schematischer Ablauf der MRT-Untersuchung.....	36
Abbildung 3: Beispiel für ein Item des BOMATs .....	38
Abbildung 4: Beispiel für n-back-Aufgabe, hier mit der Bedingung 2-back. Die visuell-räumlichen und auditiven Stimuli wurden simultan präsentiert (Jaeggi et al., 2008).....	43
Abbildung 5: Leistungsänderung im n-back-Mittelwert nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3 .....	49
Abbildung 6: Leistungsänderung im n-back-Maximalwert nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3 .....	50
Abbildung 7: Leistungsänderung der n-back-Trainingsgruppe im Verlauf des sechswöchigen dual-n-back-Trainings vom Anfang (t1) über die täglichen Sitzungen (S) bis zum Ende (t2) des Trainings.....	52
Abbildung 8: Leistungsänderung in der Zahlenspanne rückwärts nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3 .....	54
Abbildung 9: Leistungsänderung im BOMAT nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3 .....	56
Abbildung 10: Leistungsänderung im ZVT nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3.....	57
Abbildung 11: Leistungsänderung im Alternative-Uses-Test nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3 .....	58
Abbildung 12: Leistungsänderung im verbalen Gedächtnis nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3 .....	59
Abbildung 13: Ergebnisänderung im falschen Erinnern nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3 .....	60
Abbildung 14: Ergebnisänderung im falschen Wiedererkennen nach dem Training im Vergleich zum Ausgangswert vor dem Training der drei Gruppen G1, G2 und G3 .....	62

---

Abbildung 15: Korrelation zwischen Intelligenz und Leistungszuwachs im n-back-Task nach n-back-Training.....	65
Abbildung 16: Korrelation zwischen Intelligenz und Leistungszuwachs im n-back-Task nach n-back-Training.....	65
Abbildung 17: Korrelation zwischen Intelligenz und Leistungszuwachs im BOMAT nach n-back-Training.....	66

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien .....	23
Tabelle 2: Mittelwert (M) und Standardabweichungen (SD) von CFT, LGT und Alter der drei Gruppen G1, G2 und G3 sowie aller Probanden.....	24
Tabelle 3: Schematischer Ablauf des Screenings.....	26
Tabelle 4: Schematische Darstellung des Ablaufs der Studie.....	27
Tabelle 5: Ablauf des dual-n-back-Trainings.....	45
Tabelle 6: n-back-Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2) .....	50
Tabelle 7: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 des n-back-Maximalwerts vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2).....	51
Tabelle 8: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der n-back-Mittelwerte und n-back-Maximalwerte aller Trainingssitzungen (S); t1 entspricht der ersten Sitzung, t2 der letzten Sitzung.....	53
Tabelle 9: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 in der Zahlenspanne rückwärts vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der Länge der Zahlenspanne nach der klassischen Auswertung.....	55
Tabelle 10: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 im BOMAT vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der Anzahl der richtigen Lösungen .....	56
Tabelle 11: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 im ZVT vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der benötigten Zeit in Sekunden.....	57
Tabelle 12: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 im Alternative-Uses-Test vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der Anzahl der richtig gelösten Aufgaben .....	58
Tabelle 13: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 im verbalen Gedächtnis vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der Anzahl der richtig gelösten Aufgaben .....	60
Tabelle 14: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 im falschen Erinnern vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der Anzahl der falsch erinnerten Wörter („critical lures“).....	61

---

Tabelle 15: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der drei Gruppen G1, G2 und G3 im falschen Wiedererkennen vor dem Training (t1) und nach dem Training (t2); die Werte entsprechen der Anzahl der falsch erinnerten Wörter („critical lures“)	62
Tabelle 16: Ergebnisse der Zeit $\times$ Trainingsbedingung-Analysen der ANOVAs	63

## 9 Anhang: Probandeninformation

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PSYCHIATRIE  
DEUTSCHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR PSYCHIATRIE

PSYCHIATRISCHE KLINIK  
PROFESSOR DR. DR. DR. H. C. MULT. FLORIAN HOLSBOER  
DIREKTOR

Dr. Martin Dresler  
Max-Planck-Institut für Psychiatrie  
Kraepelinstraße 2-10  
80804 München  
Tel.: 089 306 22 386  
Fax: 032 121 091 358  
E-Mail: [dresler@mpipsykl.mpg.de](mailto:dresler@mpipsykl.mpg.de)

### Probandeninformation

#### Untersuchung von Enkodierung und Abruf von Gedächtnistechniken mittels funktioneller Magnetresonanztomographie

Sehr geehrter Proband,  
vielen Dank für Ihr Interesse an dieser Studie. Nachfolgend finden Sie Informationen über Hintergrund und Ablauf der Studie.

Es gibt eine Reihe von Theorien und Erkenntnisse über die Funktionsweise des menschlichen Gedächtnisses und die Art und Weise, wie das Gehirn Informationen „enkodieren“, also abspeichern kann. Eine wesentliche Unterscheidung ist die Trennung von Kurz- und Langzeitgedächtnis. In diesem Kontext gibt es die Theorie, dass sehr gute Gedächtnisleistungen auf einem direkten Zugriff auf das Langzeitgedächtnis basieren. Es ist zudem heute weitgehend anerkannt, dass es Gedächtnistechniken gibt, mit denen sehr schnell signifikante Verbesserungen der Gedächtnisleistungen erzielt werden können.

Mit der Methode der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) kann festgestellt werden, welche Gehirnareale beim Lösen verschiedener Gedächtnis-Aufgaben aktiviert werden. Bei dieser Methode wird keinerlei radioaktive Strahlung verwendet. Die fMRT-Methode wurde bereits früher zur Untersuchung besonders guter Gedächtnisleistungen eingesetzt – insbesondere mit Probanden mit jahrelanger Erfahrung im Gedächtnistraining. Wir möchten in unserer Studie nun untersuchen, in welchem Verhältnis Training und Technik bei den erzielten Gedächtnisleistungen stehen, und ob für alle Personen gleiche Erfolge erreichbar und mit gleichen Effekten in Verbindung zu bringen sind. Wir möchten daher mit Hilfe der fMRT Änderungen bei der Enkodierung von Informationen untersuchen, die durch ein mehrwöchiges Gedächtnistraining erzielt werden.

Voraussetzungen zur Teilnahme an der Studie sind, dass Sie männlich, zwischen 18 und 30 Jahre alt, körperlich und seelisch gesund sind. Sie sollten keine Medikamente regelmäßig einnehmen und Alkohol nur mäßig konsumieren (nicht mehr als 0.5 l Bier oder 0.2 l Wein täglich). Bei Einnahme illegaler Drogen, Platzangst oder dem Vorhandensein von metallhaltigen Tätowierungen können Sie leider nicht an der Studie teilnehmen. Des Weiteren können Sie nur an der Studie teilnehmen, sofern keinerlei Kontraindikationen gegen eine Magnetresonanztomographie bestehen (z.B. Herzschrittmacher). Hierüber klären wir Sie in einem gesonderten Gespräch und mittels eines allgemeinen MRT-Aufklärungsformulars auf. Der Studienablauf besteht aus einer Voruntersuchung (ca. 2 Stunden Zeitaufwand) und – bei Eignung für die Studie – aus zwei weiteren Messterminen mit einem Zeitaufwand von ca. vier Stunden. Sämtliche Untersuchungen finden am Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München statt, lediglich ein kurzer Nachtest von 5 Minuten am Anschlussstag der Studientage wird telefonisch durchgeführt.

Die Studie umfasst drei Bedingungen: Eine Kontrollgruppe ohne kognitives Training, eine Studiengruppe mit Langzeitgedächtnistraining und eine Studiengruppe mit Kurzzeitgedächtnistraining. Sollten Sie der Studiengruppe mit Langzeitgedächtnistraining zugelost werden, nehmen Sie zwischen dem ersten und zweiten Messtermin an einem Intensivseminar Gedächtnistraining mit dem erfahrenen Gedächtnistrainer Boris Nikolai Konrad teil. Sollten Sie der Studiengruppe mit Kurzzeitgedächtnistraining zugelost werden, erhalten Sie eine kurze Einführung in das entsprechende Computerprogramm. Es folgen 40 Tage, in denen Sie die Anwendung der Methoden zu Hause täglich 30 Minuten lang trainieren sollen. Dafür erhalten Sie Zugang zu einer Internet-Trainingsplattform, welche Ihnen das Training ermöglicht und dieses protokolliert.

Die Voruntersuchung umfasst einige kognitive Tests, ein ärztliches Gespräch und die Studienaufklärung, insbesondere bzgl. der Magnetresonanztomographie. Anhand der Ergebnisse dieser Untersuchungen wird geprüft, ob Sie für die Studie geeignet sind. Die Befunde der Voruntersuchung werden pseudonymisiert aufbewahrt, d.h. eine Zuordnung zu Ihrer Person ist nur nach Entschlüsselung durch die Leiter der Studie möglich und nur in begründeten Fällen vorgesehen.

An den Messtagen werden Sie zur abgesprochenen Uhrzeit im Max-Planck-Institut erwartet. Anschließend werden Sie über die konkreten Aufgaben des Tages informiert. Es erfolgen dann die MRT-Messungen. Es werden zunächst strukturelle Aufnahmen angefertigt, bei denen Sie ruhig im MRT-Gerät liegen, aber keine Aufgaben absolvieren müssen (ca. 12 Minuten). Daran anschließend findet der erste Teil der Experimente statt (ca. 30 Minuten), anschließend erneut eine anatomische Untersuchung (ca. 15 Minuten). Wir möchten Sie ausdrücklich darauf hinweisen, dass im Rahmen dieser Voruntersuchung in seltenen Fällen Zufallsbefunde erhoben werden können – in diesem Fall würde Ihr Hausarzt über den Befund informiert. Sie können an der Studie nur teilnehmen, wenn Sie mit diesem Vorgehen einverstanden sind.

Im MRT wird Ihr Kopf mithilfe eines speziellen Kissens möglichst ruhig gehalten, um ungewollte Kopfbewegungen zu vermeiden. Zudem bekommen Sie als Gehörschutz einen Kopfhörer. Während der Untersuchung können Sie jederzeit mit den Untersuchern über eine Sprechanlage Kontakt aufnehmen. Bei den Experimenten handelt es sich um Gedächtnisaufgaben, die wir Ihnen im Vorfeld ausführlich erklären. Sie werden die eigentlichen Aufgaben auf einem Video-Monitor betrachten, wobei Ihre Antworten über eine kleine Tastatur abgefragt werden. Nach der MRT-Untersuchung schließen sich noch weitere kognitive Aufgaben in einem separaten Raum an (ca. 2,5 Stunden).

### **Versicherungsschutz**

Da die Studie keinerlei invasive Maßnahmen beinhaltet, noch gesundheitsbedenkliche Untersuchungen stattfinden, gehen wir von keinerlei Gesundheitsrisiko für Sie aus. Wir sind jedoch verpflichtet, Sie auf das Fehlen einer verschuldungsunabhängigen Versicherung hinzuweisen.

Es wird darauf hingewiesen, dass bei Ihrer Teilnahme an dieser Studie keine Wegeunfallversicherung besteht.



### **Aufwandsentschädigung**

Die Studie dient einem rein wissenschaftlichen Zweck. Sollten Sie der Kontrollgruppe zugelost werden, erhalten Sie für die Studienteilnahme 100 €, davon 10 € bereits für die Teilnahme an der Voruntersuchung

Sollten Sie einer der Studiengruppen mit Gedächtnistraining zugelost werden, erhalten Sie neben diesem kostenfreien Training für die Teilnahme an der kompletten Studie eine Aufwandsentschädigung von 250 €, davon 10 € bereits für die Teilnahme an der Voruntersuchung.

Sollten Sie während der Studie Ihr Einverständnis zur Teilnahme zurückziehen, oder sollten Sie die vereinbarten Trainingsstunden (30 Minuten täglich über einen Zeitraum von 40 Tagen für die beiden Trainingsgruppen) nicht durchführen, wird keine Entschädigung gezahlt.

### **Einverständniserklärung**

Ich bin über Sinn und Ablauf der Studie „**Untersuchung von Enkodierung und Abruf von Gedächtnistechniken mittels funktioneller Magnetresonanztomographie**“ aufgeklärt worden. Ich erkläre mich mit der Teilnahme an der Studie freiwillig einverstanden. Ich weiß, dass ich mein Einverständnis jederzeit und ohne Angabe von Gründen widerrufen kann. Das vorliegende Informationsblatt wurde mir ausgehändigt. Ich bin darüber informiert, dass **kein Versicherungsschutz** besteht.

München, den

\_\_\_\_\_

Teilnehmer

\_\_\_\_\_

aufklärender Studienleiter

**Ich bin mit der Erhebung und Verwendung persönlicher Daten und Befunddaten nach Maßgabe der Probandeninformation einverstanden.**

\_\_\_\_\_

Name des Teilnehmers

(in Druckbuchstaben)

\_\_\_\_\_

Unterschrift des Teilnehmers

\_\_\_\_\_

Datum

## 10 Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Holsboer für die Arbeitsmöglichkeit am Institut bedanken.

Ein herzlicher Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Steiger, der mir das Promotionsthema zur Verfügung stellte und mir meine Fragen stets schnell und zuverlässig beantwortete.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Dr. Martin Dresler, der mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand. Durch seine freundschaftliche, hilfsbereite Art hat mir die Promotion viel Freude bereitet. Die Bereitschaft seine Zeit äußerst flexibel nach uns zu richten, hat uns die Arbeit enorm erleichtert. Dafür und für vieles mehr herzlichen Dank.

Danke auch an Dr. Boris Konrad für die Unterstützung bei der Studiendurchführung und für das Angebot an seinem Gedächtnisseminar teilzunehmen, was großen Spaß gemacht hat.

Ebenso danken möchte ich Otmar Seckinger für die Hilfe bei der statistischen Auswertung sowie meinem Mitdoktoranden Philipp Schuster für die gute Zusammenarbeit.

Ein besonderer Dank gilt allen Probanden, mit denen ich viele Spaß hatte und auf die ich mich immer voll und ganz verlassen konnte. Danke für das Interesse und die Teilnahme an unserer Studie.

Auch danke ich meiner Schwester und meinen Freunden dafür, dass sie für mich da waren, mich auf andere Gedanken brachten, wenn es nötig war und mir bei Computerproblemen halfen.

Großer Dank gebührt meinen Eltern für ihren Rückhalt in all den Jahren und ihre uneingeschränkte Unterstützung während des Studiums und dieser Arbeit. Sie hatten immer ein offenes Ohr für mich, haben mich immer wieder motiviert, aufgebaut und ermutigt und haben damit einen wesentlichen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet.

---

# 11 Eidesstattliche Versicherung

Weisig, Sarah

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,  
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

## **Neurokognitive Effekte von Arbeitsgedächtnistraining**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den

Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift Doktorandin/Doktorand