

Aus der Klinik für Neurologie  
(Direktorin: Prof. Dr. med. Daniela Berg)  
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel  
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**EINE MUSTERANALYSE ZUFÄLLIG GENERIERTER ZAHLENREIHEN:  
ZUSAMMENHANG MIT DEM VERBALEN UND VISUELL-RÄUMLICHEN  
ARBEITSGEDÄCHTNIS**

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der Doktorwürde der Medizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**vorgelegt von**  
**BENJAMIN TIMMERMANN**  
**aus Hamburg**

**Kiel 2020**

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Karsten Witt  
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Robert Göder  
Tag der mündlichen Prüfung: 02.03.2022  
Zum Druck genehmigt, Kiel, den 14.12.2021

gez.: Prof. Dr. Karsten Witt  
(Vorsitzender der Prüfungskommission)

„Was rührt hierbei aus Ursachen und was vom Zufall her?“

Georg Christoph Lichtenberg (1742-1799), deutscher Physiker

# Inhaltsverzeichnis

<b>Glossar .....</b>	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>V</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Das Arbeitsgedächtnis .....	2
1.2 Der Random Number Generation Task .....	4
1.2.1 Etablierte Analyse-Scores und Einteilung in Hauptkomponenten.....	4
1.2.2 Validität und Reliabilität.....	4
1.2.3 Altersabhängigkeit .....	6
1.2.4 Manuelle Testvariante .....	6
1.3 Verfahren der Musteranalyse zufällig generierter Zahlenreihen .....	8
1.4 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit.....	10
<b>2 Probanden, Material und Methoden.....</b>	<b>12</b>
2.1 Probandenauswahl .....	12
2.2 Studiendesign und Prozedere .....	12
2.3 Testverfahren zu den Ausschlusskriterien .....	13
2.3.1 Beck-Depressions-Inventar .....	13
2.3.2 Mattis Demenz Skala.....	14
2.4 Random Number Generation Task .....	14
2.5 Arbeitsgedächtnis Tasks.....	17
2.5.1 Ziffernspannen .....	17
2.5.2 Visuell-räumliche Spannen.....	18
2.5.3 5-Punkte-Test.....	19
2.6 Probandenausschlüsse.....	20
2.7 Statistische Analysen .....	20
<b>3 Ergebnisse.....</b>	<b>22</b>
3.1 Probandenausschlüsse und Gruppeneigenschaften .....	22

3.2	Random Number Generation Task .....	23
3.2.1	Deskriptive Statistik und Ziffernintervalle .....	23
3.2.2	Altersunterschiede beim RNGT.....	24
3.2.3	Vergleich der verbalen mit der manuellen Testvariante .....	25
3.3	Arbeitsgedächtnis Tasks.....	26
3.3.1	Ziffernspannen und visuell-räumliche Spannen .....	26
3.3.2	5-Punkte-Test.....	27
3.4	Zusammenhang Arbeitsgedächtnis und Random Number Generation Task .....	28
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>29</b>
4.1	RNGT und Alterseffekte .....	29
4.2	Vergleich der verbalen mit der manuellen RNGT-Variante .....	30
4.3	Das Arbeitsgedächtnis .....	31
4.4	Arbeitsgedächtnisanforderungen beim RNGT .....	33
4.5	Limitationen der Studie.....	34
4.6	Fazit und Ausblick .....	35
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>Veröffentlichung .....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>47</b>
8.1	Aufklärungsbogen .....	47
8.2	Einwilligungserklärung .....	48
8.3	Fragebogen zu persönlichen Daten und dem Gesundheitszustand .....	49
8.4	Beck-Depressions-Inventar.....	49
8.5	Mattis Demenz Skala .....	53
8.6	Ziffernspannen.....	63
8.7	Ergebnisse Ergänzung .....	64
<b>9</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>65</b>

## **Glossar**

5PT	5-Punkte-Test
ANOVA	Varianzanalyse (Analysis of Variance)
BDI	Beck-Depressions-Inventar
KMO-Wert	Kaiser-Meyer-Olkin-Wert
MDS	Mattis-Demenz-Skala
PCA	Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis)
RNGT	Random Number Generation Task

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley .....	2
Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung des Prinzips der Musteranalyse und darauf basierender Vorhersage einer Zahlenreihe nach Schulz et al. (2012).....	9
Abbildung 3: Zusammenhang der Vorhersagerate mit der Länge der bekannten vorausgehenden Nummernhistorie.....	10
Abbildung 4: Testmatrix für den manuellen RNGT und das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis .....	16
Abbildung 5: Musterbeispiele 5-Punkte-Test .....	19
Abbildung 6: Mittelwerte der Ziffernspannen und visuell-räumlichen Spannen.....	26
Abbildung 7: Spannentests Gruppenvergleiche nach Alter .....	27
Abbildung 8: Zuordnung der Hauptkomponentenanalyse zu dem Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley .....	32

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Testreihenfolge "rechts" und "links" .....	13
Tabelle 2: Gruppeneigenschaften.....	23
Tabelle 3: Random Number Generation Task deskriptive Statistik .....	24
Tabelle 4: Mann-Whitney-U-Test RNGT zwischen den Altersgruppen mit deskriptiver Statistik .....	24
Tabelle 5: Rotierte Faktorenmatrix der Hauptkomponentenanalyse.....	28
Tabelle 6: Korrelationsmatrix PCA-Faktoren mit RNGT .....	29
Tabelle 7: Hauptkomponentenanalyse vollständige rotierte Faktorenmatrix .....	64

## 1 Einleitung

Der Mensch ist ein schlechter Zufallsgenerator. Dies haben zahlreiche Studien mit dem so genannten „Random Number Generation Task“ (RNGT) ergeben. Bei diesem Testverfahren hat der Proband die Aufgabe, Zahlen einer definierten Spanne (z.B. von 1 bis 9) in einer möglichst zufälligen Abfolge einer vorgegebenen Länge aufzuzählen. Er soll sich dabei vorstellen, er ziehe die Zahlen zufällig aus einem Hut, wobei jede genannte Zahl sofort wiederverwendet werden kann.

Dabei zeigen sich über viele Studien hinweg drei typische Verhaltensweisen, die dazu führen, dass die Zahlenreihen von mathematischer Zufälligkeit abweichen. Zum einen ist da die starke Tendenz des Menschen, Wiederholungen zu vermeiden. Unmittelbare Wiederholungen von Zahlen (z.B. 3-3) werden kaum ausgeführt und sind signifikant seltener als bei computergenerierten Zufallsreihen (Terhune und Brugger 2011). Die zweite häufige Verhaltensweise ist das sogenannte „Cycling“. Dies bezeichnet eine Strategie, bei der sich der Proband durch einen Großteil der Antwortalternativen bewegt, bevor er eine bereits genannte Zahl wiederholt. Dies hat zur Folge, dass der Mensch schon über kurze Sequenzen eine starke Gleichverteilung der Zahlen erreicht (Maes et al. 2011). Zählen ist die dritte starke Tendenz, die sich regelmäßig in menschlichen Zufallsreihen zeigt. Es finden sich viele Zahlenpaare oder längere Sequenzen, in denen vorwärts oder rückwärts sowohl in 1er- (z.B. 9-8) wie auch in 2er-Schritten (z.B. 2-4) gezählt wird (Figurska et al. 2008). Dies ist auch die stärkste Auffälligkeit beim RNGT, die Patienten mit verschiedenen (neurologischen) Erkrankungen von gesunden Kontrollprobanden signifikant unterscheidet, da das Zählen noch ausgeprägter in Erscheinung tritt. Belegende Studien dafür gibt es unter anderem mit Patientengruppen folgender Erkrankungen: Parkinson (Witt et al. 2004; Brown et al. 1998), Alzheimer (Brugger et al. 1996), Frontalhirnverletzungen (Spatt und Goldenberg 1993), Schizophrenie (Salame und Danion 2007; Rosenberg et al. 1990) und Alkoholabusus (Rosenberg et al. 1990).

Die Performance beim RNGT gilt als abhängig von verschiedenen Arbeitsgedächtnisprozessen (Miyake et al. 2000). Zum Beispiel müssen stets die zuletzt genannten Zahlen zwischengespeichert werden und außerdem ist es notwendig starke Gewohnheiten wie das Zählen aktiv zu unterdrücken (siehe Abschnitt 1.2.2). Der RNGT stellt somit eine Möglichkeit dar, die Leistungsfähigkeit dieser Funktionen abzubilden. Potenziell kann der Test zum Beispiel als klinisches Tool bei der Diagnostik oder auch Therapiekontrolle oben genannter Erkrankungen eingesetzt werden. Dies erfordert aber unter anderem eine weitere Stärkung der Validität. Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, und sie untersucht an gesunden Probanden unter Berücksichtigung eines neuen experimentellen Analyseverfahrens

(Musteranalyse, siehe Abschnitt 1.3), inwiefern von der Performance im RNGT auf die Kapazität bzw. die Leistungsfähigkeit verschiedener Komponenten des Arbeitsgedächtnis (siehe Abschnitt 1.1) geschlossen werden kann. Dies erfolgt zum einen anhand des klassischen verbalen Tests und zusätzlich anhand einer manuellen Testvariante, bei der die Antworten über einen Touchscreen eingegeben werden.

## 1.1 Das Arbeitsgedächtnis

Die Grundlage für das aktuelle Verständnis der Aufteilung und Arbeitsweise des Arbeitsgedächtnis schafft das sehr einflussreiche Modell von Baddeley und Hitch „The multi-component model of working memory“, welches über mehrere Jahrzehnte weiterentwickelt wurde (Baddeley 1996). Dieses besteht in der ursprünglichen Form aus zwei unabhängigen, passiven Zwischenablagen für Informationen unterschiedlicher Qualität sowie aus einer dazwischenstehenden und kontrollierenden Instanz der „zentralen Exekutiven“. Die beiden Zwischenablagen haben die Aufgabe Informationen temporär in ihrer ursprünglichen Form bereitzuhalten, wobei sie dies nur bis zu einer bestimmten Kapazität bewerkstelligen können. Dies ist zum einen die phonologische Schleife („Phonological loop“), die verbale Informationen zwischenspeichert und zum anderen der visuell-räumliche Skizzenblock („Visuospatial sketchpad“), der eine Zwischenablage für visuell-räumliche Informationen darstellt. Die zentrale Exekutive greift auf die Informationen dieser beiden untergeordneten Systeme zu und ist verantwortlich für die aktive Weiterverarbeitung, Aktualisierung und Manipulation der Inhalte zum Zwecke der Erfüllung aktueller Anforderungen. Als letzte Komponente wurde dem Modell später noch der episodische Speicher („Episodic buffer“) hinzugefügt (Baddeley 2000). Dieser wird als separates, ebenfalls kapazitätslimitiertes Ablagesystem verstanden, welches einen multidimensionalen Code nutzt und somit Informationen aus den anderen Subsystemen sowie auch aus dem Langzeitgedächtnis integrieren kann. Dies ist die Voraussetzung für eine

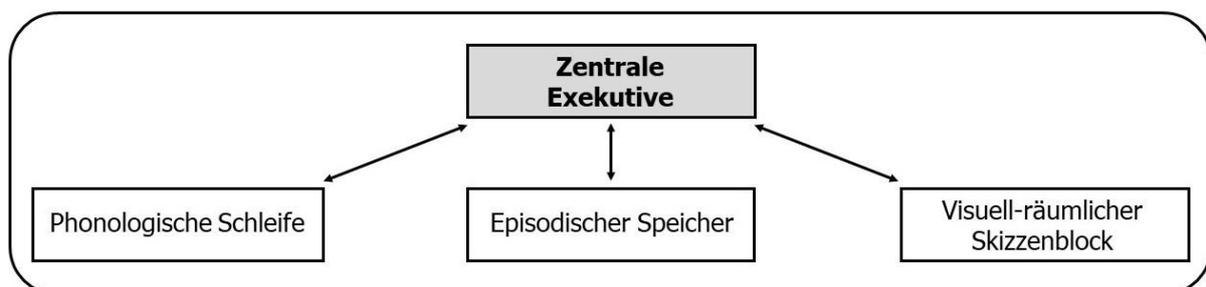


Abbildung 1: Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley

Die „Zentrale Exekutive“ steht in diesem Modell als Kontrollinstanz zwischen zwei getrennten passiven Zwischenablagen des Arbeitsgedächtnisses („Phonologische Schleife“ und „Visuell-räumlicher Skizzenblock“). Sie ist verantwortlich für die Weiterverarbeitung und Manipulation dort zwischengespeicherter verbaler bzw. visuell-räumlicher Informationen. Außerdem integriert sie mit Hilfe einer multidimensionalen Zwischenablage („Episodischer Speicher“) Informationen aus verschiedenen Systemen. Umgezeichnet nach Baddeley 2012

weitere Verarbeitung der Informationen in zeitliche Episoden, bildliche Szenerien oder in Informationspakete. Abbildung 1 gibt einen schematischen Überblick über das beschriebene Arbeitsgedächtnismodell.

Für die zentrale Exekutive wurden im Verlauf einzelne Unterfunktionen definiert (Baddeley 1996). Mittlerweile argumentieren die meisten Autoren gegen eine zentrale Exekutive und für eine Aufteilung in verschiedene teils unabhängige Exekutivfunktionen (Baggetta und Alexander 2016). Drechsler (Drechsler 2007) definiert allgemein: „Unter dem Begriff Exekutivfunktionen werden Regulations- und Kontrollmechanismen zusammengefasst, die ein zielorientiertes und situationsangepasstes Handeln ermöglichen.“ Dabei ist die Definition dieser einzelnen Funktionen aber nicht einheitlich. In einem aktuellen Review (Baggetta und Alexander 2016) zeigen die Autoren, dass insgesamt 39 verschiedene Exekutivfunktionen beschrieben sind, von denen viele aber nie ein zweites Mal Erwähnung finden. Sie schreiben, dass weitestgehend Konsens über die Existenz der drei Exekutivfunktionen bestehe, die in einer einflussreichen Arbeit (Miyake et al. 2000) als separat, wenn auch moderat miteinander korrelierend, identifiziert worden sind: Das Halten, Erneuern und Manipulieren von Informationen („Updating“), das Unterdrücken dominanter Gewohnheiten sowie automatischer Verhaltensweisen („Inhibition“) und das Wechseln zwischen Aufgaben, mentalen Netzwerken und Zielen („Shifting“).

Durch zahlreiche Studien mit funktionell bildgebenden Verfahren und Untersuchung von Patienten mit bestimmten Hirnläsionen ist bekannt, dass die wesentliche anatomische Lokalisation des Arbeitsgedächtnis bzw. der Exekutivfunktionen der Frontallappen ist (Smith et al. 1998; Jurado und Rosselli 2007). Dabei spielt vor allem die präfrontale Region mit dem orbitofrontalen, mediofrontalen, anterioren cingulären und dorsolateralen präfrontalen Kortex eine besondere Rolle. Darüber hinaus sind aber auch zahlreiche Verbindungen zu weiteren Kortexgebieten und subkortikalen Arealen von entscheidender Bedeutung (Müller 2013).

In dieser Studie geht es um eine erste Untersuchung der Musteranalyse im Hinblick auf die Beteiligung der verschiedenen Arbeitsgedächtniskomponenten beim RNGT. Dabei sollen noch keine speziellen Unterfunktionen differenziert werden. Es werden die beiden passiven Ablagen für verbale bzw. visuell-räumliche Informationen und eine allgemeine aktive Komponente, welche das Verhalten bei dem Test steuert und kontrolliert, betrachtet. Daher wird im Weiteren der allgemein gehaltene Begriff der „zentralen Exekutiven“ für diese Komponente des Arbeitsgedächtnis verwendet.

## **1.2 Der Random Number Generation Task**

### **1.2.1 Etablierte Analyse-Scores und Einteilung in Hauptkomponenten**

Das Maß an Zufälligkeit kann nicht direkt erfasst werden, sondern nur die Abweichung von Zufälligkeit lässt sich quantifizieren. Diese Abweichung kann nicht auf eine einzige Dimension reduziert werden. Daher gibt es verschiedene Scores, die anhand der produzierten Zahlenreihen berechnet werden können und dabei alle nur einzelne Aspekte der Performance ausdrücken. In einem Review (Towse und Neil 1998) sind die häufig genutzten Scores und ihre zugrundeliegende Berechnung ausführlich beschrieben. Diverse verschiedene Studien führten mit diesen einzelnen Scores Hauptkomponentenanalysen durch, die konsistent drei Hauptkomponenten identifizierten (Miyake et al. 2000; Peters et al. 2007; Maes et al. 2011), welche den drei oben aufgeführten typischen Verhaltensweisen entsprechen. Daher ist eine Einteilung der Scores in drei Gruppen gängig: Repetition-Scores, Cycling-Scores und Seriation-Scores. Die Repetition-Scores messen, wie oft Zahlen unmittelbar oder auch über verschiedene Distanzen wiederholt werden. Die Cycling-Scores beschreiben, wie stark die oben beschriebene Strategie Cycling umgesetzt wird und sind ein Maß für die Gleichverteilung der Antwortalternativen über kurze Distanzen oder auch in der gesamten Zahlenreihe. Die Seriation-Scores decken auf, wie häufig Paare aus benachbarten Zahlen gebildet werden, wie viel über längere Distanzen gezählt oder wie häufig zwischen auf- und absteigenden Zahlenfolgen gewechselt wird.

In den weiteren Ausführungen wird auf diese drei Gruppen Bezug genommen.

### **1.2.2 Validität und Reliabilität**

Eine wichtige Anforderung an das Arbeitsgedächtnis beim RNGT ist das Überwachen des eigenen Verhaltens, woran sowohl die passive Zwischenablage als auch die zentrale Exekutive beteiligt sind. Die zuletzt genannten Zahlen müssen zwischengespeichert und stetig aktualisiert werden, um sich bei der nächsten Antwortwahl daran orientieren zu können. Darüber hinaus müssen aber auch immer alle Antwortalternativen (z.B. die Zahlen 1-9) im Arbeitsgedächtnis bereitgehalten werden, um eine Antwort produzieren zu können (Towse 1998). Belegt ist diese „Monitoring“ Rolle des Arbeitsgedächtnis unter anderem durch Untersuchungen mit der Dual-Task-Methode. Dabei führt der Proband den RNGT gleichzeitig mit einer anderen Aufgabe aus, die das Überwachen von Informationen im Arbeitsgedächtnis beansprucht. Dies führt zu einer Verschlechterung der Performance im Vergleich zur einzelnen Ausführung, weil die Kapazität schneller ausgeschöpft ist und zeigt überschneidende Anforderungen der beiden Tasks (Towse und Cheshire 2007). Die Validität wird weiterhin gestützt durch bildgebende Studien. Daniels et al. (Daniels et al. 2003) konnten in einer fMRT-Studie zeigen, dass während des RNGT ein

neuronales Netzwerk aktiv ist, welches mit dem Arbeitsgedächtnis assoziierten Netzwerk vergleichbar ist. Joppich et al. (Joppich et al. 2004) fanden in Form von ereigniskorrelierten Potenzialen im EEG ein elektrophysiologisches Korrelat für das Monitoring beim RNGT. Besonders die Cycling-Scores gelten als Ausdruck für diese Arbeitsgedächtnisanforderung (Miyake et al. 2000; Strenge und Bohm 2005). Durch die Strategie Cycling kommt es zu einer ausgeprägten Gleichverteilung der Antwortalternativen. Um dies zu erreichen, müssen die zuvor genannten Antworten im Arbeitsgedächtnis überwacht werden. Eine Leistungssteigerung in diesem Prozess, zum Beispiel durch Erhöhung der möglichen Antwortalternativen, führt zu einer signifikanten Abnahme dieser Gleichverteilung (Towse 1998).

Die Seriation-Scores gelten in erster Linie als Ausdruck der Leistungsfähigkeit der zentralen Exekutiven, da sie am ehesten aussagekräftig dafür sind, wie gut das eigene Verhalten beim RNGT kontrolliert wird, im Speziellen wie erfolgreich dominante Verhaltensweisen aktiv unterdrückt werden (Marsh et al. 2013; Jahanshahi 1998). Die stärkste Gewohnheit ist das Zählen in 1er-Schritten. Es zeigt sich zum Beispiel regelmäßig, dass Patientengruppen mit verschiedenen Erkrankungen, welche die zentrale Exekutive beeinträchtigen, deutlich schlechter in der Lage sind, Zählendenzen zu vermeiden als gesunde Vergleichsgruppen (Maes et al. 2011; Witt et al. 2004). Erhöht man bei gesunden Probanden die vorgegebene Antwortgeschwindigkeit, führt dies zu einer signifikanten Zunahme des Zählens, was dafür spricht, dass es durch einen aktiven Prozess kontrolliert wird, dessen Kapazität durch die höhere Geschwindigkeit überschritten wird (Daniels et al. 2003). Weitere Evidenz für die entscheidende Beteiligung der zentralen Exekutiven am Vermeiden des Zählens existiert durch Untersuchungen mit der Dual-Task-Methode (Brown et al. 1998; Azouvi et al. 1996), bildgebende Studien (Jahanshahi et al. 2000), Untersuchungen mittels transkranieller Hirnstimulation (Jahanshahi 1998) und Korrelationen mit anderen Testverfahren (Maes et al. 2011; Peters et al. 2007).

Die Interpretation der starken Vermeidung unmittelbarer Zahlenwiederholungen fällt weniger einheitlich aus. Einige Autoren sehen den Grund dafür in einem automatischen Prozess, der in einem Assoziationsnetzwerk zu einer Unterdrückung unmittelbar genannter Antworten führe (Oomens et al. 2015). Andere wiederum sprechen sich gegen diese einfache Erklärung aus (Towse et al. 2016) und argumentieren für eine Beteiligung aktiver Prozesse, weil sie es als Strategie zum Erreichen einer Gleichverteilung der Antwortalternativen sehen (Capone et al. 2014; Heuer et al. 2010).

Jahanshahi et al. (Jahanshahi et al. 2006) kommen zum dem Ergebnis, dass der RNGT eine hohe Retest-Reliabilität habe und es keine Übungseffekte gebe. Daher sei der Test ideal für

Mehrfach-Untersuchungen geeignet. Eine andere Studie (Capone et al. 2014) zeigt hingegen, dass über mehrere Testdurchläufe hinweg die Zählenden ab- und die Vermeidung von Wiederholungen zunehmen, während die Cycling-Scores von Anfang an konstant blieben. Ein Großteil dieser Änderungen hätten sich aber schon innerhalb der ersten wenigen Testdurchläufe über 100 Zahlen ergeben. Die Ergebnisse der erst genannten Studie seien darauf zurückzuführen, dass ein Großteil der Probanden schon Erfahrung mit dem Testverfahren hätte, somit jenseits der initialen Übungseffekte untersucht wurde. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam schon eine frühe Studie (Evans 1978), die zeigte, dass die Retest-Reliabilität steige, wenn der erste Testdurchlauf von der Analyse exkludiert werde, da am Anfang wohl Strategien getestet und wieder verworfen würden, bevor sich eine stabile Performance einstelle.

### **1.2.3 Altersabhängigkeit**

Ein typisches Charakteristikum von Testverfahren des Arbeitsgedächtnis ist eine Altersabhängigkeit, da die Kapazität und allgemeine Leistungsfähigkeit der zentralen Exekutiven im Laufe des Lebens abnimmt (Albinet et al. 2012; Borella et al. 2008). In einer Studie mit einer Testvariante bei der Zufallssequenzen aus Buchstaben produziert werden sollten (van der Linden et al. 1998), zeigte sich, dass ältere gesunde Probanden mehr stereotype Antworten produzieren (z.B. A-B) als eine jüngere Vergleichsgruppe, während sich die anderen Scoretypen nicht zwischen den Altersgruppen unterschieden. Dieses Muster wiederholte sich in zwei anderen Studien, von denen eine ebenfalls die Testvariante mit Buchstaben nutzte (Fisk und Sharp 2004) und die andere eine Testvariante mit Nomen (Heuer et al. 2010). In anderen Untersuchungen mit dem klassischen RNGT konnte aber auch bei keinem Scoretypen eine signifikante Korrelation mit dem Alter gefunden werden (Maes et al. 2011; Peters et al. 2007) oder erst bei Testung von Probanden in höherem Alter bis 85 Jahre (Albinet et al. 2012; Newson et al. 2003). In der vorliegenden Arbeit werden ebenfalls Alterseffekte zwischen jungen und älteren gesunden Probanden beim RNGT untersucht, um zur Frage einer bestehenden Altersabhängigkeit des Testverfahrens beizutragen.

### **1.2.4 Manuelle Testvariante**

Neben dem verbalen Generieren von Zufallssequenzen gibt es auch eine Testvariante bei der die Antworten manuell eingegeben werden. Diese hat gegenüber der verbalen Variante verschiedene Vorteile: Eine Untersuchung aphasischer Patienten und separate Untersuchung der rechten und linken Seite ist möglich (Hemisphärenasymmetrie); die Durchführung ist einfacher und weniger fehleranfällig, weil die Antworten automatisch erfasst und nicht extra aufgenommen werden müssen (Schulter et al. 2010). Das genaue methodische Vorgehen

unterscheidet sich erheblich, weshalb eine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Studien nur bedingt möglich ist. Einige Studien erlauben die zufällige Dateneingabe mit mehreren Fingern beider Hände auf einer Computertastatur. Die Tasten können dabei in einer Reihe (Baddeley 1998), im Block (Towse 1998) oder irregulär (Schulter et al. 2010) angeordnet sind. Andere erlauben die Dateneingabe durch die Steuerung einer Computermaus oder durch das Berühren von Feldern auf einem Monitor. Wieder variiert die Stimuluspräsentation, so können die Antwortalternativen im Kreis (Cooper et al. 2012) oder in einer Matrix (Maes et al. 2011) angeordnet sein. Ein weiterer Unterschied im Vorgehen besteht darin, ob die zu drückenden Tasten/Felder mit Buchstaben (Cooper et al. 2012) oder Zahlen (Maes et al. 2011) beschriftet sind, oder keine Beschriftung tragen (Schulter et al. 2010). Der Vergleich der menschlichen Performance mit computergenerierten Zufallssequenzen gleicht der verbalen Testvariante: Wiederholungen werden vermieden; durch den Einsatz der Strategie Cycling kommt es zu einer stärkeren Gleichverteilung der Antwortalternativen über kurze Distanzen; dominante Antworten werden vermehrt gegeben (Maes et al. 2011; Cooper et al. 2012). Auch bei der manuellen Testvariante gelten das Überwachen der gegebenen Antworten im Arbeitsgedächtnis und das Kontrollieren des Verhaltens durch die zentrale Exekutive in Form des Vermeidens stereotyper Antworten als entscheidend für die Performance. Untersucht ist dies mit dem Dual-Task-Prinzip (Baddeley 1998; Cooper et al. 2012), Variation der Antwortgeschwindigkeit (Joppich et al. 2004; Dirnberger und Jahanshahi 2010), Vergleich von Patienten mit gesunden Probanden (Munte et al. 2015) und Korrelationen mit anderen Testverfahren (Zabelina et al. 2012). Allerdings gibt es auch entscheidende Unterschiede zwischen der verbalen und manuellen Testform. So konnte gezeigt werden (Towse 1998), dass die Performance entscheidend davon abhängt, ob alle Antwortalternativen wie bei der manuellen Testvariante ständig präsentiert sind und der Proband jeweils nur eine Antwort daraus wählen muss, oder ob die Wahl der Antworten aus einer inneren Repräsentation aller Antwortalternativen im Arbeitsgedächtnis erfolgt und somit ein Generieren von Antworten aus einer internen Repräsentation erforderlich ist. Im direkten Vergleich war die Performance bei der manuellen Variante besser als verbal, weshalb sie als weniger fordernd eingestuft wurde. Auch in anderen Studien zeigte sich, dass im direkten Vergleich manuell weniger benachbarte Antworten produziert wurden als verbal (Dirnberger und Jahanshahi 2010; Maes et al. 2011). Außerdem unterliegt die Antwortwahl manuell auch motorischen Einflüssen, insbesondere wenn dabei verschiedene Finger eingesetzt werden, so können zum Beispiel unterschiedliche Reaktionszeiten der verschiedenen Finger eine Rolle spielen (Heuer et al. 2005). Auch in der vorliegenden Arbeit wird eine manuelle Testform mit einer verbalen

verglichen und wie diese hinsichtlich Alterseffekten und Beteiligung der verschiedenen Arbeitsgedächtniskomponenten untersucht.

### **1.3 Verfahren der Musteranalyse zufällig generierter Zahlenreihen**

Die bisher beschriebenen, etablierten Scores betrachten in erster Linie die Abweichung von mathematischer Zufälligkeit in den Zahlenreihen. Ein neuer Ansatz aus unserer Arbeitsgruppe (Schulz et al. 2012) löst sich davon und beruht stattdessen auf einer Analyse von dominanten Mustern und ihren Variationen in den Zahlenreihen. Während die etablierten Scores das Ausmaß der oben genannten allgemeingültigen Beobachtungen in solchen Zahlenreihen erfassen, berücksichtigt dieses Muster-basierte Verfahren individuell bevorzugte abstrakte Muster eines Menschen. Dieser Ansatz der Musteranalyse beruht auf zwei Grundüberlegungen: Erstens wählt der Proband beim RNGT seine nächste Antwort in Abhängigkeit von den vorangegangenen Antworten, welche er noch zwischengespeichert hat. Dieser Arbeitsgedächtnisprozess ist kapazitätslimitiert. Zweitens nutzt er bei der Wahl seiner nächsten Antwort ein bestimmtes Set an fixierten Regeln, zwischen denen er nur begrenzt wechseln kann. Somit entstehen in der Zahlenreihe dominante Muster, die immer wieder in Variationen auftreten. Dadurch wird sie bei Kenntnis dieser Muster vorhersehbar im Sinne einer Markov-Kette höherer Ordnung. Die dominanten Muster kommen in ihrem Originalzustand in einer Zahlenreihe zu selten vor, deshalb müssen für eine verbesserte Aussage auch ihre Variationen berücksichtigt werden, weshalb die Damerau-Levenshtein Distanz für die Analyse angewandt wird. Dieses mathematische Verfahren bestimmt die minimale Anzahl an Editieroperationen, die nötig sind, um eine Zahlensequenz in eine andere zu verwandeln. Als Editieroperationen gelten dabei das Einsetzen, Löschen und Ersetzen einzelner Zahlen, sowie das Vertauschen benachbarter Zahlen. In diesem Fall kann damit also der mathematische Abstand zwischen einem Muster einer beliebigen Länge und einer anderen Sequenz aus der Zahlenreihe bestimmt werden. Dieser mathematische Abstand kann für jedes Muster an jeder möglichen Stelle der Zahlenreihe errechnet werden. Für jedes Muster ergibt sich aus der Summe der inversen Editieroperationen, geteilt durch die Gesamtlänge der Zahlenreihe ein Score. Dieser drückt aus, wie stark das Muster (auch in Variationen) in der Zahlenreihe vertreten ist. Auf Basis dieser Musteranalyse wird dann versucht, die Zahlenreihe eines Probanden vorherzusagen. Abbildung 2 gibt einen vereinfachten Überblick über die einzelnen Schritte des Verfahrens.

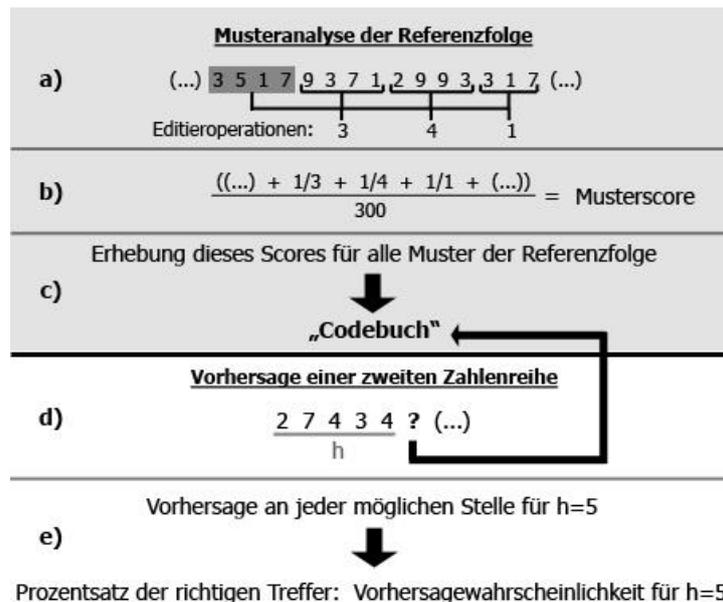


Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung des Prinzips der Musteranalyse und darauf basierender Vorhersage einer Zahlenreihe nach Schulz et al. (2012)

- a) Es erfolgt die Bestimmung der minimal nötigen Anzahl an Editieroperationen nach Damerau-Levenshtein, um ein betrachtetes Muster (grau hinterlegt) in eine andere Sequenz der Referenzfolge zu verwandeln. b) Die Summe aus allen Kehrwerten der Editieroperationen geteilt durch die Gesamtlänge der Referenzfolge, ergibt einen Musterscore. c) Es entsteht ein „Codebuch“ mit allen Musterscores. d) Entnimmt man eine beliebige Sequenz einer bestimmten Länge (hier h=5) aus einer zweiten Zahlenreihe, kann anhand des Codebuchs ermittelt werden, welche Ziffer am wahrscheinlichsten folgt. e) Der Prozentsatz der genau richtigen Treffer ist die Vorhersagewahrscheinlichkeit für eine bekannte Nummernhistorie von 5.

Schulz et al. (2012) machten ein Experiment mit 20 gesunden, jungen Studenten, die zwei Zahlenreihen aus jeweils 300 Zahlen (1-9) produzierten. Eine der Zahlenreihen diente als Referenz, die wie beschrieben analysiert wurde. Aus der zweiten Zahlenreihe desselben Probanden wurde dann eine Sequenz beliebiger Länge (z.B. vier Ziffern, h=4) entnommen und versucht die darauffolgende Zahl vorherzusagen. Dafür wurde die Zahl gewählt, die in Kombination mit den bekannten letzten h Ziffern, den höchsten Score als Muster in der Referenzfolge erzielte. Dies wurde für jede Sequenz dieser Länge in der vorherzusagenden Zahlenreihe bestimmt, woraus sich letztendlich ein durchschnittlicher Vorhersagewert berechnen ließ, der angibt in wieviel Prozent der Versuche genau die richtige Zahl vorhergesagt werden konnte. Bei dem genannten Experiment konnte ein maximaler durchschnittlicher Vorhersagewert von 27% erreicht werden. Wie der Abbildung 3 entnommen werden kann, stieg der Vorhersagewert zunächst mit der Länge von h, bis er nach Erreichen des maximalen Werts bei h=7 stagnierte.

Daraus folgt die Hypothese, dass der Verlauf dieser Exponentialfunktion von der durchschnittlichen Kapazität der verbalen Zwischenablage des Arbeitsgedächtnisses abhängt. Solange die bekannte Nummernhistorie vom Probanden im Arbeitsgedächtnis gehalten werden kann, steigt der Vorhersagewert für die nächste Antwort mit der Länge von h, weil der Proband

die nächste Zahl in Abhängigkeit seiner vorherigen Antworten wählt. Vorherige Antworten, die nicht mehr im Arbeitsgedächtnis zwischengespeichert sind, weil sie außerhalb der Kapazität liegen, haben keinen Einfluss auf die nächste Wahl und führen somit auch zu keiner weiter steigenden Vorhersagewahrscheinlichkeit.

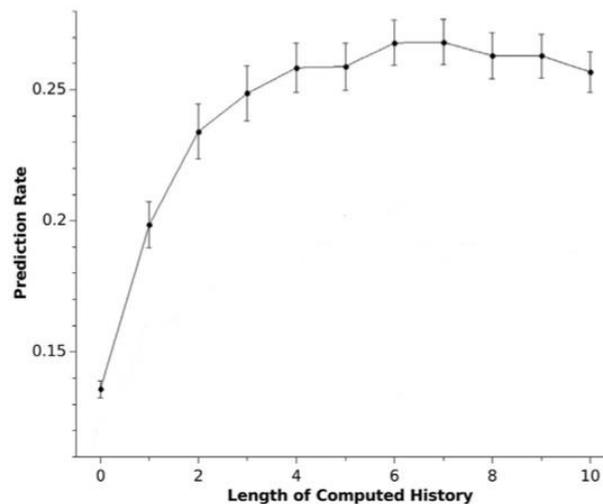


Abbildung 3: Zusammenhang der Vorhersagerate mit der Länge der bekannten vorausgehenden Nummernhistorie

Der Vorhersagewert (Prediction rate) für eine Zahl  $n$  steigt zunächst mit der Länge der bekannten vorausgehenden Nummernhistorie  $h$  (Length of computed history). Der maximale Wert wird bei  $h=7$  erzielt. Anschließend steigt der Vorhersagewert trotz steigender Nummernhistorie nicht mehr. Umgezeichnet nach Schulz et al. 2012

#### 1.4 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit

Ausgehend von der Studie von Schulz et al. (2012) wird in der vorliegenden Arbeit die Hypothese geprüft, dass sich aus der Musteranalyse ein Maß für die Kapazitäten der Zwischenablagen des Arbeitsgedächtnis ableiten lässt. Dies erfolgt sowohl für den verbalen als auch für den visuell-räumlichen Teil des Arbeitsgedächtnis anhand einer verbalen und manuellen Testvariante des RNGT. Dafür wird ein Score verwendet, welcher der „Halbwertszeit“ der Exponentialfunktion in Abbildung 3 entspricht. Darüber hinaus wird ein Score für den maximalen Vorhersagewert verwendet, der dem Konvergenzpunkt der Funktion entspricht. Es wird vermutet, dass dieser von der zentralen Exekutiven abhängt. Je besser das Verhalten bei dem Test kontrolliert werden kann, indem individuell präferierte Muster sowie dominante Antworten vermieden und unterschiedliche Strategien entwickelt und genutzt werden, desto niedriger sollte der maximale Vorhersagewert sein. Entsprechend werden weitere Testverfahren angewendet, die verschiedene der relevanten Komponenten des Arbeitsgedächtnis fordern, um anschließend diese vermuteten Zusammenhänge untersuchen zu können. Dabei werden auch Vertreter aus den drei etablierten Scoretypen des RNGT

berücksichtigt. Außerdem erfolgt anhand dieser Scores und der beiden Scores der Musteranalyse ein direkter Vergleich der verbalen und manuellen Testvariante. Des Weiteren wird geprüft, ob die Performance beider Varianten vom Alter gesunder Probanden abhängt.

Zusammenfassend ergeben sich also folgende Fragestellungen für die vorliegende Arbeit:

- Unterscheidet sich die Performance einer Gruppe junger gesunder Probanden von der einer Gruppe älterer gesunder Probanden beim RNGT?
- Unterscheidet sich die Performance zwischen der verbalen und manuellen RNGT-Variante?
- Lässt sich aus der Musteranalyse beim verbalen und manuellen RNGT ein Maß für die Kapazitäten der Zwischenablagen des Arbeitsgedächtnis ableiten?
- Lässt sich aus der Musteranalyse beim verbalen und manuellen RNGT ein Maß für die Leistungsfähigkeit der zentralen Exekutiven des Arbeitsgedächtnis ableiten?

## 2 Probanden, Material und Methoden

### 2.1 Probandenauswahl

An dieser Studie nahmen insgesamt 70 gesunde Probanden im Alter von 20 bis 69 Jahren teil (mittleres Alter=38,94 Jahre; Standardabweichung (SD)=17,475). Davon waren 40 Studenten der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel im Alter von 20 bis 29 Jahren (mittleres Alter=24.35 Jahre; SD=2.14) und 30 ältere Probanden zwischen 49 und 69 Jahren (mittleres Alter=58.4 Jahre; SD=5.92). Die Aufteilung in zwei Altersgruppen erfolgte, um eine größere Streuung der Performance bei den Arbeitsgedächtnistests zu erhalten. Die konkrete Altersspanne der älteren Gruppe wurde so gewählt, weil diese Gruppe gleichzeitig als Vergleichsgruppe für eine Gruppe aus Parkinson-Patienten dieser Altersspanne in einer anderen Studie diente. Getestet wurden insgesamt 36 Männer und 34 Frauen. Es galten folgende Ausschlusskriterien:

- Neurologische oder psychiatrische Erkrankung akut oder in der Vorgeschichte in der Anamnese
- Schädel-, Hirnverletzungen oder Gehirnoperationen in der Vorgeschichte
- Aktuelle oder vergangene Suchtproblematik (Alkohol und andere Drogen)
- Andere schwere systemische Erkrankungen (z.B. generalisierte Arteriosklerose, Diabetes mellitus) in der Anamnese
- Regelmäßige Einnahme von Medikamenten (außer orale Kontrazeptiva)
- Vorliegen einer Depression (ab 18 Punkte im Beck-Depressions-Inventar)
- Vorliegen einer Demenz (< 137 Punkte auf der Mattis Demenz Skala)

Die Rekrutierung der Probanden erfolgte über Aushänge. Es bestanden keine finanziellen Abhängigkeiten zwischen Probanden und Untersuchern. Alle Probanden hatten noch keine Erfahrung mit dem Random Number Generation Task.

### 2.2 Studiendesign und Prozedere

Zunächst erfolgte eine mündliche und schriftliche Aufklärung über den Inhalt und den Ablauf der gesamten Studie (siehe Anhang 8.1). Anschließend willigte der Proband schriftlich ein und füllte einen Fragebogen zu den persönlichen Daten und dem Gesundheitszustand aus (siehe Anhänge 8.2 und 8.3), um mögliche Ausschlusskriterien zu identifizieren und die Untersuchung gegebenenfalls abzubrechen. Um eine Beeinflussung der Ergebnisse durch kognitive Defizite auf dem Boden einer bestehenden Depression oder Demenz zu vermeiden, folgte das Ausfüllen des Beck-Depressions-Inventar zum Ausschluss einer aktuellen depressiven Episode und die Testung der älteren Probanden zum Ausschluss einer Demenz anhand der Mattis Demenz Skala. Um Effekte durch die Testreihenfolge zu minimieren, wurden die Probanden in zwei

Gruppen aufgeteilt, welche die weiteren Tests in entgegengesetzter Reihenfolge absolvierten. Bei geradem Geburtsjahr erfolgte die Zuteilung zur Testreihenfolge „rechts“, bei ungeradem Geburtsjahr zur Testreihenfolge „links“. Es wurden im Weiteren jeweils zwei Durchgänge des verbalen und manuellen RNGT durchgeführt und zusätzlich die Ziffernspannen und visuell-räumlichen Spannen sowie der 5-Punkte-Test als Task für das Arbeitsgedächtnis. Dabei waren die Tests so angeordnet, dass sich immer ein verbaler mit einem manuellen/räumlichen Test abwechselte. Die jeweilige Abfolge der weiteren Tests kann der Tabelle 1 entnommen werden. Die Testbatterie enthielt darüber hinaus noch weitere Tasks zum Zwecke anderer Studien, die wegen fehlender Relevanz für die vorliegende Arbeit hier nicht weiter beschrieben werden. Zur Aufzeichnung der Testresultate wurde ein Laptop (Acer® Extensa 5630EZ) verwendet. Daran angeschlossen war ein externer Touchscreen (Birch® 15" TFT LCD Monitor TM-2200MB), an dem die Probanden den manuellen RNGT und den visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnistest absolvierten. Die Testungen erfolgten in einer Sitzung in einem ruhigen Raum ohne Ablenkung und dauerten insgesamt ca. 90 Minuten. Dafür erhielten die Probanden eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 15 Euro. Zwischen den einzelnen Testverfahren durften beliebig Pausen eingelegt werden und ein Abbruch der Untersuchung war jederzeit möglich. Die Ethik-Kommission der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel hatte vor Beginn der Studie ihre Genehmigung erteilt (AZ: 103/09).

Tabelle 1: Testreihenfolge "rechts" und "links"

	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>5.</b>	<b>6.</b>	<b>7.</b>
<b>Rechts</b>	RNGT verbal A	Visuell- räumliche Spannen	RNGT verbal B	RNGT manuell A	Ziffern- spannen	RNGT manuell B	5- Punkte- Test
<b>Links</b>	RNGT manuell A	Ziffern- spannen	RNGT manuell B	RNGT verbal A	Visuell- räumliche Spannen	RNGT verbal B	5- Punkte- Test

RNGT: Random Number Generation Task, A: Erster Durchgang, B: Zweiter Durchgang

## 2.3 Testverfahren zu den Ausschlusskriterien

### 2.3.1 Beck-Depressions-Inventar

Zum Ausschluss einer manifesten depressiven Episode wurde das Beck-Depressions-Inventar (BDI) in einer deutschen Version verwendet (Beck et al. 1994). Dies ist ein Selbstbeurteilungstest zur Feststellung einer Depression und deren Schweregrad bei Erwachsenen, wobei die Diagnose nicht nur aufgrund eines positiven Testergebnis gestellt

werden darf (Strauss et al. 2006). Der Fragebogen besteht aus 21 Kategorien zu jeweils einem typischen Symptom einer Depression wie zum Beispiel Traurigkeit, Interessenverlust, Schuldgefühle, Schlafstörungen (siehe Anhang 8.4). Jede Kategorie besteht aus vier Aussagen, die sich entsprechend der Ausprägung des Symptoms steigern und jeweils mit 0 Punkten (Symptom liegt nicht vor) bis 3 Punkten (schwerste Ausprägung) bewertet werden. Der Gesamtscore ergibt sich aus der Addition aller Kategorien und reicht von 0-63 Punkten. Höhere Werte bedeuten somit eine schwerere Ausprägung der Symptome einer Depression. Die psychometrischen Eigenschaften des Tests sind gut (Ambrosini et al. 1991). Die Testinstruktion, welche mündlich gegeben wurde, fordert den Probanden dazu auf, alle Aussagen einer Kategorie zunächst sorgfältig durchzulesen und dann diejenige anzukreuzen, welche seinen Zustand in der letzten Woche am besten beschreibe. Falls mehrere Aussagen pro Kategorie zutreffen, dürfen auch mehrere angekreuzt werden. Für die Auswertung wird dann nur die Aussage mit dem höchsten Punktwert berücksichtigt.

### **2.3.2 Mattis Demenz Skala**

Die Mattis Demenz Skala ist ein häufig genutztes Screeningverfahren zur Untersuchung kognitiver Funktionen, welches insbesondere sensitiv für die Erkennung einer senilen Demenz vom Alzheimer Typ ist (Lezak et al. 2004). Der Test besteht aus fünf Teilbereichen (Aufmerksamkeit, Konzentration, Konstruktion, Kombinatorik und Gedächtnis), in denen die Aufgaben nach Schwierigkeit sortiert sind (beginnend mit der schwersten Aufgabe). Werden bereits die ersten Aufgaben eines Bereichs problemlos gelöst, können zum Teil weitere Aufgaben übersprungen und mit maximaler Punktzahl bewertet werden. Der Gesamtscore ergibt sich aus Addition der erreichten Punkte aller Teilbereiche und beträgt maximal 144 Punkte (siehe Anhang 8.5) Die Konstruktvalidität ist gut untersucht (Knox et al. 2003; Bobholz und Brandt 1993).

## **2.4 Random Number Generation Task**

Vor dem ersten RNGT-Durchgang wurde das Prinzip des Tests mit Hilfe des gängigen Hutmodells erklärt (Horne et al. 1982). Dabei soll sich der Proband vorstellen, vor ihm stehe ein Hut mit neun Losen. Auf jedem Los stehe eine der Ziffern zwischen 1 bis 9. Er ziehe ein zufälliges Los aus dem Hut, lese die entsprechende Ziffer laut vor und lege das Los direkt wieder in den Hut zurück und wiederhole den Vorgang immer wieder. Es wurde explizit darauf hingewiesen, dass alle Zahlen immer mit der gleichen Wahrscheinlichkeit gezogen werden könnten und jede Zahl unabhängig von der vorangegangenen sei, so dass die entstehende Zahlenfolge so durcheinander und unvorhersehbar wie möglich werden solle. Zur Erklärung des Vorgehens beim manuellen RNGT wurde das gleiche Beispiel genannt mit dem Zusatz,

dass nach diesem Prinzip keine Ziffern genannt, sondern die 9 Felder auf dem Touchscreen gedrückt werden sollten. Während des Tests erhielt der Proband eine Taktvorgabe durch ein akustisches Signal mit der Frequenz von 1 Hz. Da bekannt ist, dass die Antwortgeschwindigkeit sowohl beim verbalen als auch beim manuellen RNGT entscheidenden Einfluss auf die Performance hat (Daniels et al. 2003; Salame und Danion 2007), wurde der Proband im Zuge der Testinstruktion aufgefordert, den Takt so gut wie möglich einzuhalten. Außerdem wurde er während des Tests darauf hingewiesen, wenn er zu schnell oder langsam war. Zur Überprüfung wurde die durchschnittliche Pausenlänge zwischen zwei Antworten berechnet. Zu Beginn jedes Durchgangs wurde der Proband gebeten, die Produktion der Zufallssequenzen solange aufrecht zu halten, bis er aufgefordert werde anzuhalten und ihm wurde mitgeteilt, dass jeder Durchgang ca. 5 Minuten dauere. Sobald 300 Ziffern in Folge genannt bzw. 300 Felder gedrückt worden sind, beendete der Untersucher den Durchgang. Während des verbalen RNGT gab der Untersucher die genannten Ziffern parallel über ein Nummernfeld auf dem Touchscreen in den Computer ein, dies war für den Probanden nicht einsehbar. Für den manuellen RNGT war eine 9,6 cm x 10,5 cm große Matrix aus 3x3 Feldern (Größe eines Feldes 3,2 cm x 3,5 cm) auf dem Touchscreen zu sehen. Diese Anordnung wurde einer linearen Anordnung vorgezogen, um die räumliche Distanz zwischen den Feldern so gering wie möglich zu halten, da bereits beschrieben ist, dass dies Einfluss auf die Performance habe (Towse 1998). Die Felder waren leer und somit keiner Zahl zugeordnet (siehe Abbildung 4). Dieses Vorgehen hatte zum Ziel, eine Vermischung von verbalen mit visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisprozessen weitestgehend zu verhindern. Auch bei visuell-räumlichen Input kommt es häufig zu einer phonologischen Weiterverarbeitung im Arbeitsgedächtnis durch das stetige Wiederholen mit einer inneren Stimme (Baddeley 2012), was durch die fehlende Felder-Ziffer-Zuordnung erschwert werden sollte. Bei der Durchführung des manuellen RNGT saß der

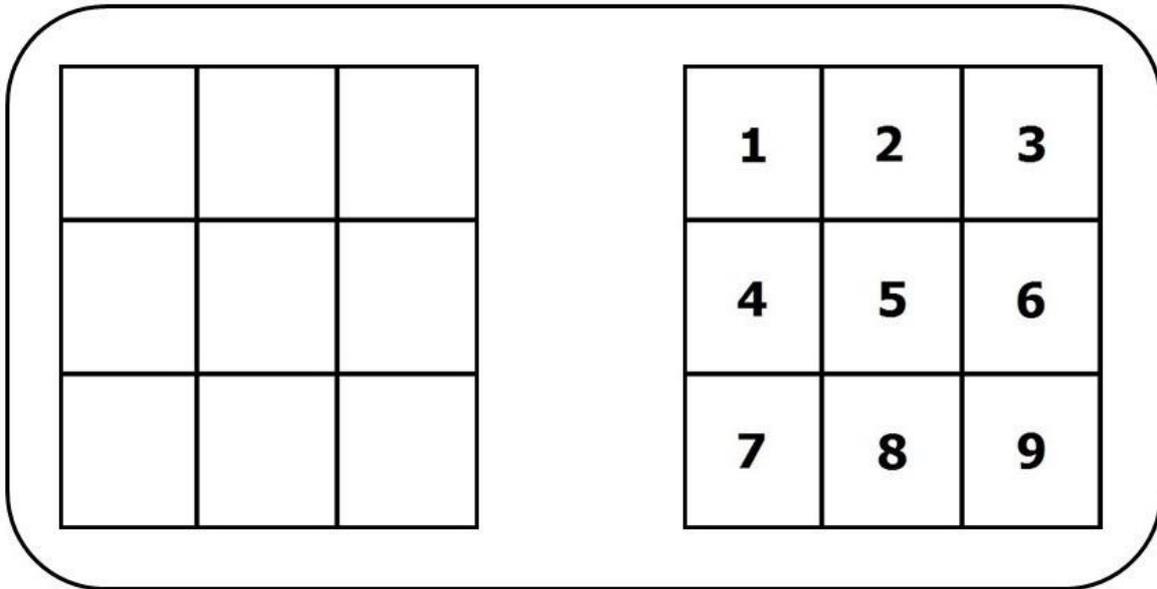


Abbildung 4: Testmatrix für den manuellen RNGT und das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis

Links: Für den Probanden sichtbare Testmatrix beim manuellen RNGT und Test der visuell-räumlichen Spannen.  
 Rechts: Nachträgliche Nummerierung der Felder zur Berechnung des Adjacency Scores und Reihenfolge der Felder auf der die Sortierung der Blinkfolge bei den „Visuell-räumlichen Spannen sortiert“ erfolgen sollte. (RNGT: Random Number Generation Task)

Proband in einem selbst gewählten Abstand vor dem Touchscreen und drückte die Felder nur mit dem Zeigefinger seiner dominanten Hand. Somit sollte eine Beeinflussung durch unterschiedliche Reaktionszeiten der verschiedenen Finger und andere sensomotorische Einflüsse minimiert werden. Der Proband erhielt beim Drücken eines Feldes durch eine kurze Einfärbung die visuelle Rückmeldung, dass die Wahl registriert wurde.

Für die Analyse der verbal und manuell produzierten Zufallsreihen wurde jeweils nur der zweite Durchgang berücksichtigt. Durch die bekannten und oben beschriebenen Performanceschwankungen zu Beginn, diente der erste Durchgang als Probedurchlauf. Aus den drei Gruppen Seriation, Cycling und Repetition wurde je ein Score als Vertreter gewählt. Um gute Vergleichbarkeit zu schaffen, erfolgte die Auswahl wie in einer anderen Studie (Maes et al. 2011), in der mit einer ähnlichen Methodik ebenfalls eine verbale mit einer manuellen Variante des RNGT an gesunden Probanden verglichen worden ist. Eine detaillierte Beschreibung der drei verwendeten Scores findet sich in dem bereits erwähnten Review (Towse und Neil 1998). Außerdem wurden zwei Scores der Musteranalyse verwendet. Die Berechnung erfolgte nach Schulz et al. (noch nicht veröffentlicht). Die einzelnen Scores errechnen sich wie folgt:

- Adjacency (A-Score) ist ein Seriation-Score. Dieser bildet den Quotient aus Anzahl der benachbarten Itempaare (auf- und absteigend) und Anzahl der Gesamtempaare  $\times 100$  (Towse und Neil 1998). Je größer der Wert, desto mehr stereotype Antworten im Sinne

eines Zählens in 1er-Schritten wurden gegeben. Da hierfür auch beim manuellen RNGT eine Reihenfolge der Felder erforderlich ist, wurden sie entsprechend der vermutlich stärksten Gewohnheit wie auf einer Handy-/Telefontastatur von links oben nach rechts unten nummeriert (siehe Abbildung 4).

- Coupon ist ein Cycling-Score, der die durchschnittliche Anzahl der genannten Antworten angibt bis einmal alle Antwortalternativen benutzt wurden. Je kleiner der Wert, desto stärker wird die Strategie Cycling umgesetzt.
- Phi-2 ist ein Repetition-Score, der die Häufigkeit direkter Wiederholungen (z.B. 5-5) angibt im Vergleich zu Sequenzen von einem Zufallsgenerator. Ein Wert von 0 bedeutet, die Häufigkeit von Wiederholungen entspricht perfekt der statistischen Erwartung. Negative Werte heißen, Wiederholungen waren seltener, bei positiven Werten häufiger als zu erwarten.
- P50 ist ein Score aus der Musteranalyse und gibt die „Halbwertszeit“ der Exponentialfunktion in Abbildung 3 wieder. Er entspricht also dem  $h$  bei der Hälfte des maximalen Vorhersagewerts. Der Hypothese zufolge ist er umso größer, je größer die Kapazität der verbalen bzw. räumlichen Zwischenablage im Arbeitsgedächtnis ist.
- Pmax ist ein Maß aus der Musteranalyse für den maximalen Vorhersagewert. Die Berechnung beruht allerdings auf dem Rangwert der tatsächlich vorherzusagenden Zahl. Das heißt, ist die gesuchte Zahl laut Musteranalyse an dieser Stelle nur die dritt wahrscheinlichste Möglichkeit, beträgt der Rangwert 3. Der Score berechnet sich aus dem Durchschnitt aller Rangwerte. Damit ist der Score umso größer, je geringer die Vorhersagbarkeit ist. Der Hypothese zufolge nimmt er also höhere Werte an, je besser die Leistungsfähigkeit der zentralen Exekutiven ist.

## 2.5 Arbeitsgedächtnis Tasks

### 2.5.1 Ziffernspannen

Zur Testung des verbalen Arbeitsgedächtnis wurden die Ziffernspannen vorwärts und rückwärts aus dem „Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene – Revision (HAWI-R)“ (Tewes 1991) genutzt. Dies ist die deutsche Adaptation des weit verbreiteten Intelligenztest „Wechsler Adult Intelligence Scale - Revised (WAIS-R)“ (Wechsler 1981). Bei den Ziffernspannen vorwärts werden dem Probanden mit einer Geschwindigkeit von 1 Hz Ziffernfolgen aufsteigender Länge vorgelesen, welche er jeweils unmittelbar in der selben Reihenfolge wiederholen soll. Begonnen wird mit einer Folge aus drei Ziffern, dann folgt eine weitere Folge aus drei Ziffern. Anschließend kommen zwei Folgen aus vier Ziffern und dieses Prinzip wird fortgesetzt bis zu zwei Folgen aus neun Ziffern (siehe Anhang 8.6). Zur Probe

wurden hier am Anfang zwei Folgen aus nur zwei Ziffern hinzugefügt. Der Test ist beendet, sobald beide Folgen einer Länge nicht korrekt wiedergegeben werden oder die letzte Ziffernfolge erreicht wird. Die Ziffernspannen rückwärts werden nach dem selben Prinzip durchgeführt, nur das der Proband hier aufgefordert wird, die genannte Ziffernfolge jeweils in umgekehrter Reihenfolge zu wiederholen und die beiden längsten Folgen aus nur acht Ziffern bestehen. In dieser Studie wurde für beide Testvarianten der Punktescore erhoben, bei dem es für jede richtig wiedergegebene Ziffernfolge einen Punkt gibt. Als zusätzliche Testform wurde der „Adaptive Digit Ordering Test“ durchgeführt (Werheid 2002). Dies ist eine neue Version des ursprünglichen „Digit Ordering Test“ (Cooper et al. 1991), die entwickelt wurde, um durch ein verändertes Vorgehen direkte Vergleichbarkeit zu den Wechsler Ziffernspannen vorwärts und rückwärts zu schaffen. Der Proband erhält hier die Aufgabe, die genannten Ziffern in aufsteigender Reihenfolge wiederzugeben (z.B. 3-1-5 zu ändern in 1-3-5). Wenn Ziffern doppelt vorkommen, sollen sie an entsprechender Stelle auch zweimal genannt werden. Auch hier wurden am Anfang zwei Folgen aus nur zwei Ziffern zur Probe hinzugefügt und die längsten Folgen bestehen aus acht Ziffern (siehe Anhang 8.6). Zur Vereinfachung wird dieser Test im Folgenden als „Ziffernspanne sortiert“ bezeichnet.

### **2.5.2 Visuell-räumliche Spannen**

Zur Erfassung des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis wurde eine Adaptation der Ziffernspannen am Touchscreen durchgeführt. Dafür wurde dieselbe Matrix wie beim manuellen RNGT benutzt (siehe Abschnitt 2.4 und Abbildung 4). In der ersten Testvariante erhielt der Proband die schriftliche Instruktion, sich eine Blinkfolge zu merken und anschließend in der richtigen Reihenfolge wiederzugeben. Es folgte zunächst eine Folge aus zwei Feldern, die nacheinander rot aufleuchteten. Anschließend verschwand die gesamte Matrix kurz, bevor der Proband seine Lösung eingeben konnte. Dabei erhielt er ein visuelles Feedback, ob das gedrückte Feld auch registriert wurde. Vor der nächsten Felderfolge musste der Proband per Knopfdruck bestätigen, dass er wieder bereit ist. In Analogie zu den Ziffernspannen folgte erneut eine Abfolge aus zwei aufleuchtenden Feldern, danach zwei Abfolgen aus drei Feldern. Dieses Prinzip wurde solange fortgeführt, bis beide Abfolgen einer Länge nicht korrekt wiedergegeben wurden. Im Gegensatz zu den Ziffernspannen gab es hier keine Begrenzung der Länge. In der zweiten Testvariante unterschied sich die Instruktion darin, dass die Stimulusfolge in umgedrehter Reihenfolge wiederholt werden sollte. In der dritten Variante sollte sie von links nach rechts und von oben nach unten (in Leserichtung) sortiert wiederholt werden. War diese Erklärung nicht unmittelbar verständlich, wurde erklärt, dass damit eine Reihenfolge der Felder entsprechend der Nummerierung in Abbildung 4

gemeint ist. Als Score für die visuell-räumlichen Spannen vorwärts, rückwärts und sortiert wurde ebenfalls der oben beschriebene Punktescore verwendet. Da es für diesen Test keine direkte Referenz gibt, wurden die Abfolgen mit einem Zufallsgenerator produziert und unterschieden sich somit bei allen Probanden.

### 2.5.3 5-Punkte-Test

Der 5-Punkte-Test (Regard et al. 1982) gehört zu den Tasks der figuralen Flüssigkeit. Bei diesem Test erhält der Proband die Aufgabe, innerhalb von 3 Minuten so viele unterschiedliche Muster wie möglich in Kästchen mit der immer gleichen Anordnung von 5 Punkten wie auf einem Würfel zu zeichnen (siehe Abbildung 5), Musterwiederholungen mussten vermieden werden. Als Muster zählen alle Zeichnungen, in denen zwei oder mehrere Punkte durch einen oder mehrere gerade Striche verbunden sind. Es zählen keine Zeichnungen mit Wellenlinien oder Linien, die keine Punkte verbinden. In der Auswertung zählen alle richtigen Muster gleich, unabhängig davon ob sie nur aus einer Linie bestehen oder aus mehreren. Vor dem Test wurden dem Probanden drei richtige Beispiele wie in einer anderen Studie (Goebel et al. 2009) vorgezeichnet und zusätzlich ein falsches Beispiel (Abbildung 5). Als ein Score wurde die Produktivität berechnet, welche die Summe aller richtigen und nur einmal gezeichneten Muster ist. Außerdem wurde der Strategie-Score berechnet, welcher der prozentuale Anteil der Strategiepunkte an allen richtigen Mustern ist. Ein Strategiepunkt wird für jedes Muster vergeben, welches eine Rotation oder Spiegelung des unmittelbar Vorherigen darstellt. Die beiden genannten Scores sind auch im hohen Leistungsbereich bei gesunden Probanden geeignet die Performance zu differenzieren, während Scores, die auf Perseverationsfehlern und Regelbrüchen beruhen, wegen eines zu geringen Vorkommens bei Gesunden nicht berücksichtigt wurden (Goebel et al. 2009; Cattelani et al. 2011).

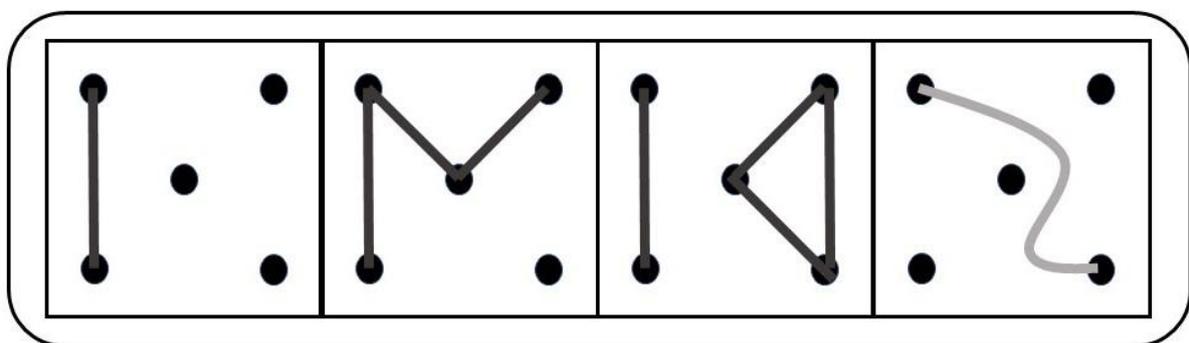


Abbildung 5: Musterbeispiele 5-Punkte-Test

Vor dem Test wurden dem Probanden die drei linken Muster als richtige Beispiele gezeigt. Das rechte Muster wurde als falsches Beispiel demonstriert (keine gerade Linie). Umgezeichnet nach Goebel et al. 2009

## 2.6 Probandenausschlüsse

Bei der Mattis Demenz Skala wurde der originale Cut-Off-Wert von 137 Punkten als Ausschlusskriterium definiert, ab dem mit Einschränkungen zu rechnen ist (Strauss et al. 2006). Bei dem Beck-Depressions-Inventar wurde ein Wert ab 18 Punkten als Ausschlusskriterium festgelegt, welcher laut Testhandbuch die Grenze zur klinischen Bedeutsamkeit markiert (Beck et al. 1994).

Da die verwendeten RNGT-Scores für die weiteren Analysen maßgeblich davon abhängen, ob alle Ziffern annähernd gleich häufig benutzt worden sind, wurden die Zufallsreihen zunächst auf Gleichverteilung der Ziffern mit dem Redundancy Score (Towse und Neil 1998) untersucht. Dieser reicht von 0% (perfekte Gleichverteilung aller Ziffern) bis 100% (es wurde nur eine Ziffer durchgehend genannt). Als Ausschlusskriterium wurde eine Abweichung von mindestens drei Standardabweichungen über dem Mittelwert definiert. Ebenso wurden alle weiteren Variablen auf Ausreißer untersucht. Für die Berechnung der RNGT-Scores P50 und Pmax muss sich eine Exponentialfunktion der Vorhersagewahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der bekannten Musterlänge ergeben. Daher konnten Probanden, die diese Voraussetzung nicht erfüllten, bei entsprechenden Analysen nicht berücksichtigt werden.

## 2.7 Statistische Analysen

Zur Darstellung der deskriptiven Statistik wurden von den verwendeten Variablen zunächst die Mittelwerte mit ihren Standardabweichungen berechnet. Die Verteilungen der Geschlechter, Testreihenfolgen und Schulabschlüsse in den beiden Gruppen der jungen und alten Probanden wurden mittels Pearson Chi-Quadrat-Test untersucht. Dabei erfolgte die Korrektur nach Yates falls erforderlich. Vor der Untersuchung auf Unterschiede der zentralen Tendenzen zwischen den beiden Altersgruppen der jungen und älteren Probanden wurden die abhängigen metrischen Variablen mit Hilfe eines Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung in beiden Gruppen untersucht. Bei vorliegender Normalverteilung wurden anschließend T-Tests für unabhängige Stichproben berechnet. Waren die Daten nicht in beiden Gruppen normalverteilt, wurde der nichtparametrische Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Um Effekte durch das Geschlecht und die Testreihenfolge auszuschließen, wurde auch mit diesen Gruppen (männlich/weiblich bzw. rechts/links) äquivalent verfahren. Für den Vergleich der verbalen mit den visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnistests bzw. dem verbalen mit dem manuellen RNGT wurde das gesamte Probandenkollektiv zusammen untersucht. Es wurden T-Tests für verbundene Stichproben berechnet, eine Normalverteilung der Unterschiede der verbundenen Messwerte wurde angenommen, da das Testverfahren bei entsprechender Stichprobengröße auch gegen

Verletzungen dieser Voraussetzung robust ist. Um die drei Testvarianten der Ziffernspannen bzw. visuell-räumlichen Spannen zu vergleichen wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA – Analysis of variance) durchgeführt. Dabei war die Testvariante der Innersubjektfaktor mit den drei Faktorstufen vorwärts, rückwärts und sortiert. Bei den visuell-räumlichen Spannen war die Voraussetzung der Sphärizität nicht gegeben, weshalb der Korrekturfaktor Epsilon nach Huynh-Feldt verwendet wurde. Um die Haupteffekte zu spezifizieren wurden paarweise Post-Hoc-Tests zwischen den einzelnen Testvarianten durchgeführt.

Zur Untersuchung der verschiedenen Arbeitsgedächtnis Tasks wurde mit den entsprechenden Variablen eine Hauptkomponentenanalyse (PCA – Principal component analysis) berechnet, um zu prüfen, ob sich verschiedene Faktoren entsprechend der Komponenten des Arbeitsgedächtnis identifizieren lassen. Dies erfolgte Hypothesen basiert mit der Vorgabe von 3 zu bildenden Faktoren entsprechend der drei Komponenten des Arbeitsgedächtnis (verbale bzw. visuell-räumliche Zwischenablage und zentrale Exekutive). Die Eignung der gewählten Variablen für eine PCA wurde anhand des Kaiser-Meyer-Olkin-Werts (KMO-Wert) und des Bartlett-Tests geprüft. Es erfolgte eine orthogonale Rotation nach Varimax. Die Zuordnung einer Variablen zu einem Faktor erfolgte ab einer Ladung von 0,45. Die Faktoren wurden für die weiteren Berechnungen als Variablen gespeichert. Für die Analyse der Zusammenhänge der RNGT-Scores mit den Faktoren aus der Hauptkomponentenanalyse wurde die Rangkorrelation nach Spearman verwendet, welche ein nichtparametrisches Verfahren zur Untersuchung eines ungerichteten linearen Zusammenhangs zweier Variablen ist. In dieser Studie wurde für alle Analysen ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  definiert. Zur Reduktion der  $\alpha$ -Fehlerwahrscheinlichkeit durch multiples Testen wurden die Signifikanzen bei Gruppenvergleichen und Korrelationen innerhalb einer Fragestellung nach Bonferroni korrigiert. Die hier aufgeführten Signifikanzniveaus sind bereits die angepassten. Für signifikante Unterschiede wurde außerdem eine Effektstärke berechnet: Beim unabhängigen T-Test entsprechend der Berechnung von Borenstein 2009 (Cooper et al. 2009); bei abhängigen T-Tests nach Dunlap et al. (Dunlap et al. 1996) und bei der ANOVA Cohen (f) aus der Wurzel des Quotienten aus dem partiellen Eta-quadrat ( $\eta_p^2$ ) und  $1 - \eta_p^2$ . Die Interpretation der Effektstärke erfolgte nach Ellis (Ellis 2010).

Die Statistik wurde mit dem Programm SPSS® 19 für Windows® berechnet. Für die Erstellung der Tabellen und Abbildungen wurden zusätzlich die Programme Word®, Excel® und PowerPoint® von Microsoft Office 365® verwendet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Probandenausschlüsse und Gruppeneigenschaften

Anhand der Ergebnisse der Mattis Demenz Skala und des Beck-Depressions-Inventars (siehe Tabelle 2) mussten keine Probanden ausgeschlossen werden.

Der Mittelwert des Redundancy Scores lag für die verbalen Zufallsreihen bei 1,1% (SD=0,83) und für die manuellen Zufallsreihen bei 1,04% (SD=0,69). Es mussten vier Probanden entsprechend des definierten Kriteriums von der Studie ausgeschlossen werden. Dies betraf zwei junge Probandinnen (Alter 23 und 24 Jahre) und einen jungen Probanden (24 Jahre) sowie eine Frau der älteren Probanden (62 Jahre).

Darüber hinaus fanden einzelne Testergebnisse aus verschiedenen Gründen keine Berücksichtigung. Dies betraf folgende Fälle:

- Für die Analysen der visuell-räumlichen Spannen wurden drei Probanden ausgeschlossen, weil sie während der Testdurchführung berichteten Probleme mit der Bedienung des Touchscreens zu haben, was zu falschen Ergebnissen führen kann. Dies betraf eine junge Probandin (23 Jahre) und zwei männliche ältere Probanden (61 und 69 Jahre).
- Für die Auswertung der visuell-räumlichen Spannen wurde ein junger Proband (29 Jahre) ausgeschlossen, der als Ausreißer in dem Durchlauf „sortiert“ mehr als drei Standardabweichungen über dem Mittelwert lag, was am ehesten mit einer deutlichen Begünstigung der Sequenzen durch den Zufallsgenerator erklärt werden könnte, der dann einfache Folgen präferiert haben könnte.
- Für die Auswertung des 5-Punkte-Tests wurde ein älterer Proband ausgeschlossen, dessen Produktivität innerhalb der vorgegebenen Zeit, durch ein falsches Aufgabenkonzept mit Missachtung der Zeitvorgabe eingeschränkt war.
- Probanden bei denen sich die oben beschriebene Exponentialfunktion nicht zeigte, wurden für die Analysen mit den Musterscores ausgeschlossen. Dies betraf verbal eine Frau (59 Jahre) und einen Mann (57 Jahre) unter den älteren Probanden, sowie manuell eine junge Probandin (23 Jahre) und zwei ältere Probanden (51 und 57 Jahre).

Insgesamt verblieben 66 Probanden in der Studie (mittleres Alter= 39,29 Jahre; SD= 17,47), davon waren 32 Männer und 34 Frauen. Tabelle 2 zeigt die Gruppeneigenschaften der jungen und älteren Probanden.

Tabelle 2: Gruppeneigenschaften

	<b>junge Probanden</b>	<b>ältere Probanden</b>
<b>N</b>	37	29
<b>Alter</b> Altersspanne	24,41 Jahre (2,2)* 20-29 Jahre	58,28 Jahre (6,0)* 49-69 Jahre
<b>Geschlecht</b> männlich / weiblich	19 (51,5%) / 18 (48,7%)	13 (44,8%) / 16 (55,2%)
<b>Schulabschluss</b> I / II / III	0 / 0 / 37 (100%)	1 (3,5%) / 10 (34,5%) / 18 (62,1%)
<b>Testabfolge</b> rechts / links	20 (54,1%) / 17 (46,0%)	18 (62,1%) / 11 (37,9%)
<b>Redundancy</b> verbal / manuell	0,98% (0,7) / 0,9% (0,6)	1,07% (0,7) / 1,04% (0,6)
<b>BDI</b>	3,11 Punkte (2,9) Spanne 0-11	3,07 Punkte (2,8) Spanne 0-9
<b>MDS</b>	-	142,83 Punkte (1,0) Spanne 141-144
* Mittelwerte mit Standardabweichungen in Klammern I: Hauptschule, II: Realschule III: Abitur, BDI: Beck-Depressions-Inventar, MDS: Mattis Demenz Skala		

Die 37 jungen Probanden haben ein durchschnittliches Alter von 24,41 Jahren ( $SD=2,217$ ). Die 29 älteren Probanden sind im Durchschnitt 58,28 Jahre alt ( $SD=5,981$ ). Das mittlere Alter der Gruppen unterscheidet sich signifikant ( $t(34,046)=-28,974$ ;  $p<0,001$ ). Die Geschlechterverteilung in den beiden Gruppen unterscheidet sich nicht signifikant (Chi-Quadrat(1)=0,004;  $p=0,952$ ). Zwischen der Verteilung der Testreihenfolgen besteht ebenfalls kein signifikanter Gruppenunterschied (Chi-Quadrat(1)=0,162;  $p=0,687$ ). Die Verteilung der Schulabschlüsse unterscheidet sich signifikant zwischen den jungen und älteren Probanden (Chi-Quadrat(2)=16,841;  $p<0,001$ ). Das Zusammenhangsmaß ist dabei stark (Cramer-V=0,505;  $p<0,001$ ).

## 3.2 Random Number Generation Task

### 3.2.1 Deskriptive Statistik und Ziffernintervalle

Im gesamten Probandenkollektiv liegt der Mittelwert der durchschnittlichen Ziffernintervalle verbal bei 1,03 Sekunden ( $SD=0,06$ ; Minimum=0,98 Sekunden; Maximum=1,24 Sekunden) und manuell bei 1,01 Sekunden ( $SD=0,02$ ; Minimum=0,93 Sekunden; Maximum=1,1

Sekunden). Zwischen den Studenten und älteren Probanden besteht verbal ( $U=508,500$ ;  $p=0,71$ ) und manuell ( $U=450,500$ ;  $p=0,26$ ) kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Fähigkeit die vorgegebene Geschwindigkeit einzuhalten.

Tabelle 3 zeigt die deskriptive Statistik des RNGT für das gesamte Probandenkollektiv.

Tabelle 3: Random Number Generation Task deskriptive Statistik

Score	Variante	N	M	SD
<b>Adjacency</b>	verbal	66	27,06	6,78
	manuell	66	24,53	6,54
<b>Coupon</b>	verbal	66	18,67	3,95
	manuell	66	15,71	2,86
<b>Phi-2</b>	verbal	66	-2,9	1,79
	manuell	66	-3,09	1,80
<b>P50</b>	verbal	64	1,69	1,54
	manuell	63	1,89	1,81
<b>Pmax</b>	verbal	64	2,62	0,36
	manuell	63	2,39	0,46

M: Mittelwert, N: berücksichtigte Gruppengröße, SD: Standardabweichung

### 3.2.2 Altersunterschiede beim RNGT

Es zeigen sich weder beim verbalen noch beim manuellen RNGT signifikante Unterschiede zwischen den jungen und den älteren Probanden. In der Tabelle 4 sind die deskriptive Statistik getrennt nach den Altersgruppen sowie die zugehörigen Teststatistiken zu Gruppenunterschieden aufgeführt. Ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bestehen hinsichtlich der Testreihenfolgen und der Geschlechter.

Tabelle 4: Mann-Whitney-U-Test RNGT zwischen den Altersgruppen mit deskriptiver Statistik

Score	Gruppe	N	M	SD	U	P
<b>Adjacency verbal</b>	jung	37	25,61	5,3	420,000	1
	älter	29	28,91	8,01		
<b>Coupon verbal</b>	jung	37	18,71	3,96	522,500	1
	älter	29	18,63	4,01		
<b>Phi-2 verbal</b>	jung	37	-3,18	1,28	510,000	1
	älter	29	-2,53	2,26		

<b>P50 verbal</b>	jung	37	1,86	1,96	461,000	1
	älter	27	1,47	0,59		
<b>Pmax verbal</b>	jung	37	2,66	0,33	384,000	1
	älter	27	2,56	0,39		
<b>Adjacency manuell</b>	jung	37	23,23	4,68	400,000	0,78
	älter	29	26,18	8,13		
<b>Coupon manuell</b>	jung	37	15,46	2,60	469,000	1
	älter	29	16,02	3,17		
<b>Phi-2 manuell</b>	jung	37	-3,45	1,26	482,000	1
	älter	29	-2,62	2,26		
<b>P50 manuell</b>	jung	36	1,81	0,53	391,000	1
	älter	27	1,98	2,72		
<b>Pmax manuell</b>	jung	36	2,35	0,42	437,000	1
	älter	27	2,43	0,58		
M: Mittelwert, N: berücksichtigte Gruppengröße, SD: Standardabweichung, U: Teststatistik des Mann-Whitney-U-Tests, P: zugehörige Bonferroni-korrigierte Signifikanz						

### 3.2.3 Vergleich der verbalen mit der manuellen Testvariante

Rangkorrelationen nach Spearman der Scores bei der verbalen und manuellen Testvariante ergeben folgende Ergebnisse. Der Phi-2-Score ( $r_s=0,62$ ;  $p<0,001$ ) und der Pmax-Score ( $r_s=0,51$ ;  $p<0,001$ ) korrelieren stark und signifikant zwischen den Testvarianten. Bei dem Coupon-Score ( $r_s=0,36$ ;  $p=0,015$ ) und dem P50-Score ( $r_s=0,4$ ;  $p=0,005$ ) besteht eine moderate signifikante Korrelation. Eine schwache und nicht signifikante Korrelation zeigt sich zwischen der verbalen und manuellen Testvariante bei dem Adjacency-Score.

T-Tests für verbundene Stichproben zeigen zum Teil signifikante Unterschiede der Mittelwerte zwischen den Testvarianten. Der Coupon-Score ist signifikant verbal ( $M=18,67$ ;  $SD=3,95$ ) höher als manuell ( $M=15,71$ ;  $SD=2,86$ ), die Effektstärke ist dabei groß ( $t=6,13$ ;  $p<0,001$ ;  $d=0,85$ ;  $n=66$ ). Ebenfalls signifikant höher liegt der Mittelwert von Pmax verbal ( $M=2,62$ ;  $SD=0,36$ ) als manuell ( $M=2,39$ ;  $SD=0,49$ ), hier ist die Effektstärke moderat ( $t=4,35$ ;  $p<0,001$ ;  $d=0,51$ ;  $n=62$ ). Auch der Mittelwert des Adjacency-Scores ist verbal ( $M=27,96$ ;  $SD=6,78$ ) signifikant höher als manuell ( $M=24,53$ ;  $SD=6,54$ ), die Effektstärke ist gering ( $t=2,93$ ;  $p=0,025$ ;  $d=0,38$ ;  $n=66$ ). Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Testvarianten bestehen bei dem P50-Score ( $t=0,663$ ;  $p=1$ ;  $n=62$ ) und dem Phi-2-Score ( $t=1,31$ ;  $p=0,98$ ;  $n=66$ ).

### 3.3 Arbeitsgedächtnis Tasks

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Arbeitsgedächtnis Tasks berichtet. Die Tasks dienen im nächsten Schritt zur Untersuchung der Arbeitsgedächtnisprozesse beim RNGT.

#### 3.3.1 Ziffernspannen und visuell-räumliche Spannen

Abbildung 6 zeigt die deskriptive Statistik aus Mittelwerten und Standardabweichungen der Ziffernspannen und visuell-räumlichen Spannen des gesamten Probandenkollektivs.

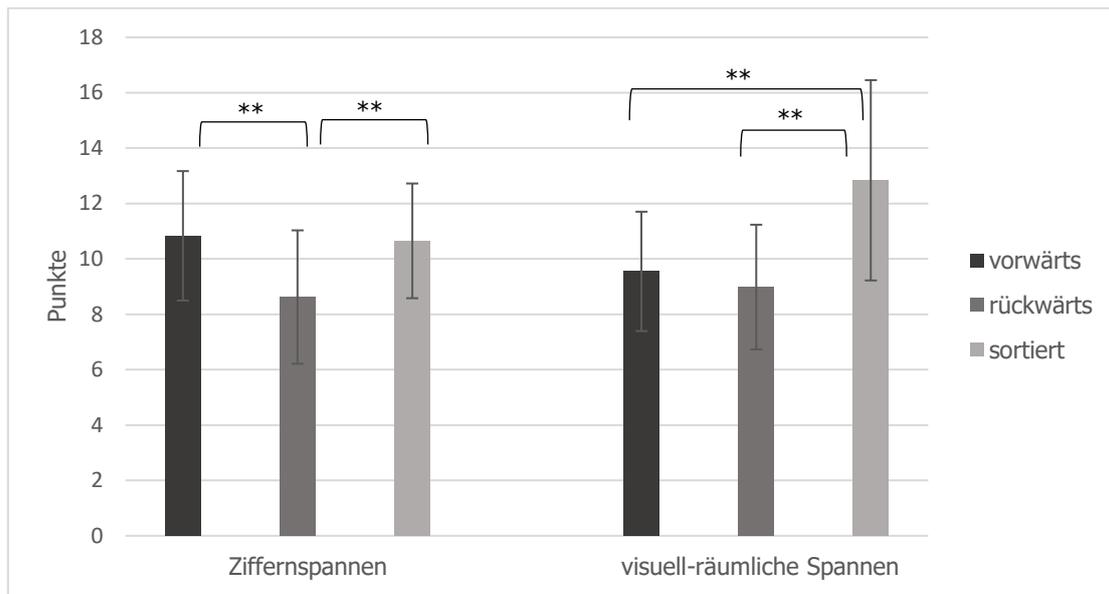


Abbildung 6: Mittelwerte der Ziffernspannen und visuell-räumlichen Spannen

Fehlerbalken: Standardabweichungen  
 \*\* signifikante Unterschiede auf einem Niveau  $p < 0,01$

Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung (Sphärizität angenommen: Mauchly-W(2)=0,972;  $p=0,405$ ) für die Ziffernspannen zeigt, dass es Unterschiede zwischen den verschiedenen Testbedingungen gibt ( $F(2, 130)=37,659$ ;  $p=0,000$ ; partielles Eta-Quadrat=0,367;  $n=66$ ). Die Effektstärke  $f$  nach Cohen beträgt 0,76 und entspricht einem starken Effekt.

Bonferroni-korrigierte paarweise Vergleiche zeigen, dass die Ziffernspanne rückwärts (Mittelwert (M)=8,62; SD=2,41) signifikant kleiner ist als vorwärts (M=10,83; SD=2,338) und sortiert (M=10,65; SD=2,072). Zwischen vorwärts und sortiert gibt es keinen signifikanten Unterschied.

Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung (Sphärizität nicht angenommen: Mauchly-W(2)=0,800;  $p=0,001$ , Korrekturfaktor Epsilon nach Huynh-Feldt 0,854) für die visuell-räumlichen Spannen zeigt, dass es Unterschiede zwischen den verschiedenen Testbedingungen gibt ( $F(1,708, 104,177)=69,470$ ;  $p=0,000$ ; partielles Eta-Quadrat =0,532;  $n=62$ ). Die Effektstärke  $f$  nach Cohen beträgt 1,07 und entspricht einem starken Effekt.

Bonferroni-korrigierte paarweise Vergleiche zeigen, dass die visuell-räumliche Spanne sortiert ( $M=12,84$ ;  $SD=3,618$ ) signifikant größer ist als vorwärts ( $M=9,55$ ;  $SD=2,155$ ) und rückwärts ( $M=8,98$ ;  $SD=2,251$ ). Zwischen vorwärts und rückwärts gibt es keinen signifikanten Unterschied.

Abbildung 7 zeigt die Gruppenvergleiche der Ziffernspannen und visuell-räumlichen Spannen nach dem Alter.

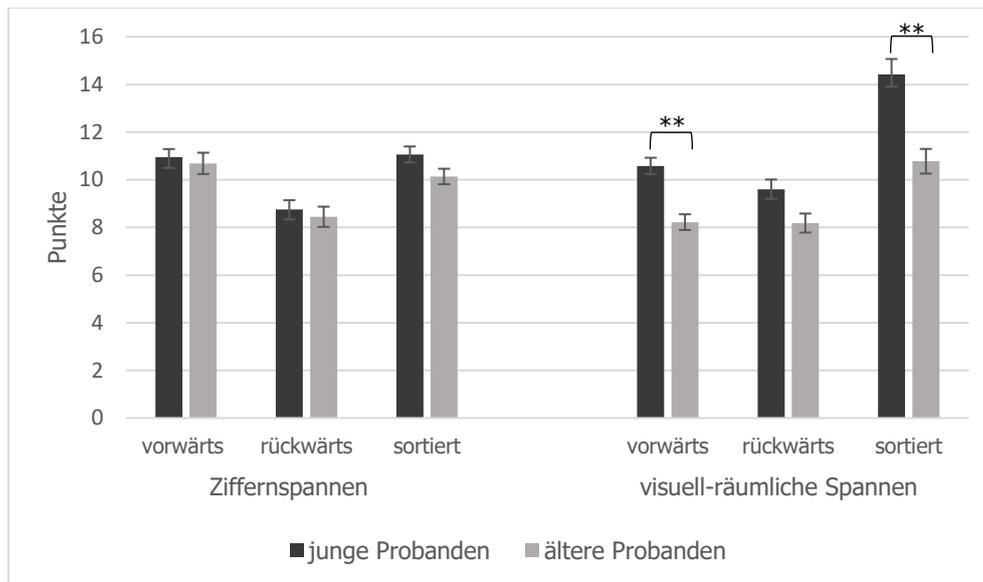


Abbildung 7: Spannentests Gruppenvergleiche nach Alter

Fehlerbalken: Standardfehler des Mittelwertes  
 \*\* signifikante Unterschiede auf einem Niveau  $p < 0,01$

Die Ziffernspannen unterscheiden sich weder vorwärts ( $t(64)=0,439$ ;  $p=1$ ), rückwärts ( $t(64)=0,513$ ;  $p=1$ ) noch sortiert ( $t(64)=1,814$ ;  $p=0,592$ ) zwischen den jungen und älteren Probanden signifikant. Bei den visuell-räumlichen Spannen schneiden die jungen Probanden vorwärts ( $t(60)=5,033$ ;  $p<0,001$ ) und sortiert ( $t(60)=4,525$ ;  $p<0,001$ ) signifikant besser ab. Die Effektstärke  $d$  nach Cohen ist dabei für die Testbedingungen vorwärts (1,289) sowie sortiert (1,159) groß. Auch bei der Testbedingung rückwärts sind die jungen Probanden besser als die älteren Probanden, allerdings ist der Unterschied nach Bonferroni-Korrektur nicht mehr signifikant ( $t(60)=2,564$ ;  $p=0,1$ ).

Keine signifikanten Unterschiede zeigen sich bei den Ziffernspannen und visuell-räumlichen Spannen in Bezug auf die Testreihenfolge und das Geschlecht.

### 3.3.2 5-Punkte-Test

Im gesamten Probandenkollektiv liegt der Mittelwert des Produktivität-Scores bei 42,42 ( $SD=10,115$ ;  $n=65$ ). Die jungen Probanden ( $M=44,89$ ;  $SD=9,237$ ;  $n=37$ ) sind besser als die

älteren Probanden ( $M=39,14$ ;  $SD=10,452$ ;  $n=28$ ), der Unterschied ist nicht signifikant ( $t(63)=2,348$ ;  $p=0,18$ ). Der Mittelwert des Strategie-Scores liegt bezogen auf das gesamte Probandenkollektiv bei  $45,06$  ( $SD=21,602$ ;  $n=65$ ). Auch hier liegt der Mittelwert der jungen Probanden ( $M=50,34$ ;  $SD=19,670$ ;  $n=37$ ) nicht signifikant höher als der der älteren Probanden ( $M=38,090$ ;  $SD=22,397$ ;  $n=28$ ), ( $t(63)=2,324$ ;  $p=0,18$ ). Bei beiden Scores zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Testreihenfolgen und den Geschlechtern.

### 3.4 Zusammenhang Arbeitsgedächtnis und Random Number Generation Task

Die Prüfung der Variablen mittels Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium ( $KMO=0,76$ ) und Bartlett-Test ( $\text{Chi-Quadrat}(28)=169,210$ ;  $p<0,001$ ) zeigt eine gute Eignung für eine Hauptkomponentenanalyse. Die drei gebildeten Faktoren erklären  $71,67\%$  der Gesamtvarianz. Tabelle 5 zeigt die nach Varimax rotierte Faktorenmatrix mit Berücksichtigung einer Variablen ab einer Ladung von  $0,45$ . Im Anhang 8.7 befindet sich die vollständige rotierte Komponentenmatrix.

Tabelle 5: Rotierte Faktorenmatrix der Hauptkomponentenanalyse

<b>Faktor 1</b>	<b>Faktor 2</b>	<b>Faktor 3</b>
5PT Strategie	v-r Spanne sortiert	Ziffernspanne vorwärts
5PT Produktivität	Ziffernspanne sortiert	Ziffernspanne rückwärts
v-r Spanne vorwärts	v-r Spanne rückwärts	
v-r Spanne rückwärts		
Die Variablen sind nach Ladung je Faktor absteigend aufgeführt. Berücksichtigt sind Variablen mit einer Ladung ab $0,45$ nach Varimaxrotation. 5PT: 5-Punkte-Test, v-r: visuell-räumlich		

Die Faktoren wurden als Variablen gespeichert und in einem zweiten Schritt mit den RNTG-Scores der verbalen und manuellen Testvariante korreliert. Tabelle 6 zeigt die Koeffizienten der Rangkorrelationen nach Spearman. Daraus geht hervor, dass eine signifikante mittelstarke Korrelation zwischen Faktor 3 und P50 in der verbalen Testvariante besteht ( $r_s=0,47$ ;  $p=0,006$ ). Ebenfalls mittelstark korrelieren verbal Pmax mit Faktor 2 ( $r_s=0,34$ ;  $p=0,27$ ) sowie Adjacency mit Faktor 3 ( $r_s=0,3$ ;  $p=0,54$ ), beide Korrelationen sind aber nicht signifikant.

Bei der manuellen Testvariante besteht jeweils eine mittelstarke Korrelation von Phi-2 ( $r_s=0,31$ ;  $p=0,48$ ) und P50 ( $r_s=0,31$ ;  $p=0,54$ ) mit dem Faktor 2. Auch diese Korrelationen sind nicht signifikant.

Tabelle 6: Korrelationsmatrix PCA-Faktoren mit RNGT

	<b>Faktor 1</b>	<b>Faktor 2</b>	<b>Faktor 3</b>
<b>Adjacency</b>	0,11	0,01	0,3
<b>Coupon</b>	0,01	0,01	0,03
<b>Phi-2</b>	0,07	0,2	0,18
<b>P50</b>	0,02	0,13	<b>0,47*</b>
<b>Pmax</b>	0,12	0,34	0,05
<b>Adjacency</b>	0,22	0,12	0,18
<b>Coupon</b>	0,08	0,08	0,07
<b>Phi-2</b>	0,17	0,31	0,13
<b>P50</b>	0,17	0,31	0,22
<b>Pmax</b>	0,14	0,21	0,21

Spearman Rangkorrelationskoeffizienten, oben: verbal, unten: manuell  
\*Signifikanzniveau  $p < 0,01$  ; PCA: Principal Component Analysis

## 4 Diskussion

Folgende Aussagen lassen sich aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie ableiten:

- Alterseffekte zeigen sich in beiden Testvarianten weder hinsichtlich der Scores der Musteranalyse noch hinsichtlich der etablierten Scores.
- Die verbale und manuelle RNGT-Variante zeigen entscheidende Unterschiede. Erkenntnisse einer Testvariante können daher nicht bedenkenlos auf die andere übertragen werden.
- Die Hypothese, dass die Musteranalyse mit dem P50-Score ein Maß für die Kapazität der Zwischenablagen des Arbeitsgedächtnis liefert, wird in der verbalen Testvariante bestätigt. Hier ist der P50 Score sogar dem etablierten Cycling-Score überlegen.
- Der Zusammenhang des Pmax-Scores der Musteranalyse mit der zentralen Exekutiven kann anhand des gesunden Probandenkollektivs nicht bestätigt werden.

### 4.1 RNGT und Alterseffekte

Es zeigen sich weder in der verbalen noch in der manuellen Testvariante signifikante Unterschiede zwischen den Altersgruppen. Dies bestätigt hinsichtlich der etablierten Scores frühere Studien, die ebenfalls keine Unterschiede in einer ähnlichen Altersspanne feststellen konnten (Maes et al. 2011; Peters et al. 2007). Vorherige Studien zeigten nur unter Berücksichtigung noch älterer Probanden bis 85 Jahre Alterseffekte durch mehr stereotype Antworten (Albinet et al. 2012; Newson et al. 2003). In anderen Untersuchungen produzierten

ältere Probanden mehr stereotype Antworten in Varianten des Tests mit komplexeren Anforderungen wie Buchstaben (van der Linden et al. 1998) oder verschiedenen Nomen (Heuer et al. 2010) als Antwortalternativen. In der hier angewendeten klassischen Variante des Tests mit Zahlen verhalten sich die Scores der Musteranalyse hinsichtlich Beeinflussung durch das Alter also wie die anderen Scoretypen. In dieser Form erscheint der Test also zu einfach, um in der betrachteten Altersspanne unterschiede aufzudecken.

#### **4.2 Vergleich der verbalen mit der manuellen RNGT-Variante**

Die Scores zeigen bis auf den Adjacency-Score zwischen den Testvarianten jeweils signifikante und mindestens mittelstarke Korrelationen. Dies spricht dafür, dass sich das Verhalten grundsätzlich ähnelt. Besonders stark ist der Zusammenhang beim Phi-2-Score. Dieser unterscheidet sich auch vom Mittelwert zwischen den beiden Testvarianten nicht signifikant. Das heißt, das Vermeiden von unmittelbaren Wiederholungen scheint im Wesentlichen unabhängig von der Testbedingung. Dies unterstützt die Theorie eines automatisierten Prozesses (Oomens et al. 2015), oder spricht dafür, dass unmittelbare Wiederholungen generell gegen das Konzept von Zufälligkeit des Menschen verstoßen. Der Coupon-Score liegt verbal signifikant höher als manuell, was bedeutet, dass es durchschnittlich länger dauert, bis alle Antwortalternativen mindestens einmal genannt wurden. Dies spricht für die oben erwähnte Überlegung, dass die Anforderung verbal höher ist, da die Antwortalternativen nicht visuell präsentiert sind, sondern im Arbeitsgedächtnis bereitgehalten werden müssen. Eine besondere Beachtung gilt im Vergleich der Testvarianten den Seriation-Scores. Diese beruhen auf einer natürlichen Ordnung der Antwortalternativen, wodurch starke Assoziationen zwischen benachbarten Zahlen existieren. Diese natürliche Ordnung gibt es in der manuellen Variante nicht. Dadurch ist die fehlende Korrelation des Adjacency-Scores zwischen den Testvarianten und der signifikant höhere Score verbal im Vergleich zum manuellen zu erklären. Das ist ein bedeutender Unterschied, da wie bereits erläutert, nahezu immer nur die Seriation-Scores gesunde Probanden von Patienten mit verschiedenen neurologischen oder psychiatrischen Pathologien unterscheiden können. In einer Studie (Maes et al. 2011) konnte mit dem Adjacency-Score im direkten Vergleich einer verbalen mit einer manuellen RNGT-Variante nur mit ersterer ein signifikanter Unterschied zwischen gesunden Probanden und Patienten mit strukturell zerebraler Schädigung nach Schlaganfall oder Trauma ausgemacht werden. Um einen manuellen Test als klinisches Tool etablieren zu können, braucht es also andere valide Scores, die unabhängig von einer natürlichen Ordnung der Antwortalternativen sind. Die Scores der Musteranalyse sind dafür ein vielversprechender Ansatz.

Der Pmax-Score liegt verbal signifikant höher als manuell, was bedeutet, dass die Antworten verbal mit der Musteranalyse schlechter vorhersagbar sind. Dies ist überraschend, da wie bereits erwähnt die Anforderungen verbal höher erscheinen. Möglicherweise wird das Verhalten bei der manuellen Variante durch dominante visuelle Gewohnheiten wie Linien, Diagonalen oder Kreuze beeinflusst. Eine weitere Erklärung wäre, dass eine gewisse motorische Bequemlichkeit zu der Vorhersagbarkeit beiträgt, wodurch bevorzugt benachbarte Felder ausgewählt werden. Dafür spricht, dass der Adjacency-Score zwar niedriger liegt als verbal, aber dennoch höher als dies bei computergenerierten Zufallsreihen zu erwarten wäre. In der Berechnung hier wird er umso höher, je mehr horizontal benachbarte Felder gedrückt werden. Das bedeutet, vertikale Nachbarschaft wurde nicht berücksichtigt. Ein Setting wie in einer anderen Studie (Cooper et al. 2012), bei dem die Antwortalternativen im Kreis angeordnet sind und der Zeiger der Computermaus nach jeder Wahl automatisch in die Mitte zurück geht, könnte dazu näheren Aufschluss ergeben.

### **4.3 Das Arbeitsgedächtnis**

Die Ziffernspanne vorwärts ist signifikant besser als rückwärts, während sich die beiden Testbedingungen in der visuell-räumlichen Variante nicht unterscheiden. Dieses Verhältnis zeigte sich bereits in vielen Studien (Kessels et al. 2008; Wilde et al. 2004) und kann dadurch erklärt werden, dass im Alltag das Merken einer Ziffernreihenfolge im Gegensatz zur umgekehrten Reihenfolge häufig trainiert wird. Ein entsprechendes Training der visuell-räumlichen Komponente kommt in der Regel wesentlich weniger vor. Die Ziffernspanne sortiert unterscheidet sich nicht signifikant von vorwärts und ist wie diese besser als rückwärts. Dies bestätigt ebenfalls vorherige Erkenntnisse bei gesunden Probanden (Werheid 2002). Vergleichbare Daten zur visuell-räumlichen Spanne sortiert liegen nicht vor.

Die Ziffernspannen unterscheiden sich nicht zwischen den Altersgruppen. Dies bestätigt andere Studien, die gezeigt haben, dass sich Alterseffekte bei den Ziffernspannen vorwärts und rückwärts erst ab dem 60. - 65. Lebensjahr zeigen (Choi et al. 2014; Sebastian und Mediavilla 2015). Die Ziffernspanne sortiert zeigte zuvor ebenfalls keine Korrelation mit dem Alter (Werheid 2002). Im Gegensatz dazu ergeben sich bei den visuell-räumlichen Tests Altersunterschiede beim vorliegenden Probandenkollektiv. Dies steht teilweise im Einklang mit Literatur, die einen stärkeren Einfluss des Alters auf visuell-räumliche Spannen als auf Ziffernspannen festgestellt hat (Myerson et al. 2010; Wilde et al. 2004; Jenkins et al. 2000). Andere Studien hingegen haben einen ähnlichen Alterseinfluss auf die beiden Testbedingungen identifiziert (Kumar und Priyadarshi 2013; Hester et al. 2004).

Die Mittelwerte der verwendeten Scores für den 5-Punkte-Test liegen für die Altersgruppen in einem ähnlichen Bereich wie in einer großen psychometrischen Analyse für diesen Test (Goebel et al. 2009). So wie dort ergeben sich hier in der berücksichtigten Altersspanne keine signifikanten Unterschiede bezogen auf den Strategie-Score. Goebel et al. (2009) fanden allerdings einen signifikanten Effekt des Alters in dieser Spanne für den Produktivitäts-Score. Eine weitere Studie (Tucha et al. 2012) zeigte auch eine starke Korrelation des Alters mit der Produktivität unter Berücksichtigung noch älterer Probanden bis 88 Jahre. Die Tendenz ergibt sich hier ebenfalls aus den Mittelwerten, statistische Signifikanz wird aber nicht erreicht. Das Ziel der Durchführung der genannten Tests in der vorliegenden Arbeit war, die drei wesentlichen Komponenten des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley abzubilden, um anschließend eine Aussage zu den Anforderungen beim RNGT treffen zu können. Abbildung 8 zeigt die Zuordnung der durchgeführten Hauptkomponentenanalyse zu dem Arbeitsgedächtnismodell.

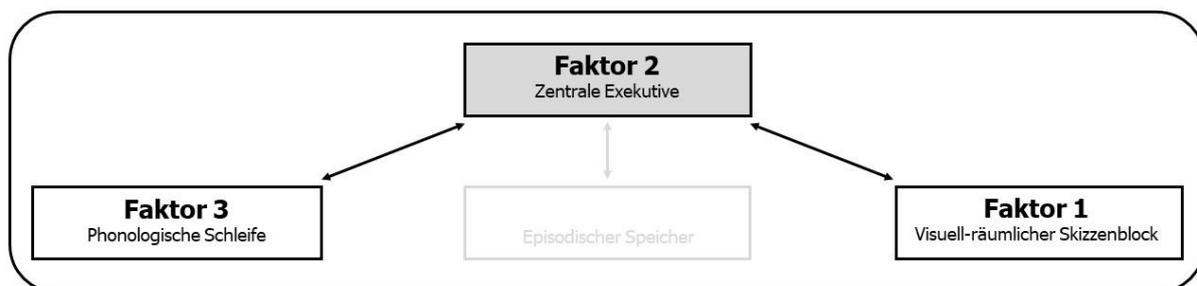


Abbildung 8: Zuordnung der Hauptkomponentenanalyse zu dem Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley

Der Faktor 2 entspricht der zentralen Exekutive, während die Faktoren 1 und 3 die Zwischenablagen repräsentieren. Der episodische Speicher dient in dem Modell der weiteren Verarbeitung von Informationen z.B. durch den Abgleich mit Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis und spielt daher bei der Betrachtung von Arbeitsgedächtnisprozessen beim RNGT keine Rolle.

Der Faktor 3 mit den Ziffernspannen vorwärts und rückwärts entspricht dabei der phonologischen Schleife also der passiven Zwischenablage für verbale Informationen. Die Ziffernspanne vorwärts gilt einheitlich als reiner passiver Kapazitätstest der phonologischen Schleife, da die Informationen nur in ihrer ursprünglichen Form gespeichert und wiedergegeben werden müssen (Petermann 2014; Lezak et al. 2004).

Die Anforderungen bei der Ziffernspanne rückwärts werden unterschiedlich gesehen. Teilweise wird sie als Test, der auch die zentrale Exekutive fordere, beschrieben, da das Drehen der Reihenfolge eine aktive Manipulation der Informationen sei (Kessels et al. 2008; Choi et al. 2014). Andere Autoren bezweifeln die Anforderung an die zentrale Exekutive und sehen sie als anspruchsvollere Testung der reinen Ablagekapazität (Wilde et al. 2004; Werheid 2002). Dies wird daraus abgeleitet, dass Patienten mit verschiedenen Neuropathologien für eine exekutive Anforderung zu gut abschnitten und auch die Leistungsabnahme mit dem Alter bei

Gesunden zu gering ausfallen. Die Ergebnisse dieser Studie unterstützen diese Interpretation, da der Test mit den Ziffernspannen vorwärts separat in einen Faktor lädt. Der Faktor 2 wird der zentralen Exekutiven zugeordnet. Die Ziffernspanne sortiert ist ein Test, der mit dem Ordnen der Ziffern eine aktive Operation erfordert (Petermann 2014; Werheid 2002). Die visuell-räumliche Spanne sortiert wurde hier als Pendant hinzugefügt. Da die beiden Tests zusammen in einen Faktor laden, wird die Annahme unterstützt, dass auch die visuell-räumliche Variante zentrale exekutive Prozesse erfordert. Der Faktor 2 wird zusätzlich aus der visuell-räumlichen Spanne rückwärts gebildet. Die Zuordnung von erforderlichen Arbeitsgedächtnisprozessen zu den visuell-räumlichen Kapazitätstests fällt in der Literatur ebenfalls unterschiedlich aus. Zu dem Ergebnis dieser Studie passt, dass die rückwärts Variante bereits als auch die zentrale Exekutive fordernd beschrieben wurde (Vandierendonck et al. 2004) und die Erkenntnis, dass eine scharfe Trennung der passiven Ablage von der zentralen Exekutiven nur auf der verbalen Seite möglich sei, während die Systeme auf der visuell-räumlichen Seite stärker zusammenhängen (Morey et al. 2013; Miyake et al. 2001). Dies spiegelt sich hier dadurch wider, dass die visuell-räumliche Spanne rückwärts zusätzlich auch in den Faktor 1 lädt, der hier dem visuell-räumlichen Skizzenblock zugeschrieben wird. Sowohl die visuell-räumliche Spanne rückwärts als auch die visuell-räumliche Spanne vorwärts wurden als Tests, welche die visuell-räumliche Ablage fordern mehrfach beschrieben (Kessels et al. 2008; Wilde et al. 2004). Zusätzlich enthält der Faktor 1 die Scores des 5-Punkte-Tests. Bei diesem Test ist es erforderlich, die bereits gezeichneten Muster in der Zwischenablage zu halten. Der Produktivitäts-Score wurde bereits mit visuell-räumlichen Spannentests in moderater Korrelation beschrieben (Tucha et al. 2012), der Strategie-Score wiederum in positiver Korrelation mit dem Produktivitäts-Score (Goebel et al. 2009).

#### **4.4 Arbeitsgedächtnisanforderungen beim RNGT**

Das Hauptziel dieser Studie war, die Hypothese zu testen, ob sich mit den Scores der Musteranalyse beim RNGT Arbeitsgedächtnisanforderungen aufdecken lassen. Beim verbalen RNGT wird die Annahme, dass P50 ein Maß für die Kapazität der passiven Zwischenablage ist, durch eine signifikante Korrelation mit dem Faktor für die phonologische Schleife bestätigt. Die anderen verwendeten Scores zeigen mit diesem Faktor keinen Zusammenhang. Dies ist hinsichtlich des Coupon-Scores als Vertreter der Cycling-Scores bemerkenswert, da diese gemeinhin als aussagekräftig bezüglich des Monitorings gelten. Es gab aber bereits in der Vergangenheit Ergebnisse, die diese Sicht bezogen auf einen anderen Vertreter dieser Gruppe (den bereits erwähnten Redundancy-Score) bezweifelten (Albinet et al. 2012; Fisk und Sharp 2004). Die Ergebnisse hier unterstützen diese Zweifel und der Musterscore P50 zeigt sich

überlegen. Die zweite Hypothese, dass der Musterscore Pmax die zentrale Exekutive abbildet, bestätigt sich bei der verbalen Testvariante nicht. Eine mögliche Erklärung ist eine zu geringe Streuung der Performance im untersuchten gesunden Probandenkollektiv. Dafür spricht, dass der Adjacency-Score als Vertreter der Seriation-Scores, die mit der zentralen Exekutiven in Verbindung gebracht werden, auch nicht mit dem entsprechenden Faktor korreliert. Die Seriation-Scores zeigten häufig signifikante Unterschiede im Vergleich gesunder Probanden mit Patienten verschiedener Erkrankungen, die exekutive Funktionen beeinträchtigen, während die Performance bei den gesunden Probanden erst durch Bedingungen, welche die zentrale Exekutive zusätzlich fordern (höhere Geschwindigkeit, Dual-Task-Methode), abnahm (Cooper et al. 2012; Salame und Danion 2007; Brown et al. 1998). Ein zweiter Grund für den fehlenden Zusammenhang könnte sein, dass die Testverfahren für die zentrale Exekutive zu unspezifisch gewählt sind. In der näheren Betrachtung einzelner exekutiver Funktionen zeigte sich bisher besonders die Inhibition als entscheidend beim RNGT (Marsh et al. 2013; Miyake et al. 2000).

Beim manuellen RNGT korreliert Pmax ebenfalls nicht mit dem Faktor für die zentrale Exekutive, hier können die gleichen Überlegungen herangezogen werden. Im Gegensatz zur verbalen Testvariante kann aber auch die erste Hypothese, dass P50 mit der Kapazität der passiven Zwischenablage in Zusammenhang steht, nicht bestätigt werden, da der Score nicht mit dem Faktor für den visuell-räumlichen Skizzenblock korreliert. Dies kann als Hinweis dafür gesehen werden, dass sich die Arbeitsgedächtnisanforderungen bezogen auf das Monitoring der eigenen Antworten zwischen den beiden Testvarianten wesentlich unterscheiden. Bereits in der Vergangenheit wurde gezeigt, dass bei der verbalen Testvariante nicht nur die zuletzt gegebenen Antworten in der Zwischenablage gehalten werden müssen, sondern auch eine Repräsentation aller möglichen Antwortalternativen, während diese bei der manuellen Variante visuell präsentiert sind und nur eine Wahl daraus getroffen werden muss (Towse 1998). Damit ist die Anforderung an die Zwischenablage verbal höher als manuell, wodurch möglicherweise die Performance manuell unter den gesunden Probanden zu wenig differenzierte, um sich im P50-Score auszudrücken. Der Coupon-Score kann hier ebenfalls nicht mit dem visuell-räumlichen Skizzenblock in Zusammenhang gebracht werden.

Die verbale und manuelle Testvariante scheinen also grundsätzlich verschieden, so dass ein Erkenntnistransfer von einem System ins andere nicht ohne Bedenken erfolgen kann.

#### **4.5 Limitationen der Studie**

Die Spannentests zur Erfassung des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis sind im Vergleich zu den Ziffernspannen nicht standardisiert und wurden daher durch einen Zufallsgenerator bei

jedem Probanden neu erzeugt. Dadurch ist eine Verfälschung durch verschieden anspruchsvolle Abfolgen möglich, sollte sich aber über die Gesamtzahl der Probanden für die Gesamtaussage ausgleichen. Die Testvariante „sortiert“ ist dabei visuell-räumlich nicht vorbeschrieben. Hier wird angenommen, dass sie wie das gut untersuchte verbale Pendant eine Anforderung an die zentrale Exekutive stellt. Bestätigt wird dies durch die Faktorenanalyse. Zweifel kommen dadurch auf, dass die Probanden im Verhältnis zu den anderen Tests sehr gut abschnitten, was eine geringere Anforderung nahelegt. Generell wurde in dieser Studie für die erste Untersuchung der Musteranalyse bewusst ein sehr basales Modell der beteiligten Arbeitsgedächtnisfunktionen zugrunde gelegt, um erste Tendenzen herauszuarbeiten. Wie bereits erwähnt, lässt sich aber gerade die zentrale Exekutive in mehrere spezifische Unterfunktionen aufteilen. Durch den Verzicht diese näher zu unterscheiden, gehen möglicherweise auch detailliertere Erkenntnisse verloren.

Im Hinblick auf die untersuchten Alterseffekte sei auf die vernachlässigte Betrachtung des Bildungslevels verwiesen. Die Gruppe der jungen Probanden besteht ausschließlich aus Studenten, während das Bildungslevel in der Gruppe der älteren Probanden heterogener ausfällt. Dies liegt daran, dass diese Gruppe gleichzeitig für eine andere Studie als Kontrollgruppe für Parkinsonpatienten genutzt wurde, welche ebenfalls unterschiedliche Bildungsgrade hatten. Daher ist die Aussagekraft zu den Alterseffekten eingeschränkt, was in Kauf genommen wurde, da es hier nur eine Nebenbetrachtung ist.

#### **4.6 Fazit und Ausblick**

In der vorliegenden Pilotstudie konnten erste Hinweise dafür gesammelt werden, dass sich aus der Musteranalyse der zufällig generierten Zahlenreihen ein Maß für die Kapazität der verbalen Zwischenablage des Arbeitsgedächtnis ableiten lässt. Die zweite Hypothese, dass auch die zentrale Exekutive abgebildet werden kann, konnte hier nicht bestätigt werden. Um diesen Zusammenhang an gesunden Probanden näher zu untersuchen, sollten in Zukunft Arbeitsgedächtnistests eingesetzt werden, die spezifischer die Unterfunktion „Inhibition“ testen, da diese beim RNGT besonders relevant erscheint. Außerdem sollte die Anforderung beim RNGT erhöht werden, was gut mit der Dual-Task-Methode erreicht werden kann, um dann die Performance anhand der Musteranalyse mit der normalen Testvariante zu vergleichen, um beteiligte Arbeitsgedächtnisprozesse näher beleuchten zu können. Hier liegt ein klarer Vorteil beim RNGT, da dieser im Dual-Task-Modus einfach Abweichungen von der Vorhersagbarkeit der Zahlengeneration als Funktion einer konkurrierenden kognitiven Last darstellen kann. Dieses Testmerkmal kann im Bereich sicherheitskritischer Systeme oder auch im Rahmen von pharmakologischen Studien genutzt werden, um kognitive Anforderungen zu

überwachen. Da der Test insbesondere auch in der Diagnostik verschiedener Erkrankungen eingesetzt werden soll, muss die Musteranalyse in einem nächsten Schritt auch an Patienten mit verschiedenen Erkrankungen (z.B. Morbus Parkinson oder Demenz) im Vergleich zu gesunden Probanden untersucht werden.

Es wurden Unterschiede zwischen der verbalen und manuellen Testvariante gefunden. Die aufgeführten möglichen nächsten Untersuchungen ebenfalls in beiden Varianten auszuführen, könnte dabei helfen dieser Unterschiede näher zu differenzieren und zu verstehen. Während die Musteranalyse für den verbalen RNG konzipiert wurde, steht die Analyse bei der Bewertung von zufälligen manuellen Mustern erst am Anfang.

## 5 Zusammenfassung

Beim Random Number Generation Task (RNGT) hat der Proband die Aufgabe die Zahlen 1-9 in einer langen Abfolge so zufällig wie möglich aufzuzählen, so als ob ein Zufallsgenerator diese Zahlenreihe erzeuge. Dabei zeigen sich immer wieder drei typische Verhaltensweisen, die diese Zahlenreihen von mathematischer Zufälligkeit unterscheiden: Das Vermeiden von Wiederholungen, das Vorkommen dominanter Zählendenzen und das Bestreben bereits über kurze Abschnitte eine Gleichverteilung der Zahlen zu erreichen. Dies wird mit drei etablierten Auswertemustern aufgedeckt, den so genannten „Repetition-Scores“, „Seriation-Scores“ und „Cycling-Scores“. Der Test gilt als abhängig von Arbeitsgedächtnisprozessen, da ein Monitoring der zuvor genannten Zahlen, das Entwickeln von Strategien sowie das Unterdrücken dominanter Gewohnheiten erforderlich ist. Ein neuerer Ansatz, die Musteranalyse von Schulz et al. (2012), beruht auf der Analyse dominanter Muster und ihren Variationen und berücksichtigt somit neben den genannten allgemeinen Beobachtungen auch individuell bevorzugte abstrakte Muster. Mit Kenntnis dieser Muster wird eine genannte Zahl an einer bestimmten Stelle, je nachdem wieviel der davor liegenden Zahlenreihe bekannt ist, vorhersagbar. Aus der genannten vorherigen Studie ergaben sich zwei Hypothesen: 1. Die Vorhersagbarkeit in Abhängigkeit der Länge der bekannten vorausgehenden Nummernhistorie ist abhängig von der Kapazität der passiven Zwischenablage des Arbeitsgedächtnis. 2. Die maximal erreichte Vorhersagerate ist abhängig von der zentralen Exekutiven des Arbeitsgedächtnisses. Diese Hypothesen wurden in der vorliegenden Arbeit anhand der Untersuchung von 66 gesunden Probanden im Alter von 20-69 Jahren geprüft. Dafür wurde eine verbale Testvariante wie geschildert verwendet. Zusätzlich wurde eine manuelle Variante genutzt, bei der Felder auf einem Touchscreen zufällig gedrückt werden, um auch die visuell-räumliche Komponente des Arbeitsgedächtnisses zu berücksichtigen. Um die postulierten Zusammenhänge prüfen zu können, wurden zusätzlich verschiedene verbale und visuell-räumliche Arbeitsgedächtnistests durchgeführt. Diese wurden einer Faktorenanalyse unterzogen, um die drei Komponenten des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley abzubilden: Phonologische Schleife (verbale Zwischenablage), visuell-räumlicher Skizzenblock (visuell-räumliche Ablage) und die zentrale Exekutive (aktiv manipulierende Komponente). Anschließend wurden diese Faktoren mit den Scores der Musteranalyse und mit Vertretern der etablierten RNGT-Scores korreliert. Damit konnte beim verbalen RNGT die erste Hypothese bestätigt werden, wobei der Score der Musteranalyse den sonst mit dem Monitoring in Verbindung gebrachten Vertreter der Cycling-Scores überlegen war. Beim manuellen RNGT bestand diese vermutete Korrelation nicht, was an grundsätzlich verschiedenen Arbeitsgedächtnisanforderungen dieser beiden Testvarianten liegen kann. Die zweite

Hypothese konnte sowohl verbal als auch manuell nicht bestätigt werden. Dies könnte an einer zu geringen Streuung der Performance unter den gesunden Probanden liegen, oder auch an zu unspezifisch gewählten Testverfahren für die zentrale Exekutive.

Das Probandenkollektiv bestand aus 37 jungen Probanden (20-29 Jahre) und 29 älteren Probanden (49-69 Jahre). Daher wurden die Gruppen noch hinsichtlich Alterseffekten verglichen. Es zeigten sich in der Altersspanne weder beim verbalen noch beim manuellen RNGT signifikante Unterschiede.

## **6 Veröffentlichung**

Teile dieser Arbeit wurden als Poster auf dem 90. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Neurologie vom 20. -23. September 2017 in Leipzig veröffentlicht:

Böhme B, Baier S, Schulz MA, Witt K: Eine Musteranalyse randomisiert generierter Zahlenreihen kann eine Hilfe bei der Detektion von Störungen im Arbeitsgedächtnis sein: Ein Pilotprojekt

## 7 Literaturverzeichnis

Albinet CT, Boucard G, Bouquet CA, Audiffren M (2012) Processing speed and executive functions in cognitive aging: how to disentangle their mutual relationship? *Brain and cognition* 79:1–11. doi:10.1016/j.bandc.2012.02.001

Ambrosini PJ, Metz C, Bianchi MD, Rabinovich H, Undie A (1991) Concurrent validity and psychometric properties of the Beck Depression Inventory in outpatient adolescents. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 30:51–57. doi:10.1097/00004583-199101000-00008

Azouvi P, Jokic C, van der Linden M, Marlier N, Bussel B (1996) Working memory and supervisory control after severe closed-head injury. A study of dual task performance and random generation. *Journal of clinical and experimental neuropsychology* 18:317–337. doi:10.1080/01688639608408990

Baddeley A (1996) Exploring the Central Executive. *The quarterly journal of experimental psychology* 49:5–28

Baddeley A (1998) Random Generation and the Executive Control of Working Memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A* 51:819–852. doi:10.1080/027249898391413

Baddeley A (2000) The episodic buffer a new component of working memory? *Trends in cognitive sciences* 4:417–422

Baddeley A (2012) Working memory: theories, models, and controversies. *Annual review of psychology* 63:1–29. doi:10.1146/annurev-psych-120710-100422

Baggetta P, Alexander PA (2016) Conceptualization and Operationalization of Executive Function. *Mind, Brain, and Education* 10:10–33. doi:10.1111/mbe.12100

Beck AT, Steer RA, Hautzinger M (1994) *Beck-Depressions-Inventar; (BDI) ; Testhandbuch*. Huber, Bern

Bobholz JH, Brandt J (1993) Assessment of cognitive impairment: relationship of the Dementia Rating Scale to the Mini-Mental State Examination. *Journal of geriatric psychiatry and neurology* 6:210–213

Borella E, Carretti B, Beni R de (2008) Working memory and inhibition across the adult life-span. *Acta psychologica* 128:33–44. doi:10.1016/j.actpsy.2007.09.008

- Brown RG, Soliveri P, Jahanshahi M (1998) Executive processes in Parkinsons disease—random number generation and response suppression. *Neuropsychologia* 36:1355–1362. doi:10.1016/S0028-3932(98)00015-3
- Brugger P, Monsch AU, Salmon DP, Butters N (1996) Random number generation in dementia of the Alzheimer type; A test of frontal executive functions. *Neuropsychologia* 34:97–103. doi:10.1016/0028-3932(95)00066-6
- Capone F, Capone G, Ranieri F, Di Pino G, Oricchio G, Di Lazzaro V (2014) The effect of practice on random number generation task: a transcranial direct current stimulation study. *Neurobiology of learning and memory* 114:51–57. doi:10.1016/j.nlm.2014.04.013
- Cattelani R, Dal Sasso F, Corsini D, Posteraro L (2011) The Modified Five-Point Test: normative data for a sample of Italian healthy adults aged 16-60. *Neurological sciences : official journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology* 32:595–601. doi:10.1007/s10072-011-0489-4
- Choi HJ, Lee DY, Seo EH, Jo MK, Sohn BK, Choe YM, Byun MS, Kim JW, Kim SG, Yoon JC, Jhoo JH, Kim KW, Woo JI (2014) A normative study of the digit span in an educationally diverse elderly population. *Psychiatry investigation* 11:39–43. doi:10.4306/pi.2014.11.1.39
- Cooper JA, Sagar HJ, Jordan N, Harvey NS, Sullivan EV (1991) Cognitive impairment in early, untreated Parkinson's disease and its relationship to motor disability. *Brain* 114:2095–2122. doi:10.1093/brain/114.5.2095
- Cooper HM, Hedges LV, Valentine JC (Hrsg) (2009) *The handbook of research synthesis and meta-analysis* (pp 221-235). Russell Sage Foundation, New York
- Cooper RP, Wutke K, Davelaar EJ (2012) Differential contributions of set-shifting and monitoring to dual-task interference. *Quarterly journal of experimental psychology* (2006) 65:587–612. doi:10.1080/17470218.2011.629053
- Daniels C, Witt K, Wolff S, Jansen O, Deuschl G (2003) Rate dependency of the human cortical network subserving executive functions during generation of random number series – a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters* 345:25–28. doi:10.1016/S0304-3940(03)00496-8
- Dirnberger G, Jahanshahi M (2010) Response selection in dual task paradigms: observations from random generation tasks. *Experimental brain research* 201:535–548. doi:10.1007/s00221-009-2068-y

- Drechsler R (2007) Exekutive Funktionen - Übersicht und Taxonomie. *Zeitschrift für Neuropsychologie : ZNP ; zugleich Organ der Gesellschaft für Neuropsychologie ; mit Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Neurotraumatologie und Klinische Neuropsychologie* 18:233–248
- Dunlap WP, Cortina JM, Vaslow JB, Burke MJ (1996) Meta-analysis of experiments with matched groups or repeated measures designs. *Psychological Methods* 1:170–177. doi:10.1037//1082-989X.1.2.170
- Ellis PD (2010) *The essential guide to effect sizes; Statistical power, meta-analysis, and the interpretation of research results.* Cambridge University Press, Cambridge
- Evans FJ (1978) Monitoring attention deployment by random number generation; An index to measure subjective randomness. *Bull. Psychon. Soc.* 12:35–38. doi:10.3758/BF03329617
- Figurska M, Stanczyk M, Kulesza K (2008) Humans cannot consciously generate random numbers sequences: Polemic study. *Medical hypotheses* 70:182–185. doi:10.1016/j.mehy.2007.06.038
- Fisk JE, Sharp CA (2004) Age-related impairment in executive functioning: updating, inhibition, shifting, and access. *Journal of clinical and experimental neuropsychology* 26:874–890. doi:10.1080/13803390490510680
- Goebel S, Fischer R, Ferstl R, Mehdorn HM (2009) Normative data and psychometric properties for qualitative and quantitative scoring criteria of the Five-point Test. *The Clinical neuropsychologist* 23:675–690. doi:10.1080/13854040802389185
- Hester RL, Kinsella GJ, Ong B (2004) Effect of age on forward and backward span tasks. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS* 10:475–481. doi:10.1017/S1355617704104037
- Heuer H, Kohlisch O, Klein W (2005) The effects of total sleep deprivation on the generation of random sequences of key-presses, numbers and nouns. *The Quarterly journal of experimental psychology. A, Human experimental psychology* 58:275–307. doi:10.1080/02724980343000855
- Heuer H, Janczyk M, Kunde W (2010) Random noun generation in younger and older adults. *Quarterly journal of experimental psychology* (2006) 63:465–478. doi:10.1080/17470210902974138
- Horne RL, Evans FJ, Orne MT (1982) Random number generation, psychopathology and therapeutic change. *Archives of general psychiatry* 39:680–683

- Jahanshahi M (1998) The effects of transcranial magnetic stimulation over the dorsolateral prefrontal cortex on suppression of habitual counting during random number generation. *Brain* 121:1533–1544. doi:10.1093/brain/121.8.1533
- Jahanshahi M, Dirnberger G, Fuller R, Frith CD (2000) The role of the dorsolateral prefrontal cortex in random number generation: a study with positron emission tomography. *NeuroImage* 12:713–725. doi:10.1006/nimg.2000.0647
- Jahanshahi M, Saleem T, Ho AK, Dirnberger G, Fuller R (2006) Random number generation as an index of controlled processing. *Neuropsychology* 20:391–399. doi:10.1037/0894-4105.20.4.391
- Jenkins L, Myerson J, Joerding JA, Hale S (2000) Converging evidence that visuospatial cognition is more age-sensitive than verbal cognition. *Psychology and Aging* 15:157–175. doi:10.1037//0882-7974.15.1.157
- Joppich G, Dauper J, Dengler R, Johannes S, Rodriguez-Fornells A, Munte TF (2004) Brain potentials index executive functions during random number generation. *Neuroscience research* 49:157–164. doi:10.1016/j.neures.2004.02.003
- Jurado MB, Rosselli M (2007) The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding. *Neuropsychology review* 17:213–233. doi:10.1007/s11065-007-9040-z
- Kessels RPC, van den Berg E, Ruis C, Brands AMA (2008) The backward span of the Corsi Block-Tapping Task and its association with the WAIS-III Digit Span. *Assessment* 15:426–434. doi:10.1177/1073191108315611
- Knox MR, Lacritz LH, Chandler MJ, Munro Cullum C (2003) Association between Dementia Rating Scale performance and neurocognitive domains in Alzheimer's disease. *The Clinical neuropsychologist* 17:216–219. doi:10.1076/clin.17.2.216.16496
- Kumar N, Priyadarshi B (2013) Differential effect of aging on verbal and visuo-spatial working memory. *Aging and disease* 4:170–177
- Lezak MD, Howieson DB, Loring DW, Hannay HJ (2004) *Neuropsychological assessment*. Oxford Univ. Press, Oxford
- Maes JHR, Eling, Paul A T M, Reelick MF, Kessels RPC (2011) Assessing executive functioning: on the validity, reliability, and sensitivity of a click/point random number generation task in healthy adults and patients with cognitive decline. *Journal of clinical and experimental neuropsychology* 33:366–378. doi:10.1080/13803395.2010.524149

- Marsh JE, Sorqvist P, Halin N, Nostl A, Jones DM (2013) Auditory distraction compromises random generation. Falling back into old habits? *Experimental psychology* 60:279–292. doi:10.1027/1618-3169/a000198
- Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A, Wager TD (2000) The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex „Frontal Lobe“ tasks: a latent variable analysis. *Cognitive psychology* 41:49–100. doi:10.1006/cogp.1999.0734
- Miyake A, Friedman NP, Rettinger DA, Shah P, Hegarty M (2001) How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related?; A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General* 130:621–640. doi:10.1037/0096-3445.130.4.621
- Morey CC, Morey RD, van der Reijden M, Holweg M (2013) Asymmetric cross-domain interference between two working memory tasks; Implications for models of working memory. *Journal of Memory and Language* 69:324–348. doi:10.1016/j.jml.2013.04.004
- Müller SV (2013) Störungen der Exekutivfunktionen. Hogrefe, Göttingen
- Munte TF, Joppich G, Dauper J, Schrader C, Dengler R, Heldmann M (2015) Random Number Generation and Executive Functions in Parkinson's Disease: An Event-Related Brain Potential Study. *Journal of Parkinson's disease* 5:613–620. doi:10.3233/JPD-150575
- Myerson J, Emery L, White DA, Hale S (2010) Effects of Age, Domain, and Processing Demands on Memory Span; Evidence for Differential Decline. *Aging, Neuropsychology, and Cognition (Neuropsychology, Development and Cognition: Section B)* 10:20–27. doi:10.1076/anec.10.1.20.13454
- Newson RS, Luszcz MA, Kemps EB (2003) Cognitive Mechanisms Underlying Decrements in Mental Synthesis in Older Adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition (Neuropsychology, Development and Cognition: Section B)* 10:28–43. doi:10.1076/anec.10.1.28.13455
- Oomens W, Maes JHR, Hasselman F, Egger JIM (2015) A Time Series Approach to Random Number Generation: Using Recurrence Quantification Analysis to Capture Executive Behavior. *Frontiers in human neuroscience* 9:319. doi:10.3389/fnhum.2015.00319
- Petermann F (Hrsg) (2014) WAIS-IV; Deutschsprachige Adaptation nach David Wechsler : Manual 1, Grundlagen, Testauswertung und Interpretation. Pearson, Frankfurt/M.
- Peters M, Giesbrecht T, Jelicic M, Merckelbach H (2007) The random number generation task: psychometric properties and normative data of an executive function task in a mixed sample. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS* 13:626–634. doi:10.1017/S1355617707070786

- Regard M, Strauss E, Knapp P (1982) Children's production on verbal and non-verbal fluency tasks. *Perceptual and motor skills* 55:839–844. doi:10.2466/pms.1982.55.3.839
- Rosenberg S, Weber N, Crocq MA, Duval F, Macher JP (1990) Random number generation by normal, alcoholic and schizophrenic subjects. *Psychological medicine* 20:953–960
- Salame P, Danion J-M (2007) Inhibition of inappropriate responses is preserved in the Think-No-Think and impaired in the random number generation tasks in schizophrenia. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS* 13:277–287. doi:10.1017/S1355617707070300
- Schulter G, Mittenecker E, Papousek I (2010) A computer program for testing and analyzing random generation behavior in normal and clinical samples: the Mittenecker Pointing Test. *Behavior research methods* 42:333–341. doi:10.3758/BRM.42.1.333
- Schulz M-A, Schmalbach B, Brugger P, Witt K (2012) Analysing humanly generated random number sequences: a pattern-based approach. *PloS one* 7:e41531. doi:10.1371/journal.pone.0041531
- Sebastian MV, Mediavilla R (2015) Verbal forward digit span in Spanish population. *Psicothema* 27:93–98. doi:10.7334/psicothema2014.258
- Smith EE, Jonides J, Marshuetz C, Koeppel RA (1998) Components of verbal working memory; Evidence from neuroimaging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 95:876–882. doi:10.1073/pnas.95.3.876
- Spatt J, Goldenberg G (1993) Components of random generation by normal subjects and patients with dysexecutive syndrome. *Brain and cognition* 23:231–242. doi:10.1006/brcg.1993.1057
- Strauss E, Sherman EMS, Spreen O (2006) *A compendium of neuropsychological tests; Administration, norms, and commentary*. Oxford Univ. Press, Oxford
- Strenge H, Bohm J (2005) Effects of regular switching between languages during random number generation. *Perceptual and motor skills* 100:524–534. doi:10.2466/pms.100.2.524-534
- Terhune DB, Brugger P (2011) Doing better by getting worse: posthypnotic amnesia improves random number generation. *PloS one* 6:e29206. doi:10.1371/journal.pone.0029206
- Tewes U (Hrsg) (1991) *Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene - Revision; HAWIE-R ; Handbuch und Testanweisung*. Huber, Bern

- Towse JN, Cheshire A (2007) Random number generation and working memory. *European Journal of Cognitive Psychology* 19:374–394. doi:10.1080/09541440600764570
- Towse JN, Neil D (1998) Analyzing human random generation behavior; A review of methods used and a computer program for describing performance. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 30:583–591. doi:10.3758/BF03209475
- Towse JN (1998) On random generation and the central executive of working memory. *British journal of psychology (London, England : 1953)* 89 (Pt 1):77–101
- Towse JN, Towse AS, Saito S, Maehara Y, Miyake A (2016) Joint Cognition: Thought Contagion and the Consequences of Cooperation when Sharing the Task of Random Sequence Generation. *PloS one* 11:e0151306. doi:10.1371/journal.pone.0151306
- Tucha L, Aschenbrenner S, Koerts J, Lange KW (2012) The five-point test: reliability, validity and normative data for children and adults. *PloS one* 7:e46080. doi:10.1371/journal.pone.0046080
- van der Linden M, Beerten A, Pesenti M (1998) Age-related differences in random generation. *Brain and cognition* 38:1–16
- Vandierendonck A, Kemps E, Fastame MC, Szmalec A (2004) Working memory components of the Corsi blocks task. *British journal of psychology (London, England : 1953)* 95:57–79. doi:10.1348/000712604322779460
- Wechsler D (1981) *Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised; WAIS-R ; Manual*. The Psychological Corporation, San Antonio
- Werheid K (2002) The Adaptive Digit Ordering Test Clinical application, reliability, and validity of a verbal working memory test. *Archives of Clinical Neuropsychology* 17:547–565. doi:10.1016/S0887-6177(01)00134-2
- Wilde NJ, Strauss E, Tulskey DS (2004) Memory span on the Wechsler Scales. *Journal of clinical and experimental neuropsychology* 26:539–549. doi:10.1080/13803390490496605
- Witt K, Pulkowski U, Herzog J, Lorenz D, Hamel W, Deuschl G, Krack P (2004) Deep brain stimulation of the subthalamic nucleus improves cognitive flexibility but impairs response inhibition in Parkinson disease. *Archives of neurology* 61:697–700. doi:10.1001/archneur.61.5.697
- Zabelina DL, Robinson MD, Council JR, Bresin K (2012) Patterning and nonpatterning in creative cognition; Insights from performance in a random number generation task. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts* 6:137–145. doi:10.1037/a0025452

## 8 Anhang

### 8.1 Aufklärungsbogen

#### Studie zum randomisierten Generieren von Zahlenreihen

Sehr geehrter Teilnehmer,

vielen Dank, dass Sie sich für die Teilnahme an der Studie „Randomisiertes Generieren von Zahlenreihen“ entschieden haben. Mit diesem Text wollen wir Sie in Kurzform darüber aufklären, was Sie bei der Studie erwartet.

Beim randomisierten Generieren von Zahlenreihen bildet man lange Reihen aus den Zahlen 1-9, wobei man versucht, diese in einer möglichst zufälligen Abfolge aufzuzählen. Vorgegangene Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass der Mensch dabei nicht in der Lage ist, annähernd eine mathematische Zufälligkeit zu erreichen, wobei die Ergebnisse natürlich individuell variieren. Dieses Wissen könnte dafür genutzt werden, einen derartigen Test zu entwickeln, mit dem man Erkrankungen rechtzeitig erkennen kann, die mit einem Nachlassen kognitiver Fähigkeiten einhergehen (z.B. Parkinson oder Demenz).

In dieser Studie untersuchen wir eine neuartige Methode, diese Zahlenreihen auszuwerten. Um bestimmte Aussagen treffen zu können, werden wir die Ergebnisse außerdem mit anderen neuropsychologischen Ergebnissen vergleichen. Dafür möchten wir noch weitere Testungen bei Ihnen durchführen, mit denen wir u.a. Ihr Arbeitsgedächtnis und Ihre kognitive Flexibilität untersuchen. Der Durchlauf dieser Testungen findet einmalig statt und nimmt ungefähr zwei Stunden in Anspruch.

Die neuropsychologische Testung besteht aus folgenden Anteilen

- Sie sollen insgesamt zweimal lange zufällige Reihen aus den Zahlen 1-9 aufzählen (jeweils bestehend aus dreihundert Zahlen). Das gleiche machen Sie noch mal manuell am Bildschirm
- Um das Arbeitsgedächtnis zu untersuchen, sollen Sie sich Zahlen merken und nachsprechen. Auch diesen Teil der Testung führen Sie noch mal in ähnlicher Form am Bildschirm durch.
- Sie sollen am Bildschirm Karten mit bestimmten Symbolen und Farben sortieren.

- Sie sollen in einer zeitlichen Begrenzung möglichst viele unterschiedliche Muster nach bestimmten Vorgaben zeichnen.
- Wir führen mit Ihnen einen Test ihres Wortschatzes durch.
- Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, sollen sie Fragen zu Ihrer Stimmung, Ihrer gesundheitlichen Vorgeschichte sowie Ihrer schulischen Bildung beantworten.
- Und wir testen mit ein paar Fragen und kleinen Aufgaben Ihre Orientierung, um eine bestehende Demenz auszuschließen.

Sie können die Untersuchung jederzeit ab- oder unterbrechen. Die Ergebnisse und die Teilnahme an diesen Untersuchungen haben keinen medizinisch diagnostischen Wert. Ihre Daten und Testergebnisse werden selbstverständlich vertraulich behandelt und unter Einhaltung der Richtlinien des Datenschutzes ausgewertet.

Gez. Prof. Dr. med. K. Witt

gez. S. Baier und B. Böhme

(Leitender Oberarzt der Klinik für Neurologie)

(Doktoranden)

## **8.2 Einwilligungserklärung**

### **zu der Studie „Randomisiertes Generieren von Zahlenreihen“**

Über Wesen, Bedeutung und Tragweite der klinischen Studie bin ich aufgeklärt worden. Ich habe den Informationsbogen gelesen und verstanden. Alle Fragen zu dieser Studie wurden zu meiner Zufriedenheit beantwortet.

Ich hatte genügend Zeit für meine Entscheidung und bin mit der Teilnahme an dieser Studie einverstanden. Ich bin mit der im Rahmen der Studie erfolgenden Aufzeichnung von Daten entsprechend des Informationsbogens einverstanden.

Ich weiß, dass ich jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Einwilligung zur Teilnahme an dieser Studie widerrufen kann, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen.

Ich bin damit einverstanden, dass im Rahmen der klinischen Prüfung meine Daten zur Auswertung der Ergebnisse in anonymisierter Form verwendet werden. Alle im Rahmen dieser Studien erhobenen Daten werden strikt vertraulich gemäß dem Datenschutz behandelt.

Einer wissenschaftlichen Auswertung der anonymisierten Daten und einer möglichen Veröffentlichung der Ergebnisse stimme ich zu.

Ich gebe hiermit meine freiwillige Zustimmung zur Teilnahme an dieser Studie. Eine Kopie dieser Einwilligung und eine Kopie des Informationsbogens habe ich erhalten.

---

Ort, Datum

---

---

Unterschrift des Patienten

Unterschrift des aufklärenden Arztes

### **8.3 Fragebogen zu persönlichen Daten und dem Gesundheitszustand**

Name:

Vorname:

Geburtsdatum:

Schulbildung:

Hatten Sie in der Vergangenheit irgendwelche neurologischen oder psychiatrischen Erkrankungen?

Ja  Nein

Hatten Sie in der Vergangenheit jemals Schädel- oder Hirnverletzungen? Ja  Nein

Wurden Sie jemals am Gehirn operiert? Ja  Nein

Liegt aktuell (oder bestand in der Vergangenheit) ein Alkohol- oder Suchtproblematik/missbrauch vor?

Ja  Nein

Liegt bei Ihnen eine hirnorganische Erkrankung vor oder eine schwere systemische Erkrankung wie eine generalisierte Arteriosklerose, Diabetes mellitus, Lupus erythematodes, Multiple Sklerose?

Ja  Nein

Nehmen Sie derzeit Medikamente ein? Ja  Nein

Wenn ja, welche?:

### **8.4 Beck-Depressions-Inventar**

Falls mehrere Aussagen gleichermaßen zutreffen, können Sie auch mehrere Ziffern markieren. Lesen Sie auf jeden Fall alle Aussagen in jeder Gruppe, bevor Sie Ihre Wahl treffen.

A

0 Ich bin nicht traurig

1 Ich bin traurig

2 Ich bin die ganze Zeit traurig und komme nicht davon los

3 Ich bin so traurig oder unglücklich, daß ich es kaum noch ertrage

B

0 Ich sehe nicht besonders mutlos in die Zukunft

1 Ich sehe mutlos in die Zukunft

2 Ich habe nichts, worauf ich mich freuen kann

3 Ich habe das Gefühl, daß die Zukunft hoffnungslos ist, und daß die Situation nicht besser werden kann

C

0 Ich fühle mich nicht als Versager

1 Ich habe das Gefühl, öfter versagt zu haben als der Durchschnitt

2 Wenn ich auf mein Leben zurückblicke, sehe ich bloß eine Menge Fehlschläge

3 Ich habe das Gefühl, als Mensch ein völliger Versager zu sein

D

0 Ich kann die Dinge genauso genießen wie früher

1 Ich kann die Dinge nicht mehr so genießen wie früher

2 Ich kann aus nichts mehr eine echte Befriedigung ziehen

3 Ich bin mit allem unzufrieden oder gelangweilt

E

0 Ich habe keine Schuldgefühle

1 Ich habe häufig Schuldgefühle

2 Ich habe fast immer Schuldgefühle

3 Ich habe immer Schuldgefühle

F

0 Ich habe nicht das Gefühl gestraft, zu sein

1 Ich habe das Gefühl, vielleicht bestraft zu werden

2 Ich erwarte bestraft zu werden

3 Ich habe das Gefühl, bestraft zu sein

G

0 Ich bin nicht von mir enttäuscht

1 Ich bin von mir enttäuscht

2 Ich finde mich fürchterlich

3 Ich hasse mich

H

0 Ich habe nicht das Gefühl, schlechter zu sein als alle anderen

1 Ich kritisiere mich wegen meiner Fehler und Schwächen

2 Ich mache mir die ganze Zeit Vorwürfe wegen meiner Mängel

3 Ich gebe mir für alles die Schuld, was schiefgeht

I

- 0 Ich denke nicht daran, mir etwas anzutun
- 1 Ich denke manchmal an Selbstmord, aber ich würde es nicht tun
- 2 Ich möchte mich am liebsten umbringen
- 3 Ich würde mich umbringen, wenn ich die Gelegenheit hätte

J

- 0 Ich weine nicht öfter als früher
- 1 Ich weine jetzt mehr als früher
- 2 Ich weine die ganze Zeit
- 3 Früher konnte ich weinen, aber jetzt kann ich es nicht mehr, obwohl ich es möchte

K

- 0 Ich bin nicht reizbarer als sonst
- 1 Ich bin jetzt leichter verärgert oder gereizt als früher
- 2 Ich fühle mich dauernd gereizt
- 3 Die Dinge, die mich früher geärgert haben, berühren mich nicht mehr

L

- 0 Ich habe nicht das Interesse an Menschen verloren
- 1 Ich interessiere mich jetzt weniger für Menschen als früher
- 2 Ich habe mein Interesse an anderen Menschen zum größten Teil verloren
- 3 Ich habe mein ganzes Interesse an anderen Menschen verloren

M

- 0 Ich bin so entschlußfreudig wie immer
- 1 Ich schiebe Entscheidungen jetzt öfter als früher auf
- 2 Es fällt mir jetzt schwerer als früher, Entscheidungen zu treffen
- 3 Ich kann überhaupt keine Entscheidungen mehr treffen

N

- 0 Ich habe nicht das Gefühl, schlechter auszusehen als früher
- 1 Ich mache mir Sorgen, daß ich alt oder unattraktiv aussehe
- 2 Ich habe das Gefühl, daß Veränderungen in meinem Aussehen eintreten, die mich häßlich machen
- 3 Ich finde mich häßlich

O

- 0 Ich kann so gut arbeiten wie früher
- 1 Ich muß mir einen Ruck geben, bevor ich eine Tätigkeit in Angriff nehme
- 2 Ich muß mich zu jeder Tätigkeit zwingen

3 Ich bin unfähig zu arbeiten

P

0 Ich schlafe so gut wie sonst

1 Ich schlafe nicht mehr so gut wie früher

2 Ich wache 1 bis 2 Stunden früher auf als sonst, und es fällt mir schwer, wieder einzuschlafen

3 Ich wache mehrere Stunden früher auf als sonst und kann nicht mehr einschlafen

Q

0 Ich ermüde nicht stärker als sonst

1 Ich ermüde schneller als früher

2 Fast alles ermüdet mich

3 Ich bin zu müde, um etwas zu tun

R

0 Mein Appetit ist nicht schlechter als sonst

1 Mein Appetit ist nicht mehr so gut wie früher

2 Mein Appetit hat sehr stark nachgelassen

3 Ich habe überhaupt keinen Appetit mehr

S

0 Ich habe in letzter Zeit kaum abgenommen

1 Ich habe mehr als 2 Kilo abgenommen

2 Ich habe mehr als 5 Kilo abgenommen

3 Ich habe mehr als 8 Kilo abgenommen

Ich esse absichtlich weniger, um abzunehmen

Ja

Nein

T

0 Ich mache mir keine größeren Sorgen um meine Gesundheit als sonst

1 Ich mache mir Sorgen über körperliche Probleme, wie Schmerzen, Magenbeschwerden oder Verstopfung

2 Ich mache mir so große Sorgen über gesundheitliche Probleme, daß es mir schwerfällt, an etwas anderes zu denken

3 Ich mache mir so große Sorgen über gesundheitliche Probleme, daß ich an nichts anderes mehr denken kann

U

0 Ich habe in letzter Zeit keine Veränderung meines Interesses an Sex bemerkt

1 Ich interessiere mich weniger für Sex als früher

2 Ich interessiere mich jetzt viel weniger für Sex

3 Ich habe das Interesse an Sex völlig verloren

## 8.5 Mattis Demenz Skala

### I. Aufmerksamkeit und Konzentration

	Punkte	MAX.
<b>A. Zahlenreihen</b> Vorwärts: 25, 316, 4792 Rückwärts: 14, 539, 8593		(8)
<b>B. Befolgen von 2 aufeinanderfolgenden Befehlen:</b> 1. Öffnen Sie den Mund und schließen Sie die Augen 2. Strecken Sie die Zunge heraus und heben Sie die Hand. (1 Punkte für jede richtige Aufgabe)		(2)

Falls der Patient beide Aufgaben richtig erfüllt,  
können C und D übersprungen und maximal bewertet werden.

	Punkte	MAX.
<b>C. Befolgen eines verbalen Befehls:</b> 1. Öffnen Sie Ihren Mund 2. Strecken Sie die Zunge heraus 3. Schließen Sie die Augen 4. Heben Sie die rechte Hand (1 Punkt für jede richtig ausgeführte Aufgabe)		(4)
<b>D. Nachahmen</b> 1. Öffnen Sie Ihren Mund 2. Strecken Sie die Zunge heraus 3. Schließen Sie die Augen 4. Heben Sie die rechte Hand (1 Punkt für jede richtig ausgeführte Aufgabe)		(4)

### II/A. verbal

	Punkte	MAX.

1. Darf ich Sie bitten, alle jene Dinge aufzuzählen, die Sie in einem Supermarkt finden bzw. kaufen können; Nennen Sie so viele verschiedene Dinge wie möglich. Sie haben eine Minute Zeit. (Score = Zahl der aufgezählten richtigen Gegenstände in 1 Minute, aber nicht mehr als 20)		(20)
--	--	------

(Wenn 14 oder mehr der Gegenstände genannt werden, können die Punkte 2, 3 und 4 übersprungen und maximal bewertet werden.)

	Punkte	MAX
2. Schauen Sie, wie ich gekleidet bin. Ich würde Sie bitten, alle Kleidungsstücke aufzuzählen, die ich trage. Beispiel geben wie „Mantel, Schuhe“ ist erlaubt. (Score = Zahl der aufgezählten richtigen Gegenstände in 1 Minute aber nicht mehr als 8)		(8)
3. Wiederholen Sie bitte „da... sah... nah...“. Jetzt sagen sie „da, sah, nah“ viermal hintereinander. (Score = 1 Punkt für 4 richtige Wiederholungen)		(1)
4. Wiederholen Sie bitte „da... di... do...“ Sagen Sie „da, di, do“ viermal hintereinander. (Score = 1 Punkt für 4 richtige Wiederholungen)		(1)

## II/B. Motorisch

1. Zwei gleichzeitig alternierende Bewegungen:	Punkte	MAX.
a. Zeigen Sie mit der linken Handfläche nach oben und mit der rechten Handfläche nach unten; dann mehrmals gleichzeitiger Positionswechsel beider Hände. Vormachen erlaubt. (Score = 1 Punkt für richtige Änderung der Handstellung bei 5 aufeinanderfolgenden Wechselbewegungen)		(1)

Falls der Patient die Aufgabe 1a richtig erfüllt, können 1b und 1c übersprungen werden und maximal bewertet werden

	Punkte	MAX.
b. Ballen Sie bitte die rechte Hand zur Faust mit der Handfläche nach unten und strecken Sie die Finger der linken Hand (mit der Handfläche nach unten). Ändern Die Haltung der Finger (Faustschluß/Fingerstreckung) mehrmals gleichzeitig. (Score = 1 Punkt für richtige Änderung der Handstellung bei 5 aufeinanderfolgenden Wechselbewegungen)		(1)
c. Bitte klopfen Sie abwechselnd mit den Zeigefingern jeder Hand auf den Tisch. „Klopfen Sie links, dann rechts, dann links, so wie ich jetzt.“ (Score = 1 Punkt für 10 richtige wechselweise Wiederholungen)		(1)

2. Graphomotorisch (dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX.
a. Kopiere 		(1)

Wenn der Patient die Aufgabe 2a richtig erfüllt, können 2b,2c und 2d übersprungen und maximal bewertet werden.

2.	Punkte	MAX
b. Kopiere O		(1)
c. Kopiere X		(1)
d. Kopiere OXOXOXOXOXOXO		(1)

### III. Konstruktion:

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX.

A. Kopiere 		(1)
---	--	-----

Wenn der Patient A richtig löst, können B, C, D, E und F übersprungen und maximal bewertet werden.

	Punkte	MAX
B. Kopiere 		(1)
C. Kopiere 		(1)
D. Kopiere 		(1)
E. Kopiere 		(1)
F. „Schreiben Sie Ihren Namen“		(1)

#### IV. Kombinatorik

##### A. Gemeinsamkeiten

„Auf welche Weise gleichen sich : . . . . und . . . . ?“

	2 Punkte (abstrakt)	1 Punkt (konkret)	0 Punkte	MAX.
1. Apfel – Banane	beides Früchte	zum Essen, Nahrung, zum Schälen	0	(2)
2. Mantel - Hemd	beides Kleidungsstücke	halten warm, aus Stoff	0	(2)
3. Boot – Auto	beides Transportmittel	beide bewegen sich, aus Metall,	0	(2)

		man kann in/mit beiden fahren		
4. Tisch – Sessel	beides Möbelstücke	4 Beine, stehen in der Küche, aus Holz	0	(2)

Wenn der Patient 6 oder mehr Punkte bei A erzielt, können B, C, D, E übersprungen und maximal bewertet werden.

### B. Instruiertes induziertes Denken

	Punkte	MAX.
<p>1. Nennen Sie 3 Dinge, die der Mensch <b>ißt</b>.</p> <p>Antworten: . . . . . , . . . . . , . . . . .</p> <p>„ Auf welche Weise gleichen sich . . . . . , . . . . . und . . . . . ?“</p> <p>Wenn der Patient nicht oder falsch antwortet, sagen Sie: „. . . . . , . . . . . und . . . . . sind alles Dinge, die der Mensch ißt.“ (Weiter zu B2)</p>		(1)
<p>2. Nennen Sie 3 Dinge, die der Mensch <b>anzieht</b>.</p> <p>Antworten: . . . . . , . . . . . , . . . . .</p> <p>„ Auf welche Weise gleichen sich . . . . . , . . . . . und . . . . . ?“</p> <p>Wenn der Patient nicht oder falsch antwortet, sagen Sie: „. . . . . , . . . . . und . . . . . sind alles Dinge, die Menschen anziehen.“ (Weiter zu B3)</p>		(1)
<p>3. Nennen Sie 3 Dinge <b>mit denen man fahren kann</b>.</p> <p>Antworten: . . . . . , . . . . . , . . . . .</p> <p>„ Auf welche Weise gleichen sich . . . . . , . . . . . und . . . . . ?“</p>		(1)

Wenn der Patient nicht oder falsch antwortet, sagen Sie: „. . . , . . . und . . . sind alles Dinge, mit denen man fahren kann.“  (1 Punkt für jede richtige Antwort in Bezug auf die Gemeinsamkeit)		
--	--	--

**C. Unterschiede**

	Punkte	MAX
Ich nenne Ihnen jetzt jeweils 3 Dinge. Sie sagen mir, welches nicht zu den 2 anderen gehört, welches unterschiedlich ist.  1. Hund - Katze - Auto 2. Junge - Tür - Mann 3. Fisch - Auto - Zug  (1 Punkt für jede richtige Antwort)		(3)

**D. Gemeinsamkeiten (Mehrfachwahl)**

	Punkte	MAX
„Äpfel und Bananen sind das beides Tiere, beides Früchte oder beide grün?“ (Satz kann so oft wie notwendig wiederholt werden)		(2)*
2. „Mantel und Hemd sind das beide Kleidungsstücke, beide aus Wolle oder beides Früchte?“ (kann wiederholt werden)		(2)*
3. „Boot und Auto, bewegen sich beide, sind es Transportmittel oder beides Kleidungsstücke?“ (kann wiederholt werden)		(2)*
4. „Tisch und Sessel, sind das beides Transportmittel, sind beide aus Holz oder beides Möbelstücke?“ (kann wiederholt werden) * 2 Punkte für jede richtige abstrakte, 1 Punkt für jede konkrete Antwort		(2)*

**E. Gleichheit und Ungleichheit**

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX.
A. „Welche 2 sind gleich, gehören zusammen?“		

(Zahl der richtigen Antworten)		(8)
<p>B. „Welches davon ist unterschiedlich, gehört nicht zu den beiden anderen?“</p> <p>(Zahl der richtigen ungleichen, 1 Punkt für jede richtige Antwort)</p>		(8)

**V. Gedächtnis**

**A1: Verbales Material**

Bitte Sie den Patienten, folgenden Satz zu lesen: (dem Pat. die Vorlage zeigen)  
 Der Junge hat einen braunen Hund  
 Sagen Sie: „Merken Sie sich diesen Satz, weil ich Sie später danach fragen werde.“

**B1**

	Punkte	MAX.
<p>„Ich würde Sie bitten, einen Satz zu bilden, in dem Sie die Wörter - Mann und Auto - verwenden.“</p> <p>Antwort</p> <p>.....</p> <p>(1 Punkt für einen vollständigen Satz. Punkt wird der Gruppe Kombinatorik zugezählt - siehe Gesamtbewertungsbogen)</p>		(1)

„Merken Sie sich auch diesen Satz, weil ich später nach ihm fragen werde.“		
--	--	--

**C. Orientierung**

	Punkte	MAX.
Tag, Datum, Monat, Jahr, Präsident, Kanzler, Bürgermeister, Name des Krankenhauses, Stadt (1 Punkt für jede richtige Antwort)		(9)

**D1**

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX.
„Zählen Sie alle A's“ (Ein Punkt für jedes richtig identifizierte A. Punkt wird dem Gebiet Konzentration und Aufmerksamkeit zugezählt - siehe Gesamtbewertungsbogen)		(6)

**D2**

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX.
(Ein Punkt für jedes richtig identifizierte A. Punkt wird dem Gebiet Konzentration und Aufmerksamkeit zugezählt - siehe Gesamtbewertungsbogen)		(5)

**VI. Satz - Merken - fragen Sie nach den Sätzen**

	Punkte	MAX
A2: 4 Punkte für den ganzen Satz oder je einen Punkt für Junge, braun und Hund		(4)
		(3)

B2: Eigener Satz: 3 Punkte für den kompletten Satz oder 1 Punkt je für Mann und Auto		
--	--	--

**Wiedererkennen von Wörtern****E1**

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX
<p>„Ich möchte, daß Sie diese Liste von Wörtern 4mal lesen, so daß Sie sich jedes Wort merken.“</p> <p>Abend Pflanze offen Maschine Feuer</p> <p>(1 Punkt für jedes richtige Lesen aller 5 Wörter. Wird dem Gebiet Konzentration zugezählt)</p>		( 4)

**E2**

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX
<p>„Ich zeige Ihnen nun jeweils 2 Wörter nebeneinander. Bestimmen Sie bei jedem Wortpaar, welches Wort in der Liste war, die Sie gerade gelesen haben.“</p> <p>Abend Kopf Meter Pflanze Land offen Maschine Nacht Feuer Milch</p> <p>(1 Punkt für jede richtige Antwort)</p>		( 5)

**F1**

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX

<p>„Welche dieser Zeichnungen (zeigen Sie auf die untere Reihe) sieht wie diese (zeigen Sie auf die erste Zeichnung aus der oberen Reihe) aus ?“ (Jeder Hinweis erlaubt, der richtiges Erkennen der Übereinstimmung ermöglicht)</p> <p>(4 übereinstimmende Zeichnungen, 1 Punkte für jede richtige Übereinstimmung, wird dem Gebiet Aufmerksamkeit und Konzentration zugezählt)</p>		( 4)
---	--	------

**F2**

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX
<p>„Ich zeige Ihnen 2 Zeichnungen gleichzeitig. Bestimmen Sie aus jedem Paar jene Zeichnung mit der Sie gerade gearbeitet haben bzw. die Sie gerade gesehen haben.“</p> <p>(1 Punkt für jede richtige Antwort)</p>		( 4)

**Scoring Sheet****1.) Aufmerksamkeit und Konzentration**

	Punkte	MAX		Punkte	MAX.
I A (Zahlenreihe)	I__I	(8)	II A1 (Supermarkt)	I__II__I	(20)
B (2 Befehle)	I__I	(2)	A2 (Kleidung)	I__I	(8)
C (verbaler Befehl)	I__I	(4)	A3 (da, sah, nah)	I__I	(1)
D (Nachahmen)	I__I	(4)	A4 (da, di, do)	I__I	(1)
			B 1a (Handfläche)	I__I	(1)
V D1 (A's zählen)	I__I	(6)	1b (Faust)	I__I	(1)
D2 (A's zählen)	I__I	(5)	1c (Klopfen)	I__I	(1)
E1 (Liste lesen)	I__I	(4)	2a (Kopieren )	I__I	(1)
F1 (Zeichnungen zuordnen)	I__I	(4)	2b (Kopieren O )	I__I	(1)
			2c (Kopieren X )	I__I	(1)
			2d (Kopieren OXOX)	I__I	(1)
Summe	I__II__I	(37)	Summe	I__II__I	(37)

<b>2.) Konstruktion</b>	Punkte	MAX	<b>3.) Kombinatorik</b>	Punkte	MAX.
-------------------------	--------	-----	-------------------------	--------	------

III A (Kopieren)	I_I	(1)	IV A (Gemeinsamkeiten)	I_I	(8)
B (Kopieren)	I_I	(1)	B (Denken)	I_I	(3)
C (Kopieren)	I_I	(1)	C (Unterschiede)	I_I	(3)
D (Kopieren)	I_I	(1)	D (Gemeinsamkeiten)	I_I	(8)
E (Kopieren)	I_I	(1)	E (Un-/Gleichheit)	I_II_I	(16)
F (Name)	I_I	(1)	V B1 (kompletter Satz)	I_I	(1)
Summe	I_I	(6)	Summe	I_II_I	(39)

<b>4.) Gedächtnis</b>	Punkte	MAX	<b>5.) Totalscore</b>	Punkte	MAX.
VI A2 (Junge, braun, Hund)	I_I	(4)	Aufmerksamkeit und	I_II_I	(37)
VI B2 (Mann, Auto)	I_I	(3)	Konzentration	I_II_I	(37)
V C (Orientierung)	I_I	(9)	Konstruktion	I_I	(6)
VI E2 (Wortpaare)	I_I	(5)	Kombinatorik	I_II_I	(39)
VI F2 (Zeichng. erkennen)	I_I	(4)	Gedächtnis	I_II_I	(25)
Summe	I_II_I	(25)	Summe	I_II_II_I	(144)

## 8.6 Ziffernspannen

Länge	Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene – Revision		Adaptive Digit Ordering Test
	Vorwärts	Rückwärts	Sortiert
<b>2</b>	3 – 1	2 – 4	4 – 8
	2 – 9	5 – 8	9 – 7
<b>3</b>	5 – 8 – 2	6 – 2 – 9	3 – 7 – 2
	6 – 9 – 4	4 – 1 – 5	6 – 1 – 6
<b>4</b>	6 – 4 – 3 – 9	3 – 2 – 7 – 9	8 – 4 – 7 – 3
	7 – 2 – 8 – 6	4 – 9 – 6 – 8	7 – 2 – 7 – 6
<b>5</b>	4 – 2 – 7 – 3 – 1	1 – 5 – 2 – 8 – 6	2 – 6 – 5 – 3 – 1
	7 – 5 – 8 – 3 – 6	6 – 1 – 8 – 4 – 3	5 – 1 – 8 – 5 – 2

<b>6</b>	6-1-9-4-7-3 3-9-2-4-8-7	5-3-9-4-1-8 7-2-4-8-5-6	4-8-3-9-2-7 3-1-3-7-2-5
<b>7</b>	5-9-1-7-4-2-8 4-1-7-9-3-8-6	8-1-2-9-3-6-5 4-7-3-9-1-2-8	7-4-3-1-8-2-6 9-6-5-2-8-6-3
<b>8</b>	5-8-1-9-2-6-4-7 3-8-2-9-5-1-7-4	9-4-3-7-6-2-5-8 7-2-8-1-9-6-5-3	3-7-6-1-8-2-5- 9 2-6-3-2-1-8-7- 5
<b>9</b>	2-7-5-8-6-2-5-8 -4 7-1-3-9-4-2-5-6 -8		

## 8.7 Ergebnisse Ergänzung

Tabelle 7: Hauptkomponentenanalyse vollständige rotierte Faktorenmatrix

	<b>Faktor 1</b>	<b>Faktor 2</b>	<b>Faktor 3</b>
Erklärte Varianz	46,43%	15,14%	10,11%
visuell-räumliche Spanne vorwärts	0,667	0,404	0,065
visuell-räumliche Spanne rückwärts	0,617	0,600	-0,095
visuell-räumliche Spanne sortiert	0,272	0,813	0,150
Ziffernspanne vorwärts	0,169	0,081	0,885
Ziffernspanne rückwärts	0,173	0,260	0,811
Ziffernspanne sortiert	0,111	0,775	0,363
5-Punkte-Test Produktivität	0,715	0,235	0,244
5-Punkte-Test Strategie	0,785	0,023	0,240

## 9 Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Karsten Witt für die Überlassung des Themas und für die nette, kompetente und ausdauernde Betreuung.

Weiterhin möchte ich sehr meinem zweiten Betreuer Marc Andre Schulz von der RWTH Aachen danken für die Bereitstellung seiner Methodik der Musteranalyse und für die zahlreichen Treffen und Telefonate mit der Beantwortung von Fragen, Beratungen, Diskussionen und Verbesserungshinweisen.

Ein großer Dank gilt auch der Klinik für Neurologie und ihrer Direktorin Prof. Dr. Daniela Berg ohne deren Mittel die Forschung nicht möglich wäre. Besonders danken möchte ich Dr. Nele Schmidt und Dr. Bettina Möller aus der klinischen Neuropsychologie für die Möglichkeit Literatur einzusehen, der Beratung bezüglich der Testverfahren und dem Lesen von Teilen der Arbeit.

Für den kollegialen und netten fachlichen Austausch danke ich einem weiteren Promovenden meines Doktorvaters Sebastian Baier, der ein verwandtes Forschungsthema bearbeitet hat. Natürlich danke ich auch sehr allen Probanden, die sich freiwillig für die Studie zur Verfügung gestellt haben.

Nicht genug danken kann ich meiner Familie - insbesondere meinen Eltern - für das Ermöglichen meiner Ausbildung und die moralische Unterstützung.

Ganz besonderer Dank gilt natürlich auch meiner Frau Kim Laura Timmermann für das Korrekturlesen und die immer liebevolle Unterstützung.