

**Differentielles kognitives Altern von Aspekten des  
verbalen episodischen Gedächtnisses und der  
Aufmerksamkeit**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde  
der Psychologischen Fakultät der  
Universität zu Basel

vorgelegt von

Marlon Pflüger  
aus Rheinfelden

WS 04/05

Ich möchte mich bei all jenen herzlichst bedanken, die mir in so vielen Stunden ihren Rat, ihre Unterstützung und ihre Förderung haben zuteil werden lassen, aber auch ihre berechnigte Kritik und Verbesserungsvorschläge. In alphabetischer Reihenfolge sind dies

Prof. Dr. Manfred Berres (methodischer Berater – Projekt BASEL)

Prof. Dr. Andreas U. Monsch (Leiter Memory Clinic)

Prof. Dr. Klaus Opwis (Universität Basel)

Dr. Peter Zimmermann (Vater der TAP – Universität Freiburg i. Brg.)

Außerdem möchte ich in besonderem Maße Danken: Dr. Zdenka Chamachova, Dr. Chantal Aebi, Stefan Bläsi, Antoinette Zehnder und allen weiteren Mitarbeiter des Projekt BASEL. Mein herzlicher Dank gilt außerdem allen Probanden, die in so vielen Stunden und über Jahre hinweg ihre Geduld und ihr nicht nachlassendes Interesse dem Projekt entgegenbrachten und entgegenbringen.

Darüber hinaus möchte ich Diana Lang für Ihren besonderen Langmut und Ihrer Toleranz mir gegenüber danken („Ich weiß, es war für Dich nicht immer leicht“). Mein Dank gilt auch meinen Eltern, die immer an mich geglaubt und mich gefördert haben.

Mein Dank gilt gleichermaßen und ungemindert auch den vielen Ungenannten, die durch Rücksichtnahme, Geduld und gute Absichten ihren Beitrag zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

## Zusammenfassung

Die Aufmerksamkeit und das episodische Gedächtnis sind fundamentale funktionelle Systeme der Hirnleistungsfähigkeit. Häufig sind ihre Funktionen nach Hirnverletzung oder infolge progredienter Syndrome beeinträchtigt.

Die neuropsychologische Untersuchung von Aufmerksamkeitskomponenten und episodischem Gedächtnis ist für die klinische Diagnose und die Beurteilung von Hirnleistungsveränderungen im Alter von großer Bedeutung. Eine Vielzahl dieser Komponenten erweisen sich jedoch nicht nur als abhängig vom Alterungsprozess, sondern auch von der formalen Ausbildungsdauer und dem Geschlecht der untersuchten Personen, so dass eine klinische Beurteilung ohne Berücksichtigung dieser demographischen Merkmale nur sehr schwer und meist mit geringer Reliabilität gelingen kann.

Ziel dieser Arbeit ist die Darstellung differentiellen kognitiven Alterns und Erstellung von Normen auf Grundlage einer Stichprobe gesunder und demenzfreier älterer Personen für Testparameter des *California Verbal Learning Test (CVLT)* und der *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP)*, sowie der *Testbatterie für Aufmerksamkeitssysteme (TAS)*.

Die Normierung erfolgt unter besonderer Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und Ausbildungsdauer. Darüber hinaus wird eine neu entwickelte Methode zur Korrektur der häufig beobachteten altersbezogenen Varianzerweiterung vorgestellt.

Alle betrachteten Parameter des verbalen episodischen Gedächtnisses und der ausgewählten Aspekte der Aufmerksamkeit zeigen deutliche Interdependenzen mit den demographischen Merkmalen. Der Einfluss des Alterns ist erstaunlich gleichförmig, jedoch sind Unterschiede hinsichtlich der Beschleunigung der Altersgradienten festzustellen. Wenn Geschlechtseffekte beobachtbar sind, dann ist dies mit einem verminderten Einfluss des Alters bei den Frauen assoziiert. Geschlechtseffekte treten jedoch hauptsächlich bei Parametern des verbalen episodischen Gedächtnisses auf, während die meisten Aspekte der Aufmerksamkeit frei davon bleiben. Die Effekte der formalen Ausbildungsdauer sind ihrem Betrag nach die geringsten. Zugleich ist eine beträchtliche Variation ihres Einflusses über die betrachteten kognitiven Parameter beobachtbar. Eine Vielzahl Hochbetagter sind sehr leistungsfähig, andere zeigen jedoch deutliche Leistungsverminderungen, so dass die Varianz der Rohdaten in vielen Fällen mit dem Alter zunimmt. Häufig kann die altersbezogene Varianzerweiterung jedoch durch die Elimination der demographischen Einflüsse aufgehoben werden. Wo dies nicht der Fall ist, wird eine explizite Korrektur der altersbezogenen Varianzerweiterung durchgeführt. Eine genaue Analyse des Phänomens zeigt jedoch, dass dem unterschiedliche Datenstrukturen zugrunde liegen. Die zentralen und dispersiven Merkmale der jeweiligen kognitiven Parameter, werden schließlich unter dem Gesichtspunkt des intraindividuellen und interindividuellen differentiellen Alterns diskutiert.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Experimentelle Neuropsychologie der Aufmerksamkeit</b>	1
Informationstheorie als Grundlage für Aufmerksamkeitsmodelle	2
Früher vs. später Filter	3
Automatisiert-parallele vs. seriell-kontrollierte Informationsverarbeitung	4
Visuelle Aufmerksamkeit und die Spot-Light Metapher	7
<i>Räumliche Hinweisgebung und verdeckte Aufmerksamkeitsverschiebung</i>	8
<i>Objektwahrnehmung und selektive Aufmerksamkeit</i>	9
<i>Visuelle Aufmerksamkeit: Objekt- oder Raumzentriert</i>	11
Geteilte Aufmerksamkeit	13
Daueraufmerksamkeit und Vigilanz	15
Taxonomie der Aufmerksamkeitsprozesse	18
Aufmerksamkeit und funktionelle Neuroanatomie	19
<i>ARAS und die Aufmerksamkeitsintensität</i>	20
<i>Multiple Netzwerke und die Aufmerksamkeitsselektivität</i>	22
<b>Experimentelle Neuropsychologie des Gedächtnisses</b>	26
Die Taxonomie der Gedächtnissysteme	27
Das episodische Gedächtnis	29
Serielle Positioneffekte bei freiem Abruf einer Wortliste	31
Die »Levels of Process« Theorie	32
KZG als kapazitätsbegrenzttes Arbeitsgedächtnis	33
Das »Working Memory« Modell von Alan Baddeley	34
Subjektive Organisation und Enkodierung	36
Die Gedächtnisleistung auf Grundlage von Wortlisten	38
<i>Wiedererkennen</i>	38
<i>Freier Abruf</i>	39
Lernen, Gedächtnis und funktionelle Neuroanatomie	42
<i>Unimodale vs. transmodale Gedächtnissysteme des Gehirns</i>	43
<i>Der hippocampale-entorhinale Komplex und das episodische Gedächtnis</i>	44
<i>Der frontale Kortex und das Arbeitsgedächtnis</i>	46
<i>Der Abruf von Gedächtnisinhalten – Interaktion zwischen frontalem Kortex und Hippokampus</i>	48

Interaktion zwischen Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozessen	49
<b>Differentielles Altern von Aspekten des verbalen episodischen Gedächtnis und der Aufmerksamkeit</b>	52
Einleitung	53
Entwicklungspsychologie der Lebensspanne und das differentielles Altern	57
Erfolgreiches kognitives Altern	58
»Pathologisches Altern«	62
Normales kognitives Altern von Gedächtnisprozessen	66
Normales kognitives Altern von Aufmerksamkeitsprozessen	67
Probleme im Zusammenhang mit Aufmerksamkeitsdefiziten und Gedächtnisschwierigkeiten	68
Diagnostische Relevanz von Aufmerksamkeitsdefiziten bei der Früherkennung der Alzheimerkrankheit	70
Ein Fazit mit Implikationen für die Diagnostik von Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsprozessen	74
<i>Normales kognitives Altern und der Altersgradient</i>	74
<i>Normales kognitives Altern und die Varianzerweiterung</i>	75
<i>Geschlecht und Ausbildung als wichtige Einflussfaktoren für neuropsychologische Testleistungen</i>	79
Anforderungen an die neuropsychologische Diagnostik von Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozessen	80
Kognitives Altern in CVLT und TAP/TAS	82
<b>Methoden und Testpersonen</b>	85
Normierung des California Verbal Learning Test (CVLT) und der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP)	86
<i>California Verbal Learning Test (CVLT)</i>	86
<i>Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP)</i>	89
Die Normstichprobe – Das Projekt BASEL	93
Die Normierungsmethodik	99
<i>Box: Variablen- Transformation</i>	103
Der Altersgradient und die Beschreibung des querschnittlichen Alterns	105

<b>Resultate</b>	108
Stichprobe (Normstichprobe)	109
Fehl- und Extremwerte	111
Rechenalgorithmus zur Entwicklung von z-Werten	113
Deskription der Testvariablen	116
<i>RZ-Median, FEHLREAKTIONEN und AUSLASSUNGEN-     Rohwertverteilungen der TAP/TAS</i>	116
<i>T1_T5, LDFR, SAVINGS, DISKRIMINABILITÄT und FR-INTRUSIONEN –     Rohwertverteilungen von CVLT</i>	117
Differentielles Altern der ausgewählten TAS/TAP und CVLT Variablen	119
Reaktionswechsel – RZ und Fehlreaktionen	119
<i>Deskription der RZ</i>	119
<i>Deskription der Fehlreaktionen</i>	122
<i>Deskription des Speed-Accuracy Trade-Off</i>	125
<i>Analyse des strategischen Testverhaltens</i>	125
<i>Der Einfluss des Alters auf vorsichtiges oder risikoreiches Testverhalten</i>	128
<i>Die Abwesenheit eines Ausbildungseffektes auf vorsichtiges bzw.     risikoreiches Testverhalten</i>	130
<i>Analyse der Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung des strategischen     Testverhaltens</i>	132
<i>Analyse der kombinierten Leistungsfähigkeit</i>	132
<i>Der Einfluss des Alters auf die Leistungsfähigkeit der Flexibilität</i>	134
<i>Einfluss der Ausbildungsdauer auf die Leistungsfähigkeit der Flexibilität</i>	136
<i>Differentielles Altern der Flexibilität</i>	138
Geteilte Aufmerksamkeit – Auslassungen	142
<i>Deskription der Auslassungen</i>	142
<i>Differentielles Altern der Geteilten Aufmerksamkeit</i>	145
TAS- Auslassungen	148
<i>Deskription der Auslassungen</i>	148
<i>Differentielles Altern der Daueraufmerksamkeit</i>	152
Abrufmaße im CVLT	156
<i>Deskription der Gesamtanzahl abgerufener Wörter über fünf     Listendurchgänge (T1_T5)</i>	156

<i>Deskription des Langfristig Verzögerten und Freien Abrufs (Long Delay Free Recall, LDFR)</i>	160
<i>Deskription der Relativen Behaltensleistung (SAVINGS)</i>	164
<i>Differentielles Altern der Enkodierung und des Abrufs episodischer Gedächtnisinhalte</i>	168
Wiedererkennensmaße des CVLT – Diskriminabilität	174
<i>Deskription der Diskriminabilität</i>	174
<i>Differentielles Altern der Diskriminabilität</i>	178
Abruffehler im CVLT – Anzahl der Intrusionen im Zuge des freien Abrufs	181
<i>Deskription der Intrusionen</i>	181
<i>Differentielles Altern von Abruffehlern (Intrusionen)</i>	184
<b>Diskussion</b>	187
Intraindividuelles und interindividuelles differentielles Altern	188
<i>Der intraindividuelle Aspekt differentiellen Alterns</i>	189
<i>Der interindividuelle Aspekt differentiellen Alterns</i>	196
Normen als altersfaire Deduktionen	200
Grenzen und Einschränkungen der Resultate	203
<i>Grenzen durch die verwendeten Tests</i>	203
<i>Grenzen durch das Studiendesign</i>	204
<i>Grenzen durch die Stichprobenwahl</i>	205
Ausblick	207
<b>Anhang A – Varianzerweiterung</b>	211
<i>Kontrolle der Varianzerweiterung in den TAP/TAS Variablen</i>	212
<i>Kontrolle der Varianzerweiterung in den CVLT Variablen</i>	215
<i>Varianzerweiterung im Querschnitt der Diskriminabilität und der Anzahl von Intrusionen</i>	218
<b>Anhang B – Heuristik zur Beurteilung der beschleunigten Entwicklung der Leistungsverringerung</b>	223
<b>Anhang C – Formeln zur Berechnung von z-Werten (Normen)</b>	226
<b>Anhang D – Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b>	232
<b>Anhang E – CVLT – Testblätter</b>	239
<b>Anhang F – Literatur</b>	245

## **Experimentelle Neuropsychologie der Aufmerksamkeit**

## Informationstheorie als Grundlage für Aufmerksamkeitsmodelle

Mit der Veröffentlichung eines Zeitschriftenbeitrags mit dem Titel »A Mathematical Theory of Communication« legt C. E. Shannon 1948 das Fundament für einen Paradigmenwechsel in der experimentellen Psychologie, der Jahre später als Informationsverarbeitungsansatz bekannt werden sollte.

Die Informationstheorie betrachtet ausschließlich den technischen Aspekt der Informationsübertragungsgüte und formalisiert dabei den Terminus Information als die Gesamtzahl möglicher Botschaften aus einem sog. »Message-Set«.

Kommunikation benötigt demnach eine Quelle (engl. Source) und wird mittels Transmitter über einen Kanal (engl. Channel) mit begrenzter Kapazität zum Empfänger geleitet. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Annahme, dass Information während der Transmission über den Kanal durch Rauschen verzerrt wird, wodurch es zu Äquivokationen aufseiten des Empfängers kommt.

Weitere wichtige Formalisierungen erfahren die Termini Entropie und Redundanz.

Entropie bezeichnet den Informationsgehalt einer Nachricht, d.h. die geringste Anzahl von Bits, die notwendig ist, um alle Bedeutungen einer Nachricht abzubilden. Mit Redundanz ist hingegen ein Maß der Auftretenswahrscheinlichkeit einer spezifischen Informationseinheit im Kontext der Gesamtbotschaft gemeint. So ist es beispielsweise ein Leichtes die Buchstaben in dem Satz »I...h fahre mi... der Straß...nba...n.« nur aus dem Kontext des Satzes vorherzusagen.

1958 schließlich stellt D. E. Broadbent auf der Basis empirischer Befunde sog. »Dichotic Listening« Experimente (Cherry, 1958) die Filtertheorie des menschlichen Informationsverarbeitungssystems vor und folgt damit den theoretischen Grundlagen, die C. E. Shannon einige Jahre zuvor für die Informationstheorie reklamiert hat.

Die Beobachtung, wonach Probanden nur wenige und ausschließliche physikalische Eigenschaften einer unbeschatteten (engl. un-shadowed) Nachricht über Kopfhörer wiederzugeben in der Lage sind, bewägt ihn zur Schlussfolgerung, dass das menschliche Informationsvermögen – ähnlich der Funktion eines Flaschenhalses - durch einen Kanal mit endlicher Kapazität begrenzt wird. Somit ist Aufmerksamkeit als selektiver und durch Informationsbegrenzung charakterisierter Prozess definiert.

Obgleich mancher offensichtlicher Schwächen des Broadbent'schen Modells können gleichwohl mehrere fundamentale Beiträge für die weitere Entwicklung psychologischer Theorienbildung festgehalten werden:

Mit Formulierung der Filtertheorie erfolgt die Übernahme des Informationsverarbeitungsansatzes in die Psychologie.

Es werden in ihr mentalistische Phänomene konzeptualisiert (»kognitive Wende«)

Es bürgert sich ein, kognitive Konzepte mittels Flussdiagrammen darzustellen. (O'Donnell, & Cohen, 1993)

### **Früher vs. später Filter**

Infolge des durch Broadbent ausgelösten Paradigmenwechsels setzt bald darauf eine Debatte darüber ein, wo genau eigentlich der Filter (bzw. der Kanal) innerhalb des menschlichen Informationsverarbeitungssystems zu lokalisieren sei.

Broadbent selbst nimmt zunächst aufgrund der Befundlage durch die »Dichotic Listening« Experimente an, dass dieser Filter dem sog. Kurzzeitspeicher (engl. Short Term Store) nachrangig positioniert ist und somit sämtliche Sinnesinformation parallel verarbeitet und vollständig gespeichert wird bevor auf der Basis physikalischer Eigenschaften dieser Informationen eine Auswahl jener Anteile erfolgt, die einer weiteren nun aber seriellen Verarbeitung innerhalb des Informationsverarbeitungssystems zugeführt wird.

Erst durch diese spätere Verarbeitung können nun die ausgewählten Informationsanteile mit Bedeutung versehen und somit handlungsrelevant werden.

Dem entgegen machen Treisman (1960) und Moray (1959) darauf aufmerksam, dass sehr wohl eine Informationsauswahl auf semantischer Grundlage beobachtet werden könne und schlagen demzufolge eine Spät-Filterung vor. Deutsch & Deutsch (1963) wenden ein, dass die Auswahl durch die Relevanz der betreffenden Information definiert ist und schließlich formuliert Treisman (1964) ein modifiziertes Modell, das vom Alles-Oder-Nichts Charakter des Flaschenhalses absieht und lediglich von einer abgeschwächten Verarbeitung (engl. attenuation) unbeschatteter Nachrichten ausgeht.

Auch Broadbent (1971) beginnt Modifikationen am Filtermodell vorzunehmen. So unterscheidet er nun neben der Filterung auf Basis physikalischer Reizeigenschaften, die früh in menschlichen Informationsverarbeitungssystem erfolgt, eine Differenzierung der eingegangenen Informationen nach multiplen sensorischen Attributen in Reaktionskategorien (»Pigeonholing«). Ein Prozess, der den beobachteten semantischen Kontexteffekten gerecht werden soll. Zunehmend wird aber offensichtlich, dass das »Dichotic Listening« Paradigma zu viele Schwächen aufweist, um eine substantielle Weiterentwicklung der Konzeption selektiver Auswahlprozesse voranzutreiben. So ist es beispielsweise nicht auszuschließen, dass aufgrund von Redundanzen des beschatteten Informationskanals ein vorübergehender Aufmerksamkeitswechsel vollzogen werden kann, in dessen Folge Informationsanteile des unbeschatteten Kanals einer tieferen semantischen Verarbeitung zugeführt und später berichtet werden können.

Zweistufige Konzeptionen, wonach alle Signale verarbeitet werden müssen, damit eines davon ausgewählt werden kann, wie es das Treisman-Modell impliziert, entbehren letztlich nicht eines inneren Widerspruchs. Dies hat unter anderem dazu beigetragen, dass zuweilen eine Theoriebildung verfolgt wird, die entweder ganz auf einen Filter mit Flaschenhalseigenschaften verzichtet – wie Neisser's Schematheorie (1976) – oder aber Quasifiltermechanismen inkorporiert, die über ein beträchtliches Ausmaß an Flexibilität verfügen.

### **Automatisiert-parallele vs. seriell-kontrollierte Informationsverarbeitung**

Indem Shiffrin und Schneider (1977) ein Modell vorschlugen, das im Kern automatisierte und parallele Informationsverarbeitungsprozesse einerseits und seriell-kontrollierte Prozesse andererseits annimmt, tragen sie jenem letztgenannten Modelltyp Rechnung.

Empirische Beobachtungen auf Basis der sog. »Target Detection Task« (siehe Abb. 1) lassen folgende Befundlage erkennen:

Hinsichtlich der sog. »consistent mapping« Bedingung sind gegenüber der »varied mapping« Bedingung überlegene Reaktionszeiten festzustellen, die weder von der Größe des Stimulus-Set noch von der Größe des Memory-Set abhängig sind.

Reaktionszeiten auf Grundlage der »varied mapping« Bedingung korrelieren sowohl mit der Größe des Stimulus-Set als auch mit der des Memory-Set.

Infolge von Übungseffekten verbessern sich die Performanz und die Reaktionszeiten. Dies ist jedoch nur unter der »consistent mapping« Bedingungen feststellbar. Werden jedoch Distraktor- und Target-Set ausgetauscht, können Interferenzen beobachtet werden – ähnlich dem Stroop-Effekt.

Shiffrin und Schneider (1977) folgern aus diesen Ergebnissen, dass sich unter der »consistent mapping« Bedingung eine Automatisierung der Informationsverarbeitung einstellt, während die »varied mapping« Bedingung, eine seriell kontrollierte – und damit aufmerksamkeitspflichtige – Bewältigung der Aufgabe notwendig macht (siehe Tab. 1). Das auf der Grundlage dieser Befunde entwickelte strukturalistische Zwei-Prozess Modell verzichtet auf einen strengen Filteransatz. Die Kapazitätsbegrenzung der Informationsverarbeitung ist ein inhärenter Bestandteil des Kurzzeitspeichers (engl. short term store), und die Selektivität eine Funktion der seriell-kontrollierten Informationsverarbeitung, die mittels eines sog. Attention Director geleistet wird.

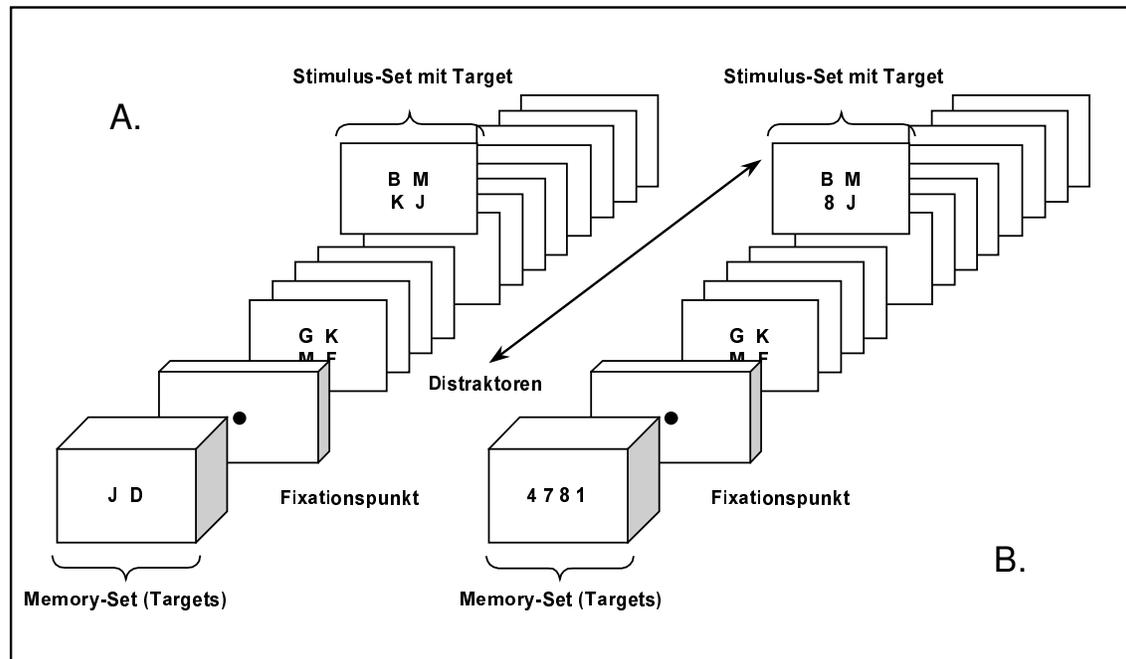
Das Modell erlaubt nicht nur eine erstaunlich genaue Vorhersage darüber zu treffen, welche Klassen von Aufgaben automatisierbar sind und welche nicht, darüber hinaus erklärt es Aufmerksamkeitsprobleme, die auch klinisch von Relevanz sind.

Zu einem *Defizit der fokussierten Aufmerksamkeit* kommt es demnach dann, wenn eine Interferenz zwischen einer parallel-automatisierten und einer seriell-kontrolliert verlaufenden Informationsverarbeitung vorliegt. Das Auftreten einer solchen Interferenz ist vor allem dann sehr wahrscheinlich, wenn auf eine neue Situation, die durch flexible Handlungserfordernissen gekennzeichnet ist, zwar mit bewährten, aber inadäquaten Handlungsmustern reagiert wird.

*Tabelle 1 - Automatisierte und kontrollierte Informationsverarbeitungsprozesse (O'Donnell, B. F., & Cohen, R. A., 1993)*

Charakteristik	Automatisierter Prozess	Kontrollierter Prozess
Zentrale Kapazität	nicht nötig	benötigt
Kontrolle	nicht vollständig	vollständig
Integration	holistisch	fragmentarisch
Übung	Verbesserung	minimaler Effekt
Modifikation	schwierig	einfach
Seriell-Parallel	parallel	seriell
LTM-Speicher	wenig	große Mengen
Effizienz	hoch	gering
Bewusstseinspflichtigkeit	gering	hoch
Aufmerksamkeit	nicht benötigt	benötigt
Mühe/Anstrengung	wenig	groß

Dem entgegen tritt ein *Defizit der geteilte Aufmerksamkeit* aufgrund der beschränkten Kapazität des Systems für seriell-kontrollierte Prozesse (Attention Director) auf. Ein solches Problem ist meist dann anzunehmen, wenn der Informationsfluss zu hoch ist oder eine Vielzahl von Informationsquellen gleichzeitig beachtet werden müssen.



**Abbildung 1 – Die Target Detection Task (Shiffrin & Schneider, 1977).** Abgebildet sind die beiden Versuchsbedingungen »varied mapping« (A.) und »consistent mapping« (B.). Probanden sollen so schnell wie möglich entscheiden, ob innerhalb eines Stimulus-Set ein Target aus dem Memory-Set enthalten ist. Unter der »varied mapping« Bedingung überschneiden sich die Kategorien aus Targets und Distraktoren, während die Bedingung »consistent mapping« eine Trennung der Kategorien beinhaltet. Antworten erfolgen mittels Tastendruck.

Eine Beziehung zwischen Aufmerksamkeitsprozessen und dem Kurzzeitspeicher bzw. Arbeitsgedächtnis (engl. Working Memory) stellen auch andere Autoren her. So zunächst einmal in Baddeley und Hitch's (1974) Konzept des Working Memory, worin ein Central Executive Mechanismus angenommen wird, dessen besondere Bedeutung im Kontext von Planungs- und Entscheidungsprozessen, bei der Auflösung von Konflikten zwischen automatisiertem und kontrolliertem Verhalten, dem Erwerb neuer Handlungssequenzen usw. zum tragen kommt. In der Schematheorie von Shallice (1982) wird eine Supervisions-Aufmerksamkeits-Kontrollinstanz (engl. *Supervisory Attentional Control*) angenommen, die auf der Basis von im Arbeitsgedächtnis aktiven Strategien konkurrierende kognitive Handlungsschema auswählen soll, in vergleichbarer Weise mit Baddeley's Central Executive, aber auch Shiffrin und Schneiders Attention Director. Eine zweite Möglichkeit Konflikte zwischen konkurrierenden Handlungsschemata aufzulösen steht mit dem Mechanismus des sog. *Contention Scheduling* zur Verfügung. Handlungsrelevante Schemata werden über festgelegte Prioritäten und den jeweiligen Handlungskontext selektiert. Hierbei wird angenommen, dass zwischen verschiedentlich

aktiven Schemata eine wechselseitige laterale Hemmung ausgeübt und somit deren Erregbarkeit beeinflusst wird.

Damit verfügt das Modell von Shallice über Mechanismen, die Interferenzen zwischen automatisiertem und kontrolliertem Verhalten nicht nur beschreiben sondern auch aufzulösen vermögen. Mit der Formulierung als einer kognitiven Schematheorie gewinnt das Modell ökologische Validität und trägt damit den Erfordernissen geplanten und zielgerichtetes Verhalten zu erklären besser Rechnung, als es in den Möglichkeiten des strukturalistischen Modells von Shiffrin und Schneider liegt.

### **Visuelle Aufmerksamkeit und die Spot-Light Metapher**

Im Kontext der visuellen Informationsverarbeitung hat sich die wohl fruchtbarste Forschung zur selektiven Aufmerksamkeit vollzogen. Häufig wird in diesem Zusammenhang auch Anleihe an der sog. Spotlight-Metapher genommen, wonach visuelle selektive Aufmerksamkeit als ein Scheinwerfer verstanden werden kann, der auf eine »mentale Theaterbühne« gerichtet ist (van Zomeren & Brouwer, 1994; Posner, 1980). Analog der Eigenschaften eines Scheinwerfers sind demzufolge nach den Eigenschaften der visuellen selektiven Aufmerksamkeit zu fragen. Wie bewegt sich der Scheinwerferstrahl über den visuellen Raum? Kann sich der Strahl aufteilen und gleichzeitig auf zwei oder mehrere Objekte bzw. Positionen im Raum richten? Lässt sich der Fokus vergrößern bzw. verjüngen?

Nur ein erstaunlich geringer Anteil der retinalen rezeptiven Oberfläche (Fovea) ist für die zentrale visuelle Wahrnehmung zuständig und erfährt damit die massivste neuronale Repräsentation im visuellen System des Gehirns. Während das periphere Gesichtsfeld 180-200° horizontal und 130° vertikal misst, umfasst das foveale Sehen nur einige wenige Grade des Seh winkels. Der Scheinwerferpegel ist somit sehr klein und muss permanent neu ausgerichtet werden, damit eine flexible und möglichst vollständige Erfassung des visuellen Raums möglich ist. Dieses kann durch die unabhängige Ausrichtung von Körper, Kopf und Augen (Okulomotorik) erreicht werden. Die Ausrichtung der visuellen Aufmerksamkeit ist aber nicht ausschließlich von der zentralen visuellen Wahrnehmung abhängig, wie prominente experimentelle Befunde zeigen.

Posner (1978, 1980) bzw. Posner, Snyder und Davidson (1980) erbringen den empirischen Nachweis, dass eine Verschiebung der visuellen selektiven Aufmerksamkeit selbst dann beobachtet werden kann, wenn die Augen von Probanden weiterhin auf einen Fixationspunkt ausgerichtet bleiben.

### *Räumliche Hinweisgebung und verdeckte Aufmerksamkeitsverschiebung*

In dem berühmt gewordenen »Spatial Cueing« Paradigma (räumliche Hinweisgebung) sind Probanden aufgefordert eine schnellst mögliche Antwort auf einen kurzen Reiz innerhalb des visuellen Feldes zu geben. Hierbei ist die Reizpräsentationsdauer so kurz gehalten, dass sakkadische Augenbewegungen nicht möglich sind. Jedem Zielreiz geht ein Hinweisreiz vorweg, der entweder valide, neutral (Kontrolle) oder invalide die räumliche Position des visuellen Reizes signalisiert. Eine weitere Besonderheit des räumlichen Hinweisreizes besteht darin, dass er entweder zentral im (Pfeil) oder peripher zum (eingegrenzte Fläche) Fixationspunkt dargeboten wird. Folgende Beobachtungen lassen sich auf der Grundlage dieser experimentellen Anordnung machen:

Reaktionszeiten infolge valider Hinweisreize sind den Reaktionszeiten nach neutralem oder invalidem Hinweisreiz überlegen. Die schlechtesten Reaktionszeiten werden für invalide Hinweisreize beobachtet.

Die Kosten für invalide Hinweisreize sind unter der Bedingung zentraler Hinweisgebung geringer, als unter der Bedingung peripherer Hinweise.

Die Schlussfolgerung aus dieser Befundlage mündet in ein Modell, dass von zwei Varianten der Aufmerksamkeitsorientierung ausgeht: ein exogenes System, das von einer willkürlichen Interpretation des Hinweisreizes abhängt und somit zu einer offenen Verschiebung (engl. overt orienting) des Aufmerksamkeitsfokus führt; und ein endogenes System, das die Aufmerksamkeit automatisch (unwillkürlich) und damit verdeckt (engl. covert orienting) verschiebt.

Offensichtlich ist aber der Effizienzgewinn infolge eines validen peripheren Hinweisreizes eine Funktion der sog. Stimulus-Onset Asynchronie (SOA), d.h. der Größe des Zeitintervalls zwischen peripherem Hinweisreiz und Zielreiz. Bei einer SOA > 300ms stellen sich statt der erwarteten Gewinne Reaktionszeitkosten ein (z.B. Posner & Cohen, 1984). Dieser Effekt ist unter dem Namen Inhibition of Return (IOR) bekannt. Vermutlich ist mit IOR ein Mechanismus entdeckt, der nicht unerheblich dazu beiträgt, dass die Suche in einem visuellen Feld mit einiger Effizienz verlaufen kann. IOR scheint eine Art Indizierung jener Anteile des visuellen Feldes vorzunehmen, die bereits einer Prüfung unterzogen wurden, so dass die wiederholte Fokussierung ein und derselben Stelle vermieden wird.

Hinsichtlich der Frage, ob sich der visuelle Aufmerksamkeitsfokus teilen lässt, ist die Befundlage uneindeutig. Mittels eines Experimentes demonstrieren Eriksen und Yeh (1985),

dass es nicht möglich ist, die visuelle Aufmerksamkeit auf mehr als eine Position auszurichten, dass aber eine Verschiebung des Aufmerksamkeitsfokus sehr schnell verläuft. Probanden müssen hierbei auf einen visuellen Zielreiz reagieren, der sich zusammen mit Distraktoren kreisförmig auf einem Display angeordnet befindet. Zuvor jedoch wird ein peripherer Hinweisreiz appliziert, der die Position des Zielreizes in einigen Durchgängen exakt definiert und in anderen Durchgängen der exakten Position genau gegenüber liegt. Gemessen an Kontrollen, die keinerlei Hinweise erhalten, sind unter räumlichen Hinweisbedingungen, unabhängig von dessen Genauigkeit jeweils Gewinne zu verbuchen. Darüber hinaus aber sind die Gewinne unter der Bedingung einer exakten Hinweisgebung immer denen der Hinweisgebung auf der gegenüberliegenden Seite überlegen, und zwar selbst dann, wenn die Wahrscheinlichkeit, das auf die exakte oder gegenüberliegende Position verwiesen wird, genau gleich groß ist. Jüngere Untersuchungen (Castiello & Umiltà, 1992) zeigen jedoch, dass Probanden den Aufmerksamkeitsfokus teilen und jeweils gleichzeitig zu manipulieren in der Lage sind, wenn Objekte in gegenüberliegenden Hemifeldern platziert werden.

Die Fokusbreite des Aufmerksamkeitsscheinwerfers kann offensichtlich willkürlich verändert werden, wie ein Experiment von LaBerg (1983) zeigt.

Diesem Untersuchungsansatz zufolge besteht kein messbarer Unterschied, wenn einerseits der zentrale Buchstabe eines fünf Buchstaben Wortes und wenn andererseits das gesamte Wort berichtet werden soll.

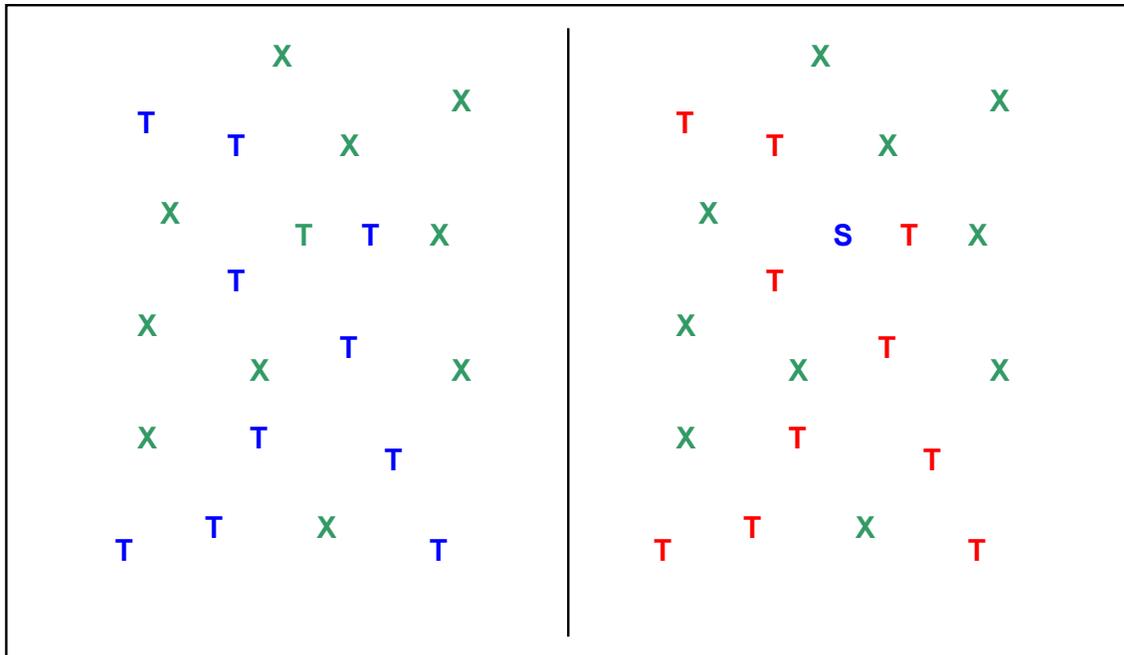
### *Objektwahrnehmung und selektive Aufmerksamkeit*

Die Scheinwerferanalogie lässt selektive Aufmerksamkeitsprozesse als ein Top-Down reguliertes System erscheinen, das geeignet ist die visuelle Umgebung seriell und kontrolliert abzutasten und Merkmale herauszufiltern. Dies ist jedoch nur hinsichtlich bestimmter visueller Reize notwendig, die ausschließlich auf der Grundlage gesonderter Merkmalskombinationen aus ihrem visuellen Kontext identifiziert werden können.

Ähnlich dem strukturalistischen Modell Shiffrin und Schneiders (1977), das automatisierte und parallel arbeitende Informationsverarbeitungsmechanismen annimmt, können auch hinsichtlich der visuellen Aufmerksamkeit selektive Prozesse beobachtet werden, die in gleicher Weise charakterisierbar sind.

Untersuchungen von Treisman und Gelade (1980) zeigen, dass das Auffinden von Elementen in einem Display, die ausschließlich auf der Basis von Merkmalsverbindungen identifiziert werden können, eine linear von der Anzahl der Displayelemente abhängige

Suchzeit benötigt, wohingegen die Suchzeit für ein Displayelement, das durch ein einziges Merkmal definiert ist, diese Abhängigkeit nicht zeigt – es springt sozusagen ins Auge (engl. pop-out).



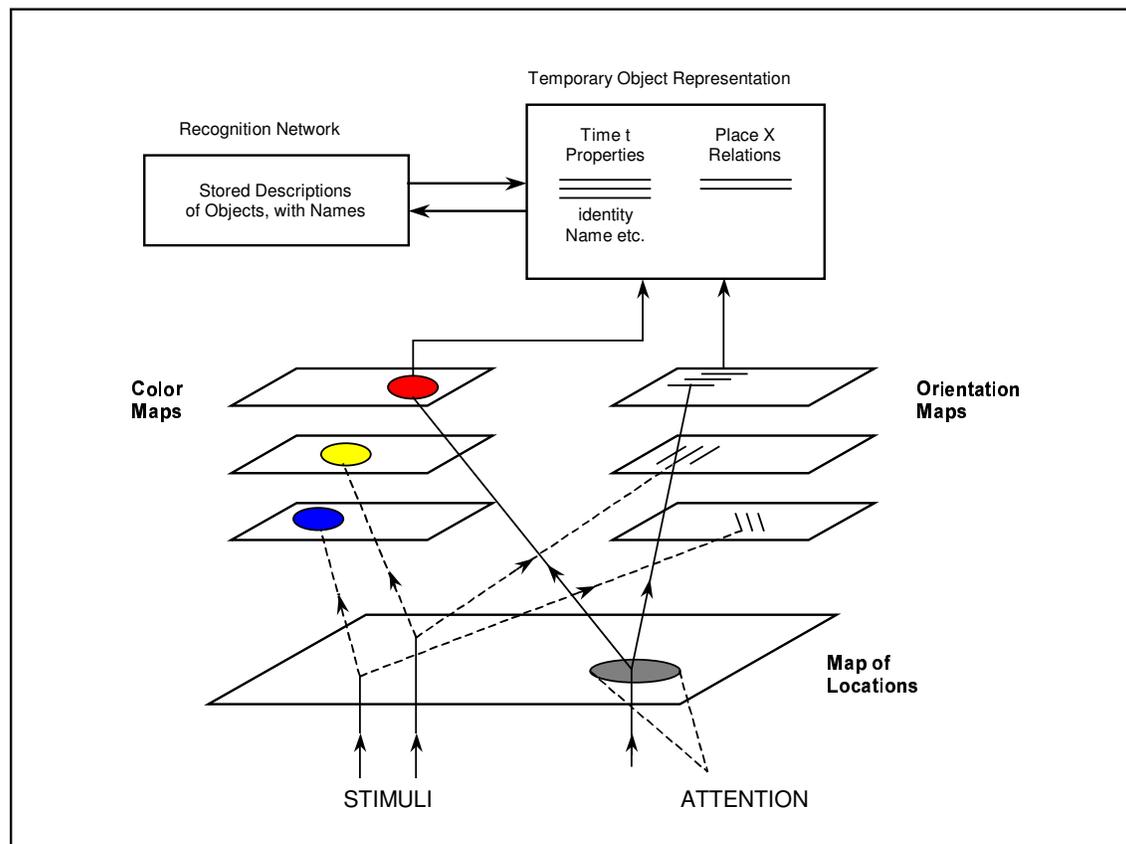
**Abbildung 2 – Das Paradigma von Treisman und Gelade (1980). Das Auffinden des grünen T's im linken Halbfeld nimmt eine Suchzeit in Anspruch, die proportional zur Anzahl der darin enthaltenen Elemente ist. Das Auffinden des blauen S im rechten Halbfeld gelingt hingegen mühelos. Das blaue S springt geradezu ins Auge.**

Auf Basis dieser Befunde formulieren Treisman und Gelade (1980; Treisman, 1988) die Feature-Integration Theory der Objektwahrnehmung, die in enger Verbindung mit der Gestaltpsychologie aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts steht. Im Kern beschreibt die Theorie Wahrnehmung im Kontext attentiver und präattentiver Informationsverarbeitungsprozesse. Zunächst einmal werden demzufolge isolierbare sensorische Merkmale, wie Farbe, Form, Tiefe und Bewegung präattentiv (d.h. ohne Aufmerksamkeitspflicht) und unabhängig voneinander durch sog. »Feature Maps« (Merkmalskarten) kodiert. Dieser Prozess verläuft parallel und automatisiert. Die Wahrnehmung komplexer Objekte, die eine aufmerksamspflichtige Integration mehrerer Merkmalsdimensionen erforderlich macht, kann auf dreifache Weise erfolgen:

Objekte werden, entsprechend dem verfügbaren Wissen aus dem Langzeitgedächtnis (LZG), auf der Basis einzelner Features erkannt, wenn sie in vorhergesagte sog. Object Frames (Objektrahmen) passen.

Merkmale werden durch eine sog. »Master Map of Locations« hinsichtlich ihrer jeweiligen Feature Maps referenziert. Hierdurch wird eine zeitweilige Repräsentation des Objekts in einem »Object File« erzeugt, das für einen Abgleich mit gespeichertem Material aus dem LZG zur Verfügung steht. Die Referenzierung ist unter dem Terminus »Binding« bekannt (siehe Abb. 3).

Merkmalsverbindungen können zuweilen unwillkürlich entstehen und zwar dann, wenn der visuellen Erfassung eines Objekts nicht die gebührende Aufmerksamkeit gezollt wird. Solche zufälligen Merkmalsverbindungen heißen »Illusory Conjunctions«.



**Abbildung 3 – Feature Integration Theory. Aufmerksamkeitspflichtiges Feature-Binding führt zur Objektwahrnehmung. Die Feature Maps werden präattentiv aktiviert. Die Integration zu einem Objekt wird durch die Aufmerksamkeit gesteuert.**

### *Visuelle Aufmerksamkeit: Objekt- oder Raumzentriert*

Infolge von schweren Hirnverletzungen kommt es häufig zu Vernachlässigungen in der zur Läsion kontralateral gelegenen Raumhälfte (in der Regel die linke) ohne dass aber eine Beeinträchtigung des visuellen Systems vorliegt. Dieses, in der klinischen Neuropsychologie unter dem Namen visueller Neglect bekannte Phänomen hat zu Diskussionen darüber

geführt, ob nun eigentlich der Raum oder die sich darin befindlichen Objekte vernachlässigt werden. Die Darbietung zweier Objekte in einem jeweiligen visuellen Hemifeld veranlasst Neglect-Patienten, die Aufmerksamkeit ausschließlich auf das ipsilateral zur Läsion gelegene Objekt auszurichten und das Objekt im kontralateralen Hemifeld zu vernachlässigen, obgleich bei isolierter Darbietung nur eines Objektes die Wahrnehmung gelingt. Die Vernachlässigung des im kontralateral zur Läsion gelegenen Objekts ist eine Extinktion, die Posner (1980) zur Auffassung bringt, dass Neglect-Patienten mit einer bestimmten Komponente der Aufmerksamkeitsausrichtung besondere Schwierigkeiten zu haben scheinen. Posner et al. (1984) entwerfen ein Konzept, das die Aufmerksamkeitsausrichtung als System beschreibt, das aus drei Komponenten besteht: zum einen aus dem Vermögen die Aufmerksamkeit einem visuellen Zielreiz anzuhafte (engl. engagement), zum andere aus der Fähigkeit die Aufmerksamkeit zu verschieben (engl. shift) und zuletzt aus Fähigkeit die Aufmerksamkeit von einem fokussierten Objekt wieder abzulösen (engl. disengagement). Während die ersten beiden Komponenten intakt sind, bestehen bei Neglect-Patienten vorzugsweise Probleme die Aufmerksamkeit an ein einmal angehaftetes Objekt wieder abzulösen. Die Objektzentrierung von Aufmerksamkeitsprozessen kann auch durch ein Experiment demonstriert werden, indem Neglect-Patienten die Identität komplexer geometrischer Muster beurteilen sollen (Driver & Halligan, 1991). Wenn sich solche Muster ausschließlich in einem subtilen Merkmal links der Objektachse unterscheiden gelingt die Beurteilung selbst dann nicht, wenn die Objektachse in die rechte Raumhälfte gekippt wird. Andererseits weisen Befunde von Bisiach und Luzzatti (1978) darauf hin, dass sich die Vernachlässigung einer Raumhälfte selbst auf kognitive Repräsentationen des Raums beziehen. Nach dem Mailänder Domplatz befragt, können Neglect-Patienten nur jene Gebäude beschreiben, die sich rechts ihres imaginativen Standpunktes befinden und dies, obgleich sie ihren Standpunkt im Sinne einer Spiegelung wechseln sollen.

## **Geteilte Aufmerksamkeit**

Die Erfordernisse des Alltags machen es vielfach notwendig zwei Aufgaben zugleich zu verrichten. Da ist zum einen die Mutter, deren »ganze« Aufmerksamkeit dem neugeborenen Säugling gilt, die aber dennoch nicht umhin kommt, andere notwendige Aufgaben zu verrichten. Oder der Autofahrer, dem es ein Leichtes zu sein scheint, das Fahrzeug durch dichtes Verkehrsgeschehen zu lenken und dabei eine Radiosendung zu verfolgen oder ein Gespräch zu führen. Es scheint beinahe, dass das Erfordernis die Aufmerksamkeit zu teilen eher die Regel denn die Ausnahme ist.

Die Fähigkeit die Aufmerksamkeit teilen zu können und die Notwendigkeit verschiedene Informationsquellen gleichzeitig zu berücksichtigen ist letztlich auch die Basis, auf der sich die wissenschaftliche Erforschung der menschlichen Informationsverarbeitungsfähigkeiten während des zweiten Weltkrieges entwickelt hat.

Flugzeugführer und Bodenpersonal hatten zu Zeiten hoher Verkehrsdichte eine enorme Informationsdichte zu bewältigen, woraus keine unerheblichen Gefährdungen und Schwierigkeiten erwuchsen. Hierdurch motiviert, begann sich die akademische Psychologie mehr und mehr für die Beschränkungen menschlicher Informationsverarbeitungsfähigkeiten zu interessieren.

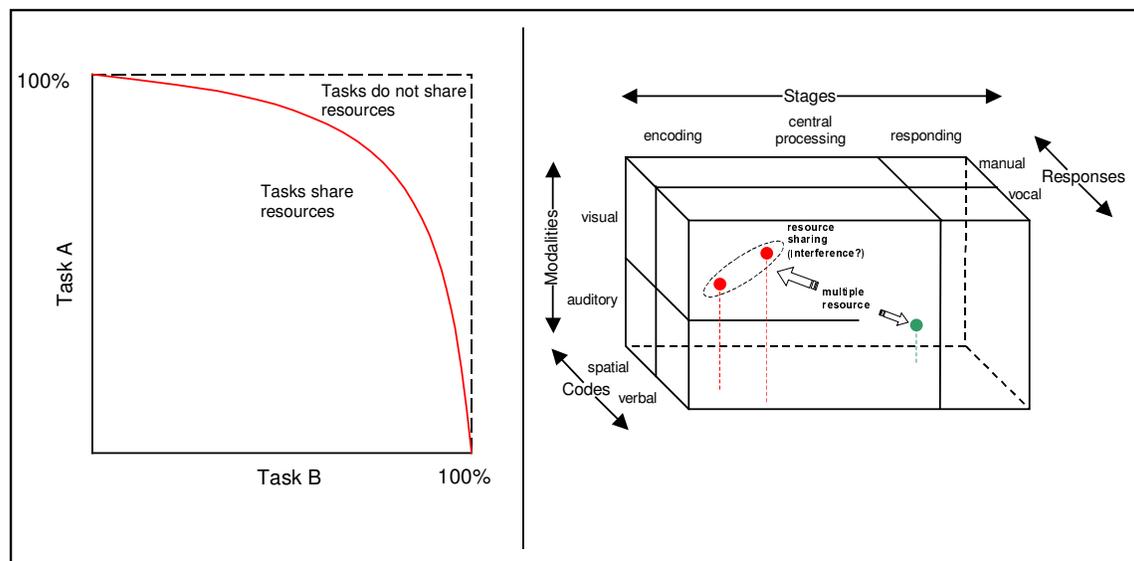
Bis zum aktuellen Zeitpunkt haben sich eine Vielzahl unterschiedlicher Konzeptionen und Theorien zur geteilten Aufmerksamkeit entwickelt, die mit Begriffen wie Time-Sharing, Ressourcen, Kapazität, Work-Loads oder Dual-Task assoziiert sind.

Das grundsätzliche Paradigma, mit dem die Fähigkeit zu geteilter Aufmerksamkeit untersucht wird, beinhaltet das gleichzeitige Bearbeiten zweier hinsichtlich mehr oder weniger vielen Dimensionen verschiedener Aufgaben (Dual-Task). Diese Dimensionen können sein: die beanspruchte Sinnesmodalität, die Komplexität, der Grad der Automatisierung und das Ausmaß inhärenter Redundanzen. Wenn die zugrundeliegenden Aufgaben nicht automatisiert sind und gemeinsame Ressourcen beanspruchen, wird die Bearbeitung der einen Aufgabe immer auf Kosten der anderen gehen und umgekehrt. Der Begriff Ressource meint dabei ein Konzept, das zuweilen mit Mühe/Anstrengung (engl. effort), mentaler Energie, Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit oder Arousal in Verbindung gebracht wird. Dieser Sachverhalt lässt sich durch die sog. Performance-Operating Characteristic (POC) abbilden (siehe Abb. 4). Somit ist es möglich, die Einschätzung der relativen Ressourcenanforderung seitens einer gegebenen Aufgabe vorzunehmen, wobei der Begriff Ressource in diesem Kontext die Gesamtmenge der verfügbaren Kapazität meint, die einer gegebenen Aufgabenperformanz zugeteilt ist (Wickens, 1984).

Beobachtung, wonach einige Aufgaben nahezu perfekt zusammen ausgeführt werden können, andere dagegen nicht, hat Wickens (1984) dazu veranlasst ein Multiples-Ressourcen Modell vorzuschlagen. Er unterscheidet vier entscheidende Dimensionen, den zufolge gemeinsame Ressourcen oder aber unterschiedliche Ressourcen-Pools zugemessen werden (siehe Abb. 4):

1. Sinnesmodalität (Visuell, Auditiv)
2. Enkodierung (Räumlich, Verbal)
3. Informationsverarbeitungsstufen (Enkodierung, zentrale Verarbeitung, Reaktion)
4. Antwort (Manuell, Verbal)

Dem Modell zufolge wird hinsichtlich der konkurrierenden Bearbeitung zweier Aufgaben dann auf einen gemeinsamen Ressourcen-Pool zugegriffen, wenn die jeweiligen Aufgaben in einem durch die vier Dimensionen aufgespannten funktionellen Raum nahe zusammen liegen. Andererseits nimmt die Wahrscheinlichkeit zu, das auf multiple Ressourcen-Pools zurückgegriffen wird und die jeweiligen Aufgaben verlustfrei zusammen bewältigt werden können.



**Abbildung 4 – Performance-Operating Characteristic (links). Die Performanz der Aufgaben A und B wird jeweils gegeneinander abgetragen. Die Form der Kurve hängt vom Ausmaß des gemeinsam genutzten Ressourcen-Pools ab. Wenn die Bearbeitung der Aufgaben keinerlei gemeinsame Ressourcen benötigt, bleibt das Leistungsniveau für beide Aufgaben identisch mit dem Leistungsniveau für die Bearbeitung jeweils einer Aufgabe.**

**Dimensionale Struktur menschlicher Prozessressourcen (rechts) nach einem Vorschlag von Wickens (1984). Aufgaben, die durch nahe beieinanderliegende Punkte repräsentiert sind, benötigen einen gemeinsamen Ressourcen-Pool, während Aufgaben mit großer Distanz im funktionellen Raum eher aus multiplen Pools gespeist werden und damit nahezu verlustfrei zusammen bewältigt werden können.**

Die Kombination konzeptueller Unschärfe des Ressourcenbegriffs und die außerordentliche Komplexität multipler Ressourcenmodelle findet eine Vielzahl von Kritiker und mündet schließlich in die Entwicklung alternativer Modellentwürfe.

Obgleich POC-Kurven eng mit Ressourcen-Theorien assoziiert sind, wird man bei näherer Betrachtung feststellen, dass sie eigentlich theorienunabhängig sind, motivationale Effekte finden innerhalb solcher Theorien keine hinreichende Berücksichtigung. Und selbst vor dem denkbar schlimmsten Vorwurf schrecken Kritiker nicht zurück, wonach die experimentellen Instruktionen ein erwünschtes Verhalten suggerieren sollen.

David Navon (1985) kommt daher zum Schluss, dass POC-Kurven weniger den Wettbewerb um begrenzte Ressourcen reflektieren, als vielmehr eine Interferenz zwischen den verschiedentlich durchgeführten Aufgaben. Von mehreren von Navon beschriebenen Interferenzmustern sind zwei davon der sog. »Cross-Talk« und die Schwierigkeit, die ein nonhabitualer Übergang zwischen Signal und Reaktion bereitet.

»Cross-Talk« meint dabei eine Interferenz auf Basis unterschiedlicher Signalquellen, ähnlich einer Konfusion, die durch die gleichzeitige Übermittlung zweier Botschaften am Telefon entstehen kann. Die Berücksichtigung multipler Signalinterpretationen und daraufhin erforderliche multiple Reaktionen interferieren dem entgegen mit Prozessen, die andererseits parallel und automatisiert aufgetreten wären und nun durch die Erfordernis nonhabitualer Übergänge beeinträchtigt werden.

Andere Theoretiker argumentieren gegen Annahme einer begrenzten Informationsverarbeitungskapazität. Spelke, Hirst und Neisser (1976) zeigen, dass selbst ungewöhnliche Aufgabenkombinationen erfolgreich bewältigt werden können. Wie das Lesen von Prosatexten und gleichzeitiges Schreiben nach Diktat, von denen eigentlich angenommen werden muss, dass sie einer starken Ressourcenbeschränkung unterliegen. Hieraus folgern die Autoren, dass die Schwierigkeiten im Zusammenhang mit Dual-Tasks vielmehr in Begriffen der Fertigkeit (engl. skill) diskutiert werden sollte, womit die Perspektive auf ein eher kulturabhängiges und durch Lernen und Entwicklung geprägtes konzeptuelles Gefüge gerichtet wird.

## **Daueraufmerksamkeit und Vigilanz**

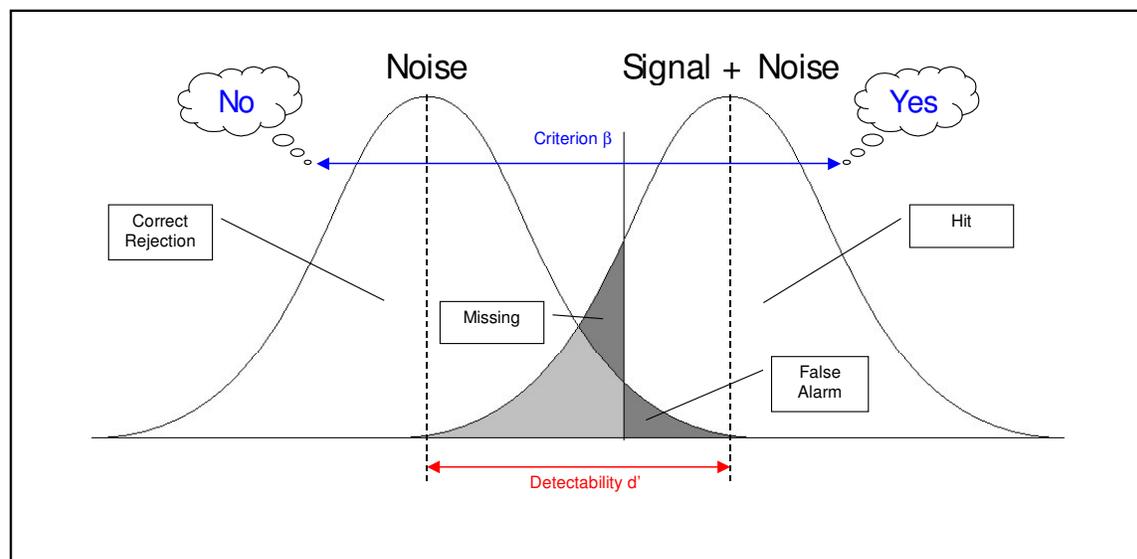
Für das Lernen ist es von grundsätzlicher Bedeutung, dass man sich auf Lernmaterial konzentrieren kann. Der Begriff der Konzentration wird im Alltag recht ambivalent gebraucht. So spricht man beispielsweise von mangelnder Konzentration, wenn ein Sportler nicht in der Lage ist die maximale Leistung abzurufen oder ein Schüler wider erwarten Fehler bei bestimmten Aufgaben macht.

In der kognitiven Psychologie werden längerfristige Aufmerksamkeitszuwendungen in der Regel mit den synonymen Begriffen »sustained attention« (andauernde Aufmerksamkeit) oder Vigilanz belegt, womit ein, durch die Dimensionen Intensität und Selektivität gekennzeichneter Informationsverarbeitungsprozess gemeint ist, der über eine längere Zeit hinsichtlich seltener und unvorhersagbarer Zielreize aufrechterhalten werden muss (Parasuraman, 1983).

Im Kontext der Vigilanzforschung sind zwei Phänomene von grundsätzlicher Bedeutung: das Vigilanzniveau (engl. level of vigilance), als globales Charakteristikum einer Daueraufmerksamkeitsaufgabe und das Vigilanzdekrement, als einem Verlaufsmerkmal, das durch eine zunehmende Fehlerrate (»lapses of attention«) gekennzeichnet ist.

Damit in enger Konnotation steht das Konzept des Arousals, das gleichermaßen durch zwei Komponenten definiert ist (Posner, & Boies, 1971):

Zum einen durch einen tonischen (langfristigen) Anteil, der mit dem globalen und somit Tageschwankungen unterworfenen Wachheitsgrad assoziiert ist. Und zum anderen einem phasischen Anteil, der, ausgelöst durch endogene oder exogene Stimulation, zu einer kurzfristigen Aufmerksamkeitsmodulation führt (z.B. geringere Reaktionszeiten und höhere Fehlerrate). Synonym für phasisches Arousal wird häufig auch der Begriff Alertness gebraucht.



**Abbildung 5 – Die Signal-Entdeckungstheorie. Sie beschreibt die Performanz auf der Basis eines gegebenen Signal-Rausch Verhältnisses. Dabei wird angenommen, dass Reize mit einer sensorischen Stärke größer einem subjektiv gesetzten Kriterium  $\beta$  als Signale interpretiert werden und eine Bestätigungsreaktion auslösen. Ist die sensorische Stärke eines Reizes hingegen geringer als  $\beta$ , dann erfolgt eine Ablehnungsreaktion. Dies hat zur Folge, dass grundsätzlich zwei Fehlertypen (Missing, False Alarm) und zwei korrekte Reaktionen (Hit, Correct Rejection) beobachtet werden können. Aus den jeweiligen Fehlerraten bzw. den Raten für die korrekten Reaktionen können schließlich die Detectability  $d'$  und das subjektive Kriterium  $\beta$  rekonstruiert werden.**

Um Einflüsse des Gedächtnisses, Reaktionstendenzen oder individueller Charakteristiken minimieren zu können, werden Vigilanzeffekte häufig mittels Aufgaben untersucht, die dem Paradigma der Signal-Entdeckungstheorie (engl. signal-detection) folgen.

Ein weiterer Vorteil solcher Studien liegt in der Applikation relativ einfacher Reize, die gerade um einen subjektiven Schwellenwert präsentiert werden. Somit ist es möglich die Entdeckbarkeit (oder Sensitivität  $d'$ ) zu manipulieren, die als Funktion von neuronalem und externalem Rauschen, aber auch infolge der Signalamplitude variiert (siehe Abb. 6).

Unter der Annahme, dass entsprechend subjektiver Strategien ein Entscheidungskriterium  $\beta$  definiert wird, wonach alle Reize jenseits mit einer Signalbestätigung und alle Reize diesseits dieses Kriteriums mit einer Signalablehnung beantwortet werden, können die zugrundeliegenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen für das Rauschen und das Signal berechnet werden.

Die auf der Basis dieses Paradigmas gewonnenen empirischen Befunde zeigen, dass das Vigilanzniveau offensichtlich eine Funktion des tonischen Arousals ist, wonach es zu einer Verminderung der Sensitivität  $d'$  kommt, wenn das Arousal abnimmt.

Aufgrund der Abhängigkeit von der zirkadianen Rhythmik, wonach tonisches Arousal vom Morgen zum Mittag hin zunimmt, wäre zu erwarten, dass damit im selben Zeitraum eine Performanzverbesserung hinsichtlich des Vigilanzniveaus zu beobachten sein müsste. Dies gilt jedoch nur für Aufgaben, die den sog. Simultan-Diskriminationsprozeduren (engl. simultaneous discrimination task) zugerechnet werden können. Sukzessiv-Diskriminationsprozeduren (engl. successive-discrimination task) zeigen dem entgegen den genau inversen Zusammenhang (Davies, Toh, & Parasuraman, unpublished manuscript, vgl. Parasuraman, 1983). Die beiden Aufgabentypen unterscheiden sich in der ihnen zugrundeliegenden »Memory-Load«. Während eine *sukzessive Diskriminationsprozedur* das kurzfristige Halten von Informationen im Gedächtnis erforderlich macht, werden bei einer *simultanen Diskriminationsprozedur* die zu unterscheidenden Reize gleichzeitig dargeboten und es wird somit eine Gedächtnisbelastung vermieden.

Phasisches Arousal (Alertness) beeinflusst dem entgegen eher das Reaktionskriterium  $\beta$  und damit das Vigilanzdekrement, das einen sog. »Time On Task Effekt« abbildet.

Durch eine subjektive Unterschätzung der Signalauftrittswahrscheinlichkeit infolge von »Lapses of Attention« verschiebt ein Beobachter das subjektive Reaktionskriterium  $\beta$ , so dass nun häufig konservative Beurteilungen erfolgen. Darüber hinaus stellen aber Effekte auf der Grundlage der subjektiven Wahrscheinlichkeit, mit der ein kritisches Signal erwartet wird, hinsichtlich der Vielzahl möglicher Strategien darauf zu reagieren eine nicht unerhebliche Quelle für interindividuelle Varianz dar.

Das Vigilanzdekrement wird aber auch durch eine sich vermindernde subjektive Sensitivität gegenüber dem Signalreiz im Zuge solcher Aufgaben beobachtet. Und wie zuvor schon beschrieben, ist das Sensitivitätsdekrement nicht nur eine Funktion der Signalauftrittswahrscheinlichkeit sondern auch eine Funktion des Aufgabentyps bzw. der »Memory-Load«, die eine Aufgabe dem Beobachter aufzwingt. Sukzessiv-Diskriminationsprozeduren erfordern die konstante Allokation von Aufmerksamkeitsressourcen damit ein bestimmtes Performanzniveau aufrecht erhalten werden kann. Obgleich dies für kurze Zeit leicht möglich ist, wird dies mit zunehmender »Time On Task« schwieriger und die Performanz verringert sich aufgrund eines tatsächlichen Verlust von Detectability  $d'$ .

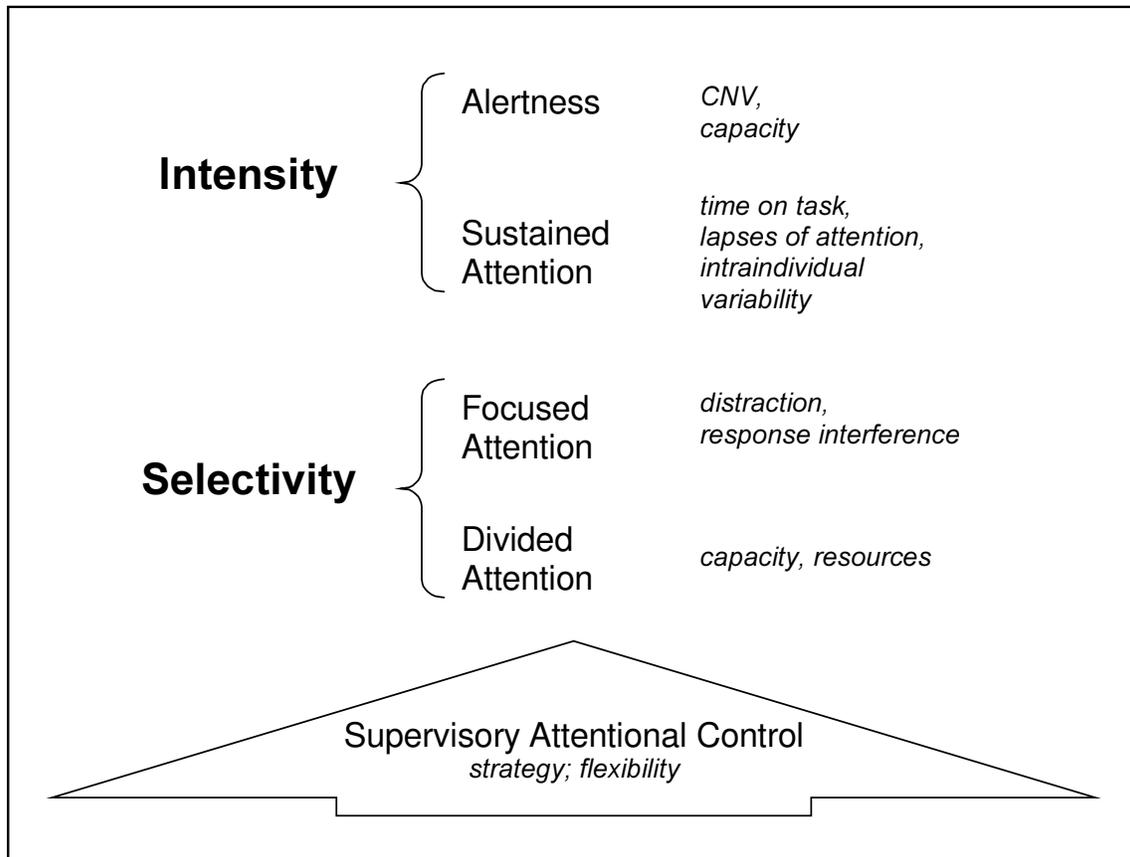
### **Taxonomie der Aufmerksamkeitsprozesse**

In der Summe spricht die vorliegende Befundlage dafür, Aufmerksamkeit als ein heterogenes und multifaktorielles Konstrukt aufzufassen, das aus einer Vielzahl modalitätsspezifischer und supramodaler Systeme aufgebaut ist. Im Kontext der visuellen selektiven Aufmerksamkeit wird dies beispielsweise durch Faktoren wie die Objektzentrierung einerseits und die Raumzentrierung andererseits deutlich. Dann wiederum kann man willkürliche und unwillkürliche Orientierungsreaktionen beobachten und selbst einzelne Subprozesse der Aufmerksamkeitsverschiebung sind voneinander dissoziiert, wie die von Posner et al. (1984) beschriebenen »(Dis-)Engagement« und »Attentional Shift« Prozesse. Darüber hinaus deuten auch die hinsichtlich der Geteilten Aufmerksamkeit angenommenen multiplen Ressourcen-Pools auf eine multifaktorielles und hoch aufgabenspezifisches Aufmerksamkeitskonstrukt hin. Ganz zu schweigen von den von Parasuraman gewonnenen Befunden, wonach zwei von einander dissoziierbare Prozesse für das Vigilanzdekrement und ein weiterer für das Vigilanzniveau angenommen werden muss.

Es wäre demzufolge vermessen, wollte man eine einheitliche Theorie der Aufmerksamkeit entwerfen, die dieser Vielzahl und durch Unterschiedlichkeit geprägten empirischen Datenlage gerecht werden soll.

Um diesem heterogenen Gefüge dennoch einen Ordnungsrahmen verleihen zu können, sind Taxonomien notwendig, die aus zugrundeliegenden Theorien und Befunden möglichst wenige Dimension abstrahieren, womit die Daten systematisiert werden können.

Eine erste Taxonomie stellen Posner und Boies (1971) vor, die im wesentlichen die Dimensionen Intensität und Selektivität enthält. Eine besondere Stellung erhalten Orientierungsreaktionen. Eine weitere Taxonomie wird von van Zomeren und Brouwer (1994) vorgeschlagen, die darüber hinaus einige Präzisierungen enthält (siehe Abb. 6).



**Abbildung 6 – Komponentenmodell der Aufmerksamkeit (van Zomerem & Brouwer, 1994).** Entlang der Dimensionen Selektivität und Intensität sind grundlegende Aufmerksamkeitskonzepte systematisiert. In der rechten Spalte sind die Paradigmen enthalten, die in der Regel zur Datenlage beitragen, auf deren Basis die Grundkonzepte formuliert sind. Entgegen dem Konzept von Posner und Boies (1971) ist hier auch eine Aufmerksamkeitskontrollinstanz expliziert (CNV: Contingent Negative Variation).

## Aufmerksamkeit und funktionelle Neuroanatomie

Mittels verschiedenster neurowissenschaftlichen Methoden, wie z.B. bildgebender Verfahren (PET, fMRI), Ereigniskorrelierten Potentialen (ERP), Einzelzelleableitungen und dergleichen, ist es gelungen am Menschen oder Tiermodell Erkenntnisse über jene neuroanatomischen Strukturen zu gewinnen, die als funktionaler Bestandteil aufmerksamkeitsspezifischer Prozesse betrachtet werden können. Ergänzt werden diese Befunde zusätzlich durch klinische Läsionsstudien, die aber eher selten Ergebnisse zeitigen, die mit der Datenlage aus experimentellen Studien konform ist

### *ARAS und die Aufmerksamkeitsintensität*

Hinsichtlich des Intensitätsaspekts der Aufmerksamkeit werden hauptsächlich im Hirnstamm gelegene mesenzephalere Strukturen, thalamische Kerne, der anteriore Abschnitt des Gyrus Cinguli und der dorsolaterale frontale Kortex diskutiert.

Eine prominente Stellung nimmt hierbei das aufsteigende retikuläre Aktivierungssystem (ARAS) ein, das zum einen über eine thalamokortikale Komponente verfügt, zum anderen aber auch mehrere direkte Efferenzen zum Kortex projiziert, ausgehend von unterschiedlichen Regionen des basalen Vorderhirns und mesenzephaler Strukturen.

Von zentraler Bedeutung sind hierbei cholinerge Projektionen des Nucleus (N.) Basalis von Meynert, darüber hinaus histaminerge, dopaminerge, serotonerge und noradrenerge Projektionen (siehe Tab. 2), die eine Aktivitätsmodulation kortikaler Neuronen auf der Basis von Stimmung, Arousal und zirkadianer Rhythmik erzeugen (Mesulam, 1998).

Diesen Systemen gemeinsam ist eine erhebliche Asymmetrie zwischen kortikofugalen und kortikopetalen Projektionen. Während jedes dieser Projektionssysteme fast den gesamten zerebralen Kortex innerviert (Bottom-Up), erhält es im Gegenzug lediglich von begrenzten Strukturen Feedback (Top-Down); in der Regel von limbischen und paralimbischen Gebieten.

Dies erlaubt den zugrundeliegenden Kerngebieten des basalen Vorderhirns als transmitterspezifische Relais zu fungieren, welche die Verbindung zwischen Sinnesempfindungen und Kognition über den gesamten Kortex zu modulieren in der Lage sind (Mesulam, 1998).

*Tabelle 2 – Direkte kortikale Projektionen des ARAS aus unterschiedlichen Kernregionen des basalen Vorderhirns und des Hirnstamms*

Kernregion	Transmittersystem
N. basalis von Meynert	Acetylcholin
Hypothalamus	Histamin
N. Raphe	Serotonin
Substantia nigra (ventral tegmental)	Dopamin
Locus Coeruleus	Noradrenalin

Kurzfristig führt das cholinerge System zu einer anhaltenden Reduktion der Kaliumleitfähigkeit und somit zu einer Sensibilisierung kortikaler Neuronen auf sensorische Stimulation. Langfristig stellt sich sogar eine veränderte Plastizität und höherer synaptische Effizienz ein. Vermittelt durch das limbische System vermögen insbesondere neue und motivational relevante Reize Aktivität im N. basalis auszulösen. Das dopaminerge System

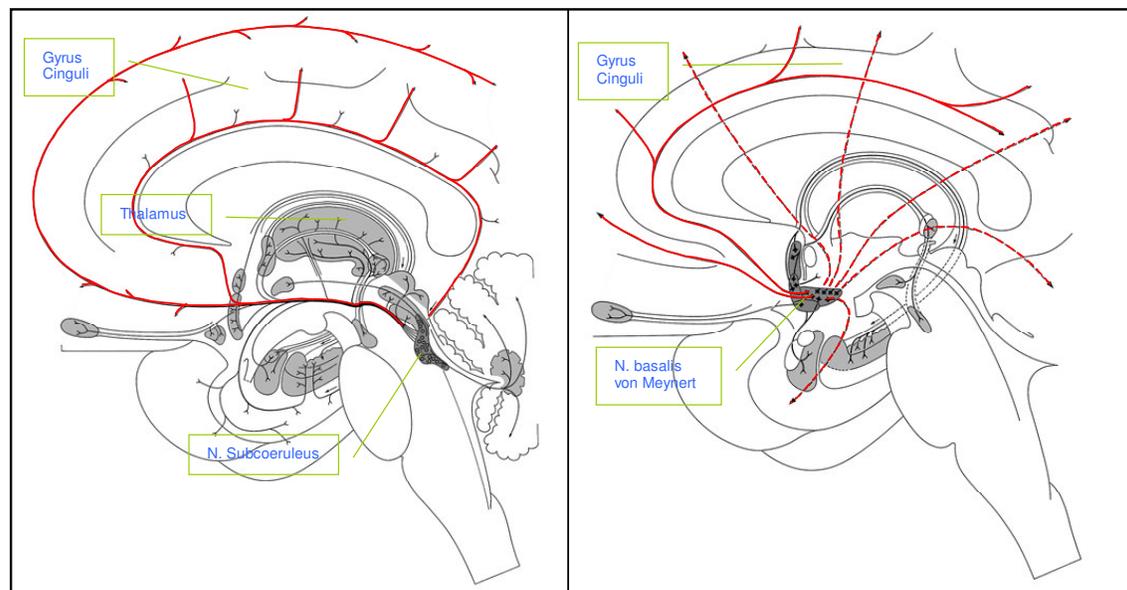
reagiert dem gegenüber besonders auf Diskrepanzen zwischen erwarteter und tatsächlicher Verstärkung und schein somit eine bedeutende Rolle hinsichtlich des Suchtverhaltens zu spielen. Darüber hinaus vermag es, vergleichbar mit dem cholinergen System, modulierende Effekte auf die Kapazität des Working Memory im Frontallappen auszuüben.

Insgesamt ist mit dem ARAS das neuronale Substrat für Arousal und Wachheit identifiziert, das als Bottom-Up Prozess zur Aufrechterhaltung und Kontrolle der Alertness beiträgt.

Noradrenerge Projektion des Locus Coeruleus bilden ein Netzwerk, indem der dorsolaterale frontale Kortex und der anteriore Gyrus Cinguli über den N. reticularis des Thalamus innerviert und aktiviert werden. Die funktionellen Projektionen dieses Netzwerkes scheinen hinsichtlich der rechten Hemisphäre stärker ausgebildet zu sein, als hinsichtlich der linken Hemisphäre, wodurch die Top-Down Regulierung des noradrenergen Systems in stärkerem Maße durch die rechte Hemisphäre erfolgt und Läsionen der rechten Hemisphäre in stärkerem Maße zu einer Alertnessbeeinträchtigung führen sollte. Wie Posner und Petersen (1990) berichten, lassen sich hierfür auch eine Reihe klinisch-physiologischer Befunden zitieren.

Danach führen Läsionen der rechten Hemisphäre zu (1.) Veränderung galvanischer Hautreaktionen bei Affen und Menschen gleichermaßen (Heiman et al., 1985) und (2.) Veränderungen der Herzfrequenzen auf Warnreize (Yokoyama et al., 1987).

Darüber hinaus wird auch die Performanz in Vigilanzaufgaben beeinträchtigt. In Bezug auf Split-Brain Patienten kann beobachtet werden, dass Vigilanzleistungen unter Darbietungsbedingungen ausschließlich zur isolierten linken Hemisphäre relativ schlecht erbracht werden, wohingegen die Darbietung zur rechten Hemisphäre relativ gute Leistungen nach sich zieht. (Dimond & Beaumont, 1973).



**Abbildung 7 – Noradrenerge und cholinerge Projektionen zum Kortex und Gyrus Cinguli (rot). Weite Teile der Hirnrinde empfangen Efferenzen des Aufsteigenden Retikulären Aktivierungssystems (ARAS).**

Jüngere Untersuchungen mittels bildgebender Verfahren verweisen prinzipiell auf das selbe nahezu ausschließlich rechtslateral gelegene Netzwerk. Sturm et al. (1999a) zeigen eine PET-Aktivierung des anterioren Gyrus Cinguli, des dorsolateralen frontalen Kortex, des fronto-mesenzephalen Tegmentum und des Thalamus im Zuge einer intrinsischen Alertness-Aufgabe.

Auf der neuronalen Ebene sind Effekte sichtbar, die offensichtlich auf das Vorhandensein sog. aufmerksamkeitsbezogener Typ-II Zellen schließen lassen (Mirsky et al., 1995). In tierexperimentellen Studien sind diese Zellen in mesenzephalen Strukturen des Hirnstammes, im Thalamus, im Superioren Colliculus (in tegtalen und prätegtalen Regionen) aber auch im präfrontalen, medial präfrontalen Kortex, im Gyrus Cinguli, im inferioren Parietallappen und im peristratalen Kortex identifiziert worden. Im Kontext des für Affen adaptierten Continuous Performance Test (CPT, Rosvold et al., 1956) weisen solche Zellen folgende Eigenschaften auf:

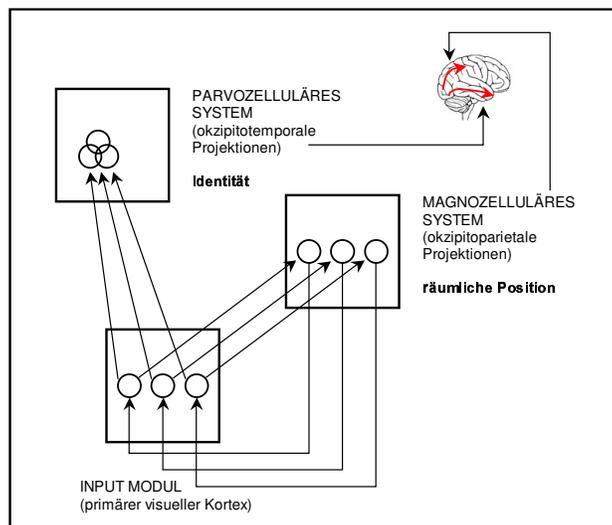
Zunahme der Aktivitätsrate sowohl bei Go als auch No-Go Durchgängen im Kontext einer visuellen Diskriminationsaufgabe (CPT). Gleichwohl kann eine stärkere Aktivität im Zusammenhang mit Go-Durchgängen beobachtet werden (Fokussierungsaspekt).  
Beendigung der Aktivität, wenn Testreize nicht mehr länger mit Verstärkung assoziiert sind.  
Das Aktivitätsmuster der Zellen reflektiert eine Antizipation hoch repetitiver Testreize.  
Das Aktivitätsmuster ist mit Augenbewegungen unkorreliert (unabhängig von Selektivitätsaspekt der Aufmerksamkeit)  
Die Aktivität bleibt über Hunderte von Durchgängen einer Aufgabe aufrechterhalten.

### *Multiple Netzwerke und die Aufmerksamkeitsselektivität*

Die Organisation des visuellen Systems offenbart auf neuronaler Ebene eine Vielzahl selektiver Verarbeitungsmechanismen. Farbe, Form, Tiefe und Position visueller Reize werden im Wesentlichen parallel und unabhängig voneinander verarbeitet, nachdem die Reizinformationen den Primären Visuellen Kortex (V1) erreicht haben. Ausgehend von retinalen Ganglienzellen können sog. magnozelluläre oder Typ-M Zellen bzw. parvozelluläre oder Typ-P Zellen von einander unterschieden werden. Die Projektionen dieser Zelltypen finden jeweils Eingang in distinkte Zellschichten des Corpus geniculatum lateralis des Thalamus, der seinerseits Ausgangsort für drei isolierbare funktionelle Projektionen in den primären visuellen Kortex ist. Die magnozellulären Projektionen sind demnach für die Verarbeitung von Raum- und Bewegungsinformation, die parvozellulären-interblob

Projektionen für die Verarbeitung von Form und die parvozellulären-blob Projektionen für die Verarbeitung von Farbe zuständig (DeYoe & Van Essen, 1988).

Die Verarbeitung visueller Sinnesinformation bis zu diesem Zeitpunkt verläuft parallel und ohne Aufmerksamkeitspflicht. Soll jedoch die Wahrnehmung eines integrierten Perzepts gelingen, bedarf es, wie Treisman (1988) thematisiert, ein seriell-kontrolliertes »Binding«, das die verschiedenen Features zu einem Objekt zusammenführt. Dieses »Binding« wird auch in einer Modell von van der Heiden (1991) zugrunde gelegt, dessen Theorie der Postkategorialen Filterung jedoch auch die physiologischen Besonderheiten des parvo- und magnozellularären Systems inkorporiert. Demnach werden Identität und räumliche Position eines Objekts jeweils unabhängig enkodiert und durch eine enge reziproke Verbindung des »Input Modul« (V1) mit dem »Location-Modul« kann schließlich die Identität des Objekts gebunden werden. Die Channel-Selection findet somit über die räumliche Position des Objektes statt, analog zu Posner und Petersens (1990) beschriebenen dorsalen (räumliche Position) und ventralen (Objekt) visuellen Systemen, welche die räumlich-visuellen Aspekte des posterioren Parietallappens einerseits und objektbezogenen-visuellen Aspekte des inferioren Temporallappens andererseits umfasst (siehe Abb. 8).



**Abbildung 8 – Die Theorie der Postkategorialen Filterung (Van der Heiden, 1991). Sie orientiert sich eng an modernen neurobiologischen Befunden des visuellen Systems. Erst über die Identifikation der räumlichen Position kann ein Objekt wahrgenommen werden.**

Die der Selektivitätsaspekte der Aufmerksamkeit zugrunde liegenden neuronalen Netzwerke wurden ausführlich auf der Basis der visuell-räumlichen Informationsverarbeitung untersucht. Posner und Petersen (1990) stellen ein Modell vor, das den experimentellen Befunden der offenen und verdeckten Aufmerksamkeitsverschiebung Rechnung trägt, indem es ein anterior-exogenes Aufmerksamkeitssystem einerseits und ein posterior-endogenes Aufmerksamkeitssystem andererseits annimmt (vgl. S. 12).

Entsprechend der drei Komponenten der verdeckten Aufmerksamkeitsverschiebung (disengagement, shift, engagement) sind drei distinkte Strukturen mit der Verarbeitung

jeweils einer dieser Komponenten assoziiert. So wird der posteriore Parietallappen vor allem mit der Loslösung, der superiore Colliculus mit der Shift-Komponente und N. Pulvinar des Thalamus mit der Anheftung der Aufmerksamkeit in Verbindung gebracht. Für diese Interpretation sprechen empirische Daten, die vor allem an Patienten mit umschriebenen Läsionen oder im Tierexperiment gewonnen sind.

Darüber hinaus legen aber auch die neurophysiologischen Funktionen der jeweiligen Strukturen eine solche Interpretation nahe. Eine Funktion des Parietallappens ist beispielsweise die Konstruktion eines räumlichen Koordinatensystems des extrapersonalen Raumes, indem die visuelle und somatische räumliche Welt repräsentiert wird. Dabei stammen die Hauptafferenzen aus dem N. Pulvinar des Thalamus und aus anderen kortikokortikalen Projektionen. Seinerseits projiziert der Parietallappen im wesentlichen zu frontalen und temporalen Assoziationskortex, sowie zu subkortikalen Strukturen (z.B. N. Pulvinar, Striatum, Mittelhirn und Rückenmark) (Kolb & Wishaw, 1990). Ebenso enthält der superiore Colliculus solche transmodalen räumlichen Karten. Afferenzen erhält er aus unimodalen visuellen Kortex (V1, V2, V3) aus dem posterioren Parietallappen, dem präfrontalen-dorsolateralen Kortex und dem Striatum. Projektionsgebiete sind dem gegenüber lediglich N. Pulvinar des Thalamus und okulomotorische Nervenkerne des Hirnstamms (LaBerg, 1995). Der N. Pulvinar des Thalamus ist hingegen in ein umfangreiches thalamokortikales Netzwerk eingebettet, das kortiko-thalamokortikale Schleifen zum okzipitalen, parietalen, temporalen und präfrontalen-dorsolateralen Kortex unterhält. Modernen Auffassungen zufolge (Posner & Petersen, 1990; LaBerg, 1995) übt der N. Pulvinar eine »Gating« Funktion auf kortikale Projektionsgebiete aus, in dem er den kortikalen Informationsfluss moduliert. Der Selektivitätsaspekt der Aufmerksamkeit findet demnach seinen Ausdruck in Form einer Aktivitätsdifferenz zwischen einem fokalen kortikalen Zielgebiet und der neuronalen Umgebung. Diese Differenz wird durch ein positives Feedback kortiko-thalamokortikaler Projektionen erreicht, so dass es zu einer Zunahme neuronaler Aktivität im kortikalen Zielgebiet kommt (LaBerg, 1995).

Mesulam (1981) berichtet über ein rechtsdominantes Aufmerksamkeitsnetzwerk, das vorrangig sensorisch-repräsentationale Aspekte der räumlichen Aufmerksamkeit betont und Strukturen des präfrontalen-dorsolateralen Kortex, den anterioren Gyrus Cinguli und den posterioren Parietallappen umfasst. Die Betonung des frontalen Kortex wird gleichermaßen von Posner und Peterson (1990) hinsichtlich der offenen Aufmerksamkeitsverschiebung thematisiert, indem angenommen wird, dass das frontale System gegebenenfalls die Kontrolle des anterioren Systems übernehmen kann. Gitelman et al. (1999) bestätigen im wesentlichen die Befunde Mesulams im Kontext einer fMRI-Untersuchung, in der besonderen Wert auf die Kontrolle konfundierender Einflüsse auf die Aktivität in den

frontalen Augenfeldern des präfrontalen-dorsolateralen Kortex gelegt wurde. Dieses Netzwerk ist eines von fünf sog. »*large-scale distributed networks*«, denen eine besondere Relevanz für höhere kognitive Verarbeitungsprozesse im menschlichen Gehirn zukommen soll. Den Netzwerken gemeinsam ist eine grundlegende einheitliche Organisationsstruktur, wonach die Informationsübertragung zwischen zwei kortikalen Epizentren sowohl parallel über zusätzliche kortikale Komponenten als auch seriell über direkte kortikokortikale Projektionen stattfindet. Darüber hinaus ist jedes kortikale Epizentrum mit thalamischen Subnuklei verbunden, die ihrerseits aber keine wechselseitigen Verbindungen pflegen. Aufgrund enormer kortikokortikaler Projektionen zwischen teilen des Kortex ist aber anzunehmen, das jedes kortikale Epizentrum multiplen – sich überschneidenden - Netzwerken angehört.

Dies weist auf die Rolle des Thalamus als »Binding« Komponente eines gegebenen Netzwerkes hin. Eine gleichermaßen zentrale Bedeutung für solche »*large-scale networks*« erhält das Striatum, das zwar Afferenzen aus den jeweiligen Epizentren erhält, aber keine Efferenzen zurückprojiziert. Dies weist auf seine mögliche Rolle als Efferenzensynchronisierer (oder Filter) für die Koordination des Informationsflusses eines jeweiligen Netzwerkes hin (Mesulam, 1998).

Hinsichtlich des von Mesulam (1981) beschriebenen Aufmerksamkeitsnetzwerkes müssen infolge der drei identifizierten Epizentren (präfrontaler-dorsolateraler Kortex, anteriorer Gyrus Cinguli und posteriorer Parietallappen) drei solcher Netzwerke angenommen werden. Zimmermann und Sturm (2000) beschreiben in einem Überblick über die funktionelle Neuroanatomie des Selektionsaspektes ebenfalls mehrfach die Relevanz dieser Strukturen. Dabei betonen die beiden Autoren die Möglichkeit, dass jenem, unter den Intensitätsgesichtspunkten bereits diskutierten, fronto-thalamische System auch hinsichtlich des Selektivitätsaspektes eine funktionelle Rolle zukommen könnte. Danach ist der N. reticularis des Thalamus ein Channel- oder Gating-System, das nicht nur über die »Energienmenge« sondern auch »Energieflussrichtung« entscheidet.

Posner und Petersen (1990) berichten über Studien, wonach funktionelle Asymmetrien zwischen globaler und lokaler Aufmerksamkeitsfokussierung hinsichtlich der rechten und linken Hemisphären beobachtet werden. Danach scheint die linke Hemisphäre eher auf die Verarbeitung hoher Raumfrequenzen – und damit einer lokalen Aufmerksamkeitsausrichtung – und die rechte Hemisphäre eher auf geringe Raumfrequenzen – und damit einer globalen Aufmerksamkeitsausrichtung – spezialisiert zu sein. Diese Interpretation wird aber durch Befunde über die Leserichtung in Frage gestellt, von der man weiß, das sie in den meisten Fällen gleichermaßen eine spezifische Funktion der linken Hemisphäre ist und somit die Analysefähigkeit hoher Raumfrequenzen erzwingt.

## **Experimentelle Neuropsychologie des Gedächtnisses**

## Die Taxonomie der Gedächtnissysteme

Seit den Tagen im Jahr 1885 als Hermann Ebbinghaus die ersten systematischen Lernexperimente zur Gedächtnisspanne und Vergessensrate durchführte, bis zu jenen hoch elaborierten Gedächtniskonzeptionen, die im Zuge der modernen experimentellen Psychologie entwickelt wurden, haben sich mehrere Paradigmenwechsel vollzogen. Glaubte man zu Beginn, dass sich das Gedächtnis ausschließlich über Introspektion erschließen ließe, verließ man sich dagegen später nur auf beobachtetes Verhalten und verleugnete gar mentalistische Konzeptionen, um dann wiederum – für eine psychologische Wissenschaft geradezu revolutionär – die Wiederentdeckung des Geistes zu feiern. Mit von der Introspektion verschiedenen Methoden wendete sich nun die experimentelle kognitive Psychologie genau jenen inneren Vorgängen zu, die sich zwischen der Applikation eines Reizes und der nachfolgenden Reaktion ereignen. Oder mit den Termini der Gedächtnisforschung: jenen Geistestätigkeiten, die dem »free recall«, »cued recall« und der »recognition« zugrunde liegen, nachdem eine Wortliste ein- oder mehrfach dargeboten wurde.

Die experimentelle Psychologie des Gedächtnisses ist bei weitem mehr als nur die Erforschung des Erinnerns auf der Grundlage von Wortlisten. Dementsprechend wurden im Laufe der Zeit und auf der Basis verschiedenster paradigmatischer Betrachtungsweisen des Phänomens Gedächtnis eine Vielzahl von Modellen entwickelt, deren zuweilen wenige Berührungspunkte geradezu erstaunen. Das Gedächtnis ist im Zuge der Forschungstätigkeit insbesondere der letzten 30 Jahre zu einer sehr heterogenen Angelegenheit geworden. Dies spiegelt sich in der ausufernden begrifflichen Konzeptionsbildung wieder, für die das Altgedächtnis, das biografische Gedächtnis, das episodische und semantische Gedächtnis, das Arbeitsgedächtnis (engl. Working Memory, WM), das Kurz- und Langzeitgedächtnis nur einige Beispiele ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind.

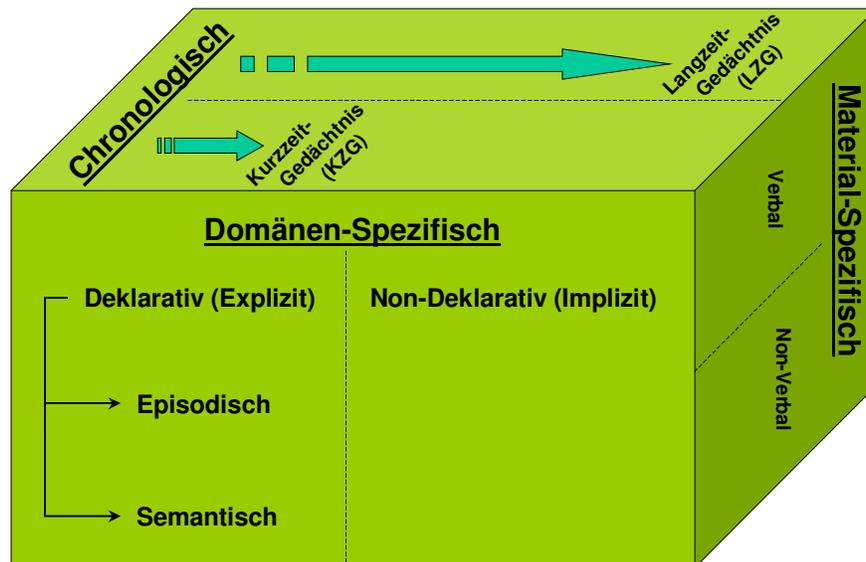
Zuweilen mögen diese und ähnliche Konzepte empirisch begründet sein, zuweilen sind sie es auch nicht. Die Tendenz für jeden neuen Datensatz ein neues Gedächtnis zu postulieren birgt auch die Gefahr einer Fragmentierung des Forschungsfeldes insgesamt. Befürchtungen wie diese, lassen so manchen Kritiker polemisch werden:

» ... although a dissociation between autobiographical and nonautobiographical memory is intuitively sensible, the critical question is whether such a dissociation is of a natural kind. One could just as easily split the memory system into ... memories for all things with sharp boundaries versus all things with fuzzy boundaries ...« (Cohen, 1984, S. 99).

Kritisch ist die Auffassung des Gedächtnisses als ein System (Tulving, 2002). Ein Gedächtnissystem besteht aus einer Vielzahl elementarer Bestandteile (Komponenten), denen ein neuronales Substrat zugrunde liegt. Das Zusammenwirken einiger Komponenten

führt somit zu anderen Ergebnissen, wie das Zusammenwirken anderer Komponenten. Unterschiedliche Lern- und Gedächtnissituationen erfordern die koordinierte Aktivität unterschiedlicher Komponenten. Somit mögen sich einige der postulierten Gedächtnissysteme mehr oder weniger in den ihnen zugrundeliegenden Komponenten unterscheiden. Einige Systeme mögen eine Vielzahl solcher Komponenten teilen, andere weniger, manche sogar keine. Das Ziel der Gedächtnisforschung kann demzufolge nicht in der Identifikation einer möglichst großen Anzahl unterschiedlichster Gedächtnissysteme liegen, vielmehr muss das Gedächtnisnetzwerk und die Funktion seiner Komponenten und Subnetzwerke verstanden werden.

Um der Diversifikation der Gedächtnissysteme gerecht zu werden und um die bislang gewonnenen und zukünftig zu gewinnenden Befunde systematisieren zu können ist eine Taxonomie notwendig, welche die heterogenen Struktur des Gedächtnisses abzubilden in der Lage ist (siehe Abb. 9).



**Abbildung 9 – Dreidimensionale Gedächtnistaxonomie nach Calabrese (2000). Das Gedächtnis lässt sich in drei Aspekte untergliedern: einen zeitlichen, einen domänen-spezifischen und einen material-spezifischen Aspekt.**

Zum einen kann man das Gedächtnis entlang einer zeitlichen Dimension verfolgen, wenn einerseits eher kurzfristige oder andererseits eher langfristige Behaltensleistungen betrachtet werden. Entsprechend ist dann vom Kurzzeitgedächtnis (KZG) bzw. Langzeitgedächtnis (LZG) die Rede.

Zum anderen gilt auch für das Gedächtnis eine wechselseitige Dissoziation der jeweils zugrundeliegenden sensorischen Modalitäten. Und zum Dritten unterscheidet man zwischen der sogenannten prozeduralen (impliziten) und deklarativen (expliziten) Domäne. Während dem prozeduralen Gedächtnis all jene Inhalte zugeordnet werden, die sich zwar in einer Verhaltensmodifikation äußern ohne dass aber der entsprechende Lernkontext mit erinnert werden kann, zeichnen sich deklarative Gedächtnisleistungen gerade dadurch aus, dass zeitliche und räumliche Aspekte der Lernumgebung mitkodiert werden. Eine weitere Differenzierung erfährt das deklarative Gedächtnis in der Unterteilung in einen episodischen Speicher und in einen kontextunabhängigen Wissensspeicher: das semantische Gedächtnis (Calabrese, 2000, p.37).

### **Das episodische Gedächtnis**

In den folgenden Abschnitten wird der Fokus auf dem phylogenetisch jüngsten, ontogenetisch sich jedoch am spätesten entwickelnden Gedächtnissystem liegen: dem episodischen Gedächtnis (Tulving, 1972). Tulving (2002) definiert das episodische Gedächtnis folgendermaßen:

»Episodic memory is a recently evolved, late-developing, and early deteriorating past-oriented memory system, more vulnerable than other memory systems to neuronal dysfunction, and probably unique to humans. It makes possible mental time travel through subjective time, from present to past, thus allowing one to re-experience, through autoegetic awareness, one's own previous experience. Its operation require, but go beyond, the semantic memory system. Retrieving information from episodic memory (remembering or conscious recollection) is contingent on the establishment of a special mental set, dubbed "episodic retrieval mode". Episodic memory is subserved by a widely distributed network of cortical and subcortical brain regions that overlaps with but also extends beyond the networks subserving other memory systems. the essence of episodic memory lies in the conjunction of three concepts – self, autoegetic awareness, and subjectively sensed time.« (Tulving, 2000, S. 5).

Neben einer Vielzahl erstaunlich detaillierter relationaler Bedingungen, die im Verlauf der folgenden Abschnitte thematisiert werden, betont Tulving die eher philosophisch-

phänomenologisch geprägten Charakteristika des Selbst-Gewahrseins, des autooetischen Gewahrseins und des individuell-subjektiv erlebten Zeitgefühls als unverwechselbare und einzigartige Eigenschaften, die im subjektiven Erleben einer vergangenen Episode evident werden.

Das Eintauchen in Erinnerungen episodischen Inhalts oder in Ereignisse mit einem festen zeitlichen Ankerpunkt entspricht gleichsam einer mentalen Zeitreise in die Vergangenheit. Eine solche Zeitreise ist jedoch das Unternehmen eines Reisenden und als solches an ein Selbst-Gewahrsein des Reisenden gebunden.

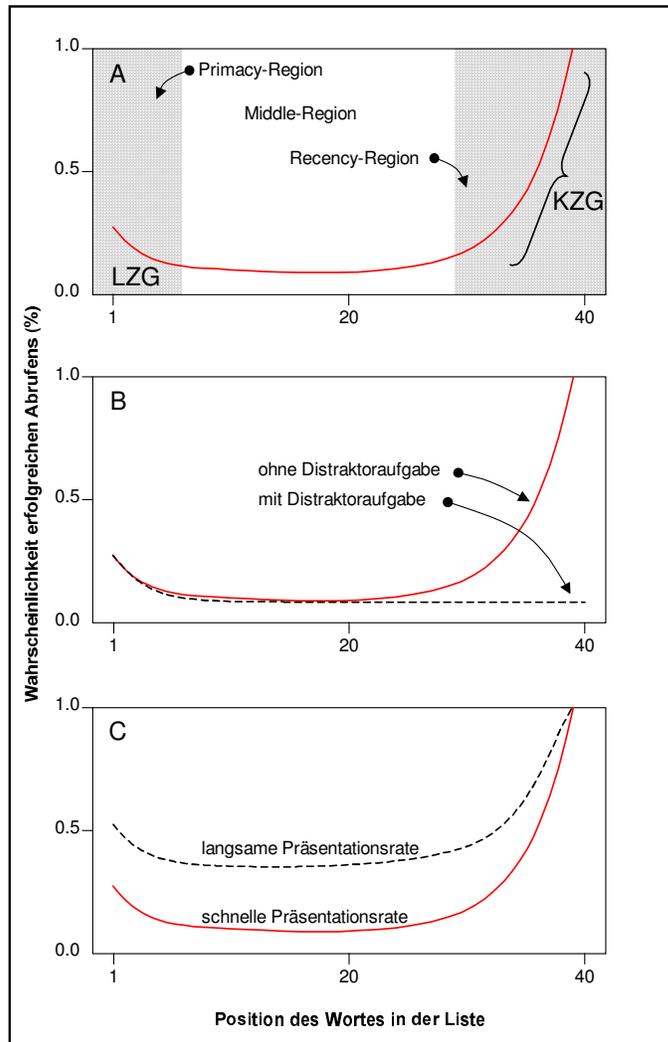
Die eigentümliche subjektive Qualität des Erlebens einer Zeitreise und das damit in Verbindung stehende Bewusstsein, dass es sich auch um eine solche handelt und nicht etwa um ein davon verschiedenes gewöhnliches Gewahrsein der Umwelt kommt in dem Begriff Autooese zum Ausdruck. Autooese ist im Sinne der »Higher-Order-Thoughts« (Rosenthal, 1993) eine Metarepräsentation und als solche ein bewußtseinsemergierender mentaler Zustand, der die Repräsentation eines Gedankens zum Inhalt hat.

Eine Zeitreise ist jedoch nicht denkbar, wenn ein subjektives Empfinden für Zeit fehlt. Tulving berichtet den Fall des Amnestikers K.C., dessen schwere retrograde Amnesie bis zur Geburt zurückreicht und sich ausschließlich auf das episodische Gedächtnis erstreckt. Obgleich er über herkömmliche Konzeptionen des Zeitbegriffs verfügt, ihre Einheiten und Struktur und ihre Messbarkeit durch Uhren und Kalender kennt, kann er keinerlei Angaben über die Gestaltung seiner näheren und ferneren Zukunft machen. Es scheint, als ob seine Vorstellung von der Zukunft in demselben Maße wie die seiner Vergangenheit beeinträchtigt ist (Tulving, 2002).

Das episodische Gedächtnis wird im Labor oder in klinischen Settings für gewöhnlich mittels Wortlisten geprüft. Um »Ceiling-Effects« zu vermeiden sollte die Anzahl der Worte so gewählt werden, dass selbst bei guten Lernern mehrere Durchgänge zur vollständigen Reproduktion der Liste erforderlich sind. Gute Gedächtnistests enthalten darüber hinaus sog. Interferenzlisten, die eine Einschätzung der Robustheit des Lernprozesses ermöglichen. Nach einem kurzen oder unmittelbaren und optional einem längeren Verzögerungsintervall wird der Abruf des gelernten Materials verlangt. Dabei muss unterschieden werden, ob der Abruf frei (»free recall«) und/oder mit Hinweisgebung (»cued recall«) stattfinden soll. Alternativ dazu oder aber ergänzend, kann ein Wiedererkennenstest (»recognition«) appliziert werden, in dessen Verlauf der Lernende aus einer vorgegebenen Liste jene Wörter nebst Distraktoren identifizieren soll, die auf der eingangs gelernten Liste enthalten waren. In solchermaßen konzipierter Gedächtnistest lässt auf eine Vielzahl von, in differenzierte Weise gewonnener und experimentell etablierter Parameter schließen, die in ihrer Gesamtheit einen komplexen Eindruck von der Funktionsweise des Gedächtnisses (episodisches Gedächtnis) vermitteln können.

## Serielle Positionseffekte bei freiem Abruf einer Wortliste

Wird die Wahrscheinlichkeit eines erfolgreichen freien Abrufs eines jeweiligen Wortes gegen seine serielle Position innerhalb der Liste abgetragen, ergibt sich eine charakteristische Kurve, die durch drei distinkte Regionen gekennzeichnet ist (siehe Abb. 10 -A). Die eingangs in der Liste enthaltenen Wörter zeichnen sich demnach durch eine relativ hohe Abrufwahrscheinlichkeit aus, die im Zuge der nachfolgenden Wörter abnimmt, um sich für die



**Abbildung 10 – Die Primacy-, Middle- und Recency-Region einer Seriellen Positionskurve. Während Primacy- und Middle-Region Mechanismen des LZG reflektieren, wird der Recency-Effekt dem KZG zugerechnet (A). Evidenzen dafür ergeben sich aus einer doppelten Dissoziation, mit der die Effekte auf Basis von Distraktoraufgaben (B) und Präsentationsraten (C) manipuliert werden können.**

Wörter des mittleren Teils auf einem konstanten Plateau zu stabilisieren. Für die Wörter des Listenendes kann jedoch wieder ein deutlicher Anstieg der Abrufwahrscheinlichkeit verzeichnet werden. Entsprechend ihrer Abfolge werden diese Regionen mit Primacy-, Middle-, und Recency-Region bezeichnet. Die seriellen Positionseffekte werden als Hinweis für die Dichotomie des Gedächtnisses in ein Kurzzeit- bzw. Langzeitspeicher (KZG vs. LZG) interpretiert (vgl. Atkinson & Shiffrin, 1968). Während zu Beginn der Listenpräsentation (*Primacy-Effekt*) eine größere Freiheit zum *Rehearsal* (subvokales Wiederholen) der Wörter besteht und hierdurch eine bessere Konsolidierung im LZG erreicht werden kann, wird der *Recency-Effekt* dem unmittelbaren Abruf der Items aus dem KZG zugeschrieben. Unterstützt wird diese Interpretation durch eine doppelte Dissoziation der Manipulierbarkeit der jeweiligen

Effekte von einander. Die Durchführung einer Distraktoraufgabe führt zur Eliminierung des Recency-Anteils, während sie den Middle- und Primacy-Effekt unberührt lässt. Andererseits

beeinflusst die Präsentationsrate der in der Wortliste enthaltenen Wörter ausschließlich den Primacy- und Middle-Effekt, den Recency-Anteil jedoch kaum oder gar nicht (Murdock, 1962). Darüber hinaus können weitere Evidenzen zitiert werden, die gleichermaßen einen nach zeitlichen Grundsätzen zweigeteilten Speicher implizieren. Deren eine betrifft die Beobachtung, der zufolge der berühmte Patient H.M. (Milner, 1959), der im Verlauf eines neurochirurgischen Eingriffs einer bilateralen Hippokampektomie unterzogen wurde, normale Testwerte auf Grundlage kurzfristiger Behaltensleistungen erbringen konnte, jedoch nicht im Stande war, Informationen über einen längeren Zeitraum wiederzugeben. Oder die Beobachtungen, wonach Intrusionen, je nach kurz- oder langfristigem Kontext eher akustischer oder aber eher semantischer Natur sind (Baddeley & Dale, 1966).

### **Die »Levels of Process« Theorie**

Obleich nicht beabsichtigt, erkennen Kritiker eines dichotomen Gedächtnismodells in der »Levels of Processing Theory« ( Craik & Lockhart, 1972) eine Alternative. Befunde von Baddeley & Hitch (1974), wonach die zeitgleiche Bearbeitung einer Memory-Span Task und das Lernen einer Wortliste nicht zur erwarteten Beeinträchtigung des Recency-Anteils, sondern vielmehr zu einer Verminderung des Middle- und Primacy-Effekts führen sind auf der Basis eines dichotomen Gedächtnismodells nicht vorherzusagen. Die Theorie von Craik und Lockhart hingegen bietet den Vorteil, ausschließlich Aussagen über das Wesen der Encodierung und dessen Bezug zum Abruf zu machen und weiter keine strukturellen Annahmen zugrunde legen zu müssen. Im Kern geht das Modell von einer Informationsverarbeitung auf drei hierarchischen Stufen (physisch, akustisch, semantisch) aus. Dabei ist die physische Verarbeitungsstufe die oberflächlichste und die semantische Verarbeitungsstufe die tiefste. Es gilt: Umso tiefer die Verarbeitungsstufe, desto besser ist die Behaltensleistung.

Die Theorie steht jedoch nur in einem scheinbaren Gegensatz zu einem dichotomen Gedächtnismodell. Analog kann nämlich die physische Verarbeitungsstufe der Mustererkennung, die akustische dem KZG und die semantische dem LZG zugeordnet werden. Obleich einer Relativierung der Hierarchieannahme bzgl. der Verarbeitungsstufen, die infolge der Beobachtung erzwungen wurde, wonach der Abruferfolg nicht nur von der Stufe der Encodierung sondern auch von den zugrundeliegenden Tests abhängig ist, wurde mit diesem Modell ein bedeutender Beitrag zur experimentellen Psychologie des Gedächtnisses geleistet.

## KZG als kapazitätsbegrenzttes Arbeitsgedächtnis

Vom KZG wird nicht nur angenommen, dass es ein zeitlich begrenzter Speicher ist. Vielmehr zeichnet es sich auch durch die Eigenschaft einer begrenzten Kapazität für Inhalte aus. Schon in seinen frühen (Selbst-)Versuchen stellt Ebbinghaus fest, wie gleichsam müheolos das Lernen einer Liste mit fünf bis neun sinnlosen Silben gelingt, wohingegen Listen die über diese Anzahl hinausgehen, eine zunehmend größere Anstrengung erfordern. Miller (1956) prägt für die begrenzte Kapazität des KZG bzw. die Gedächtnisspanne den Begriff der »Magical Number«  $7 \pm 2$ . Hierbei handelt es sich aber keineswegs um feste Speichereinheiten, wie etwa jene Bits und Bytes, mittels derer die Speicherkapazität eines Rechners beschrieben werden kann. Vielmehr handelt es sich um »Beziehungseinheiten«, die entweder auf der Grundlage von zeitlich und/oder räumlichen Aspekten (z.B. rhythmisch gesprochene Sprache) oder aber auf der Grundlage semantischer Aspekte (z.B. Integration verschiedener Informationseinheiten auf Regelbasis, Syntax) individuell definiert sind. Diese »Beziehungseinheiten« werden von Miller mit dem Terminus »Chunks« und der Vorgang zu ihrer Bildung mit »Chunking« belegt. Somit ist die KZG-Kapazität als  $7 \pm 2$  Chunks definiert. Die Gedächtnisspanne steht jedoch in sonderbarem Widerspruch zum Recency-Effekt, von dem seinerseits gleichermaßen behauptet wird, die KZG-Kapazität zu reflektieren. Ein typischer Recency-Effekt umfasst nämlich lediglich zwei bis vier Items. Darüber hinaus lassen sich auch Manipulationen finden, die einerseits die »Magical Number« beeinflussen andererseits jedoch nicht den Recency-Effekt (Conrad & Hull, 1964; Watkins, Watkins & Crowder, 1974). Dies hat in der Vergangenheit immer wieder zu Debatten darüber geführt, welches von beiden Maßen getreuer die begrenzte Kapazität des KZG abzubilden in der Lage ist bzw. ob (in zuvor beschriebenem Sinne) überhaupt von einem dichotomen Gedächtnismodell ausgegangen werden darf.

Eine zentrale Funktion des KZG spiegelt sich in seiner Eigenschaft als Arbeitsgedächtnis wider. In Analogie zu einer Werkstatt (Klatzky, 1980) kann das LZG mit den Regalen verglichen werden, auf denen Formen, Materialien und Pläne liegen, die zur Bearbeitung auf die Werkbank (Arbeitsgedächtnis) geholt, manipuliert und im Anschluss wieder zurückgelegt werden. Die Auffassung des Arbeitsgedächtnisses ist die von einem dynamischen Gedächtnis, das nicht nur passiv Informationen speichert, sondern darüber hinaus auch geeignet ist, diese Informationen mentalen Manipulationen zu unterziehen.

Eine für die Konsolidierung von Informationen im LZG entscheidende Manipulation ist das *Rehearsal* (Sperling, 1967).

Dabei werden grundsätzlich zwei qualitativ unterschiedliche Rehearsal-Typen unterschieden.

Zum einen wird das ledigliche Halten von Informationen durch subvokales Wiederholen als »*Maintenance Rehearsal*« bezeichnet. Information kann somit über eine längere Zeit im KZG präsent gehalten werden. Soll jedoch eine langfristige Speicherung erfolgen: ein Übertrag von Informationen aus dem KZG in das LZG, ist das sog. »*Elaborative Rehearsal*« erforderlich ( Craik & Watkins, 1973). Hier wird angenommen, das durch das Anlegen semantischer Assoziationen, Informationen im Kurzzeitspeicher eine Verfestigung und Konsolidierung im LZG erfahren.

Auf der Basis empirischer Evidenzen (z.B. Glenberg, Smith & Green, 1977) ist es jedoch fragwürdig, inwiefern eine konzeptionelle Trennung der beiden Rehearsal-Typen bedeutsam ist, zumal die Annahme, dass ein sinnfreies subvokales Wiederholen von Informationen im Gedächtnis längerfristigen Abrufverfolg unberührt lassen sollte, nicht ganz korrekt ist. Als Alternative dazu, lassen sich die Rehearsal-Typen als Pole eines Kontinuums denken, das von einer relativ oberflächlichen Verarbeitung zu einer immer tieferen reicht, womit dann aber konzeptionell nichts anderes gewonnen wäre, das nicht ohnehin schon durch die »Levels of Processing Theory« (Craik & Lockhart, 1977) thematisiert wird.

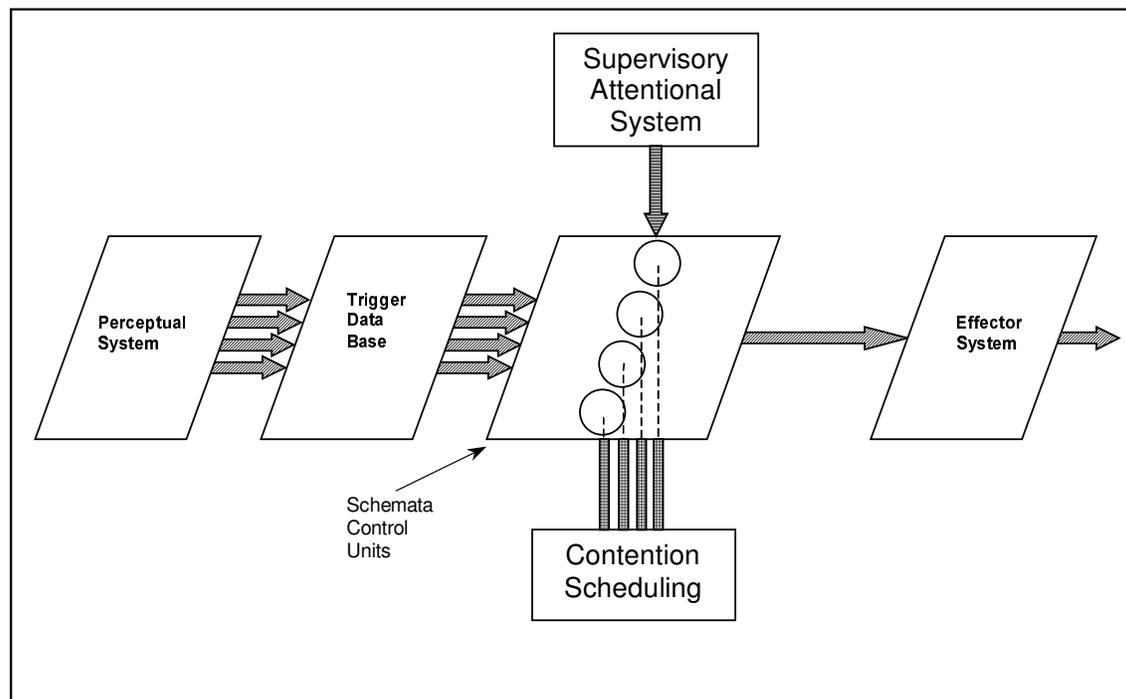
### **Das »Working Memory« Modell von Alan Baddeley**

Die Einflussreichste und empirisch fundierteste Konzeption des Arbeitsgedächtnisses (engl. Working Memory) haben Baddeley und Hitch (1974) entwickelt. Ausgehend von der Leitfrage, ob das modale KZG gleichsam als Arbeitsgedächtnis fungiert, differenzieren die Autoren ein generelles (WMG) und die Möglichkeit spezifischer (WMS) Arbeitsgedächtnissysteme, immer jedoch mit Blick auf eine einheitliche Konzeption. Der empirische Zugang erfolgt über die Eigenschaft des KZG als ein System mit begrenzter Kapazität (Baddeley, 1986) und der Frage, in welcher Weise mentale Operationen, von denen man annehmen kann, dass sie im Arbeitsgedächtnis vollzogen werden, durch eine kapazitätsvermindernde Sekundäraufgabe (i.d.R. Memory-Span Task) kompromittiert würden.

Die Kapazitätsabsorption durch eine Sekundäraufgabe zeigt Baddeley zufolge hinreichend einheitlich-kohärenten Effekte über einen größeren Bereich unterschiedlicher Aufgaben (Reasoning, Comprehension, Learning) hinweg. Dennoch zeigen sich auch Effekte, die nicht mit einem modalen Modell zu vereinbaren sind: zum einen bleibt der Recency-Effekt von der »Memory-Load« (Anzahl der Ziffern in der Memory-Span Task) der Sekundäraufgabe relativ unbehellig, zum anderen kann eine relative Unsensibilität zwischen Memory-Load einerseits und Abrufgenauigkeit andererseits festgestellt werden.

Im Ergebnis präsentieren Baddeley und Hitch (1974) ein Modell des Arbeitsgedächtnisses, das die Idee eines vereinheitlichten Gedächtnisses zurückweist und ein System aus drei Komponenten annimmt. Demnach besteht der Kern des Modells in einer zentralen Kontrolleinheit: des *Central Executive*, einem System mit begrenzter Kapazität, das die Auswahl und Operation von mentalen Prozessen kontrolliert, und zweier Koprozessoren, die spezifisch in Abhängigkeit von visuellem (*Visuo-Spatial Scratch Pad*) und auditivem (*Articulatory Loop*) Material fungieren.

Die Zentrale Exekutive ist faktisch mit dem *Supervisory Attentional System* (SAS) von Norman und Shallice (1980) gleichzusetzen (siehe Abb. 11 und vgl. S. 6).



**Abbildung 11 – Informationsverarbeitungsmodell nach Norman und Shallice (1982). Informationen werden zunächst parallel verarbeitet und aktivieren konkurrierende Handlungs- und Wahrnehmungsschemata. Schemata werden entweder automatisiert durch »Contention Scheduling« oder aber durch ein in seiner Kapazität begrenztes und aufmerksamkeitspflichtiges »Supervisory Attentional System« ausgewählt. Letzteres ist deckungsgleich mit dem von Baddeley und Hitch (1974) angenommenen »Central Executive« des Arbeitsgedächtnisses.**

Empirische Evidenzen auf der Basis der Generierung von Zufallsbuchstabenfolgen zeigen einen negativen korrelativen Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Redundanz in der Buchstabenfolge und der Geschwindigkeit, mit der diese Folgen generiert werden müssen. Gleiches gilt für Generierungsgeschwindigkeit einerseits und der Anzahl von Digrammwiederholungen und stereotypen Digrammen (Buchstabenpaare) andererseits.

Es wird angenommen, dass der Abruf von Inhalten aus dem LTM auf Grundlage von Strategien erfolgt, die im Arbeitsgedächtnis vorliegen, so dass es immer wieder zur

Aktivierung von Assoziationsschemata kommt, die im Kontext der geforderten Zufälligkeit letztlich aber nicht zu befriedigenden Ergebnissen führen und somit immer wieder seitens des SAS aufgebrochen und ersetzt werden müssen. Dieser Prozess ist mit Mühe (engl. Effort) verbunden und aufmerksamkeitspflichtig. Schnelle Generierungsraten bringen das SAS an seine Kapazitätsgrenze (engl. Capacity-Overload) und führen damit zu einer vermehrten Produktion von Stereotypen (z.B. CIA, TV ...), Wiederholungen und Redundanzen.

Dem Arbeitsgedächtnis fällt somit eine zentrale Rolle hinsichtlich der operativen Eigenschaften des episodischen Gedächtnisses zu. Es bildet die Schnittstelle zwischen aufmerksamkeitspflichtigen mentalen Operationen (Denken, Wahrnehmen) einerseits und Enkodierungs- und Abrufprozessen in Bezug auf unterschiedliche Gedächtnissysteme andererseits. Dies gilt nicht nur für kurzfristige Gedächtnisprozesse.

### **Subjektive Organisation und Enkodierung**

Die Qualität der Informationsenkodierung ist für den längerfristigen erfolgreichen freien Abruf gelernter Materials (Wortliste) von entscheidender Bedeutung, wie das schon die Konzeptionen des Chunking und Rehearsals implizieren. Das Enkodieren des Materials einer Wortliste erfordert einerseits die Assoziationenbildung mit bereits bestehenden Inhalten des LZG, geht aber darüber hinaus, indem eine aktive Neuorganisation des Materials im Arbeitsgedächtnis nach subjektiv verfügbaren Strategien stattfindet.

Das sich das so verhält, kann an der bemerkenswerten Konsistenz (engl. *Recall-Consistency*) abgelesen werden, mit der die Wörter einer Liste über mehrere Durchgänge hinweg in einer individuellen und anderen, als der vorgegeben, Reihenfolge abgerufen werden. Das es sich bei einer solchen subjektiven Organisation von Lernmaterial um eine erfolgreiche Strategie handelt, kommt durch die positive Korrelation des *Recall-Consistency-Index* mit *Free Recall Maßen* zum Ausdruck (Tulving, 1962).

Die mentale Gruppierung von Items einer Wortliste nach semantischen Kategorien stellt dabei ein geeigneter Rahmen dar (engl. *Category Clustering*), um die Umorganisation des Materials mit Hinblick auf die Optimierung des Abruferfolges vorzunehmen. Wie Bousfield (1953) zeigt besteht die Tendenz, Wörter einer Wortliste nach den semantischen Kategorien gruppiert abzurufen, wenn dies das zugrundeliegende Material erlaubt, auch dann, wenn Probanden diesbezüglich keinen expliziten Hinweis erhalten. Bower (1972a) vertritt hierzu die Auffassung, dass während des Enkodierungsprozesses zunächst einmal die zugrundeliegenden Kategorien abstrahiert und in einem nächsten Schritt, die in der Wortliste

enthaltenen Wörter mit der jeweiligen Kategorie assoziiert werden. Der Abrufprozess erfolgt über den direkten Zugriff auf die Kategorien und somit indirekt auf die jeweils assoziierten Wörter.

Die Wirksamkeit subjektiver Organisationsbemühungen liegt letztlich jedoch einer Interdependenz zwischen Enkodierung und Abruf zugrunde, wie dies Tulving und Thomson (1973) durch die *Encoding-Specificity Hypothese* zum Ausdruck bringen. Die Qualität der Enkodierung bestimmt demnach die Güte der Speicherung und die zum Zugriff auf die gespeicherten Inhalte effektiven Hinweisreize (engl. Cues). D.h. wenn die Umstände des Lernens jenen des Abrufs gleichen, sind die besten Resultate zu erwarten. Infolge dessen ist es nicht weiter überraschend, wenn ein durch Hinweisreize (z.B. Name der semantischen Kategorie) begleiteter Abruf (engl. Cued Recall) einem freien Abruf überlegen ist.

Die Reichhaltigkeit der Assoziationenbildung mit Inhalten des LZG bzw. die Einbettung des zu lernenden Materials in bereits bestehende semantische Netzwerke ist ebenfalls entscheidend für die Qualität der Encodierung und kann mittels Mediator-Strategien bzw. Mnemotechniken optimiert werden, wovon die Loci-Methode eines unter einer Vielzahl von Beispielen ist. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Vertrautheit mit dem Lernmaterial bzw. dessen Bedeutsamkeit (Noble, 1961) vor dem Hintergrund der Wissensbasis (semantisches Gedächtnis), über die ein Individuum verfügt. Im Kontext einer individuellen Lernbiographie führt dies zur Schlussfolgerung, dass insbesondere in Bereichen einer persönlichen Expertise, das Lernen neuer Inhalte besonders gut gelingt. Chase und Simon (1973) demonstrieren diesen Umstand an der herausragenden Fähigkeit von Schachgroßmeistern im Vergleich zu Laien nach nur kurzer Expositionszeit komplexe Figurenkonstellationen komplett rekonstruieren zu können. Jedoch gelingt dies nur, wenn die Stellung der Figuren einen Sinn hinsichtlich einer möglichen Spielsituation ergibt. Darüber hinaus kann auch eine Überlegenheit visuellen gegenüber verbalen Materials festgestellt werden (Picture-Superiority Effect). Dabei wird angenommen, dass Bilder sowohl verbal als auch piktorial enkodiert werden und dass multiple Codes in größerem Maße geeignet sind, zu einem robusten episodischen Gedächtnis beizutragen. So kann der Abruferfolg einer Wortliste beispielsweise dadurch gesteigert werden, indem man Probanden ermutigt, die Wörter während der Präsentation zu imaginieren (Paivio, 1986).

## Die Gedächtnisleistung auf Grundlage von Wortlisten

### *Wiedererkennen*

Hinsichtlich des Abrufs zuvor gelernter Wörter ist auffallend, dass die Leistungen eines Wiedererkennenstests (Recognition) erheblich über denen des freien Abrufs (Free Recall) liegen und dass darüber hinaus auch eine bedeutend langsamer verlaufende Vergessensrate mit Wiedererkennenstests verbunden ist (Shepard, 1967).

Wiedererkennenstests können auf unterschiedliche Weise appliziert werden. Ein herkömmliches Verfahren besteht darin, dass Zielwörter und Distraktoren sukzessive dargeboten werden und der/die Proband/in jeweils zu entscheiden hat, ob ein betreffendes Wort in der eingangs gelernten Wortliste enthalten war oder nicht.

In Abhängigkeit davon, ob nun ein präsentiertes Wort fälschlich oder korrekterweise zurückgewiesen oder bestätigt wird, ergibt sich die prominente Kontingenztafel mit den Feldern Hit, False Alarm, Correct Rejection und Missing, die der *Signal-Detection Theorie* zugrunde liegt (vgl. S. 16). Die Abruf-Theorie des Wiedererkennens (engl. *Retrieval-Theory of Recognition*) macht sich dies zu eigen und erklärt den Vorgang des Wiedererkennens auf der Grundlage eines Rausch-Signal Verhältnisses. Demnach besitzt jedes Wort des passiven Sprachschatzes eines Individuums eine bestimmte Gedächtnisstärke bzw.

Wiedererkennenswahrscheinlichkeit (engl. memory strength), so dass die Wahrscheinlichkeitsdichte aller Wörter eines Sprachschatzes einer Normalverteilung folgt. Wird nun ein Subset von Wörtern im Zuge eines Gedächtnisexperimentes ein oder mehrfach dargeboten, steigt diese Wahrscheinlichkeit für ein jeweiliges Wort um einen unbestimmten aber konstanten Betrag an. Mit dem Ergebnis, dass die Verteilung des Wiedererkennenswahrscheinlichkeit der durch die Liste präsentierten Wörter erneut einer Normalverteilung folgt, deren Mittelwert jedoch um einen bestimmten Betrag in Richtung einer größeren Wahrscheinlichkeit verschoben ist. Dieser Vorgang wird mit Erregungs-Shift bezeichnet und dessen Ausmaß wird mit der *Sensibilität*  $d'$  zum Ausdruck gebracht.

Die Sensibilität alleine ist jedoch noch nicht hinreichend für die Erklärung des Wiedererkennensvorganges. Zuzüglich muss ein *Entscheidungskriterium*  $\beta$  vorhanden sein, das den Wahrscheinlichkeitsraum in zwei voneinander unterschiedliche Abschnitte begrenzt. Wörter, deren Wiedererkennenswahrscheinlichkeiten geringer als  $\beta$  sind werden demzufolge als Distraktoren identifiziert und Wörter deren Wiedererkennenswahrscheinlichkeit über  $\beta$  liegen werden wiedererkannt.

Das die Signal-Detection Theorie des Wiedererkennens tatsächlich eine Retrieval-Theorie ist, kommt darin zum Ausdruck, dass es mit ihrer Hilfe durchaus möglich ist, einige bekannte Phänomene wie z.B. *Item-Ähnlichkeits-* oder *Wort-Häufigkeitseffekte* zu erklären.

Die Beobachtung, wonach Distraktoren mit semantischer Ähnlichkeit zu den Zielwörtern (z.B. Hund – Katze) zu einer reduzierten Wiedererkennensleistung führen, wird durch Aktivierungsausbreitung innerhalb des semantischen Gedächtnisses erklärt. D.h. jede Präsentation eines Items innerhalb einer Wortliste führt nicht nur zu einem Wahrscheinlichkeitsinkrement aufseiten des Zielwortes, sondern auch hinsichtlich der im selben semantischen Netzwerk enthaltenen Einheiten, so dass der durch die Listenpräsentation resultierende Erregungs-Shift bzgl. semantisch ähnlicher Distraktoren relativ gering und die Fehlerrate somit hoch ist.

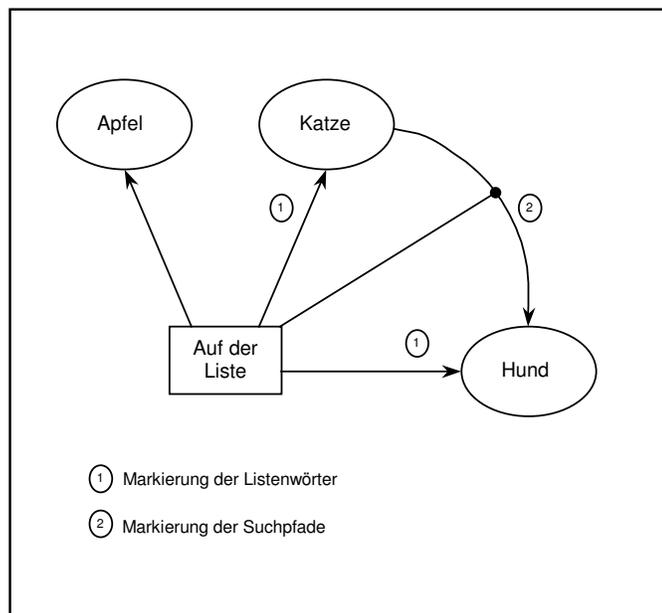
Die Erklärung für den Wort-Häufigkeitseffekt (Shepard, 1967) folgt im Kern derselben Argumentation. In der Regel gelingt das Wiedererkennen seltener Wörter besser, als Wiedererkennen von Wörtern, mit welchen man häufiger konfrontiert wird. Zumal seltene Wörter hinsichtlich semantischer Netzwerke nur eine geringe Vernetzung aufweisen, kann demzufolge keine weitreichende Aktivierung assoziativer Distraktoren erfolgen. Die Folge davon ist ein relativ großer Erregungs-Shift und eine geringe Fehlerhäufigkeit in Wiedererkennentests.

### *Freier Abruf*

Eine prominente Retrieval-Theorie, die den freien Abruf thematisiert, basiert gleichermaßen auf der Signal-Detection Theorie des Wiedererkennens.

Das »Generation-Recognition-Model« (Anderson & Bower, 1972, Kintsch, 1970) nimmt für den freien Abruf einen zweistufigen Prozess an und wird deshalb zuweilen als »Dual-Process Hypothesis of Free Recall« bezeichnet. Das Kernkonzept bildet ein strukturalistisches *Assoziatives-Netzwerk-Modell* (Anderson & Bower, 1972), das besonders in deskriptiver Weise geeignet ist, Vorgänge im Zuge der Enkodierung abzubilden. Danach werde zunächst einmal alle Wörter, die auf der Grundlage einer Gedächtnisliste nach und nach präsentiert werden, mit einem Marker versehen (z.B. auf der Liste). Können darüber hinaus entlang des Suchpfades weitere Zielwörter entdeckt werden, wird auch deren gemeinsamer Pfad mit einem Marker versehen. Die assoziationsreichsten Listenwörter erhalten den Status des Starter-Set, d.h. bei einem nachfolgenden Abrufversuch dienen diese Wörter als Ausgangspunkt für den Suchprozess im so erhaltenen Assoziativen Netzwerk (siehe Abb. 12).

Der Vorgang der Netzwerkbildung vollzieht sich zwar im semantischen Gedächtnis, durch die Markierung erhält er aber einen episodischen Charakter.



**Abbildung 12 – Assoziatives-Netzwerk Modell nach Anderson & Bower (1972).** Im Zuge des Enkodierens werden die in der Liste enthaltenen Wörter innerhalb des semantischen Gedächtnisses vernetzt. Gegebenenfalls unterliegen auch direkt verknüpfende Suchpfade dieser Vernetzung. Dies ist dann der Fall, wenn eine semantische Beziehung in Form einer Proposition zwischen zwei Wörtern besteht.

Unter Abrufbedingungen wird nun das Netzwerk, initiiert von Wörtern des Starter-Set, entlang der Suchpfade durchlaufen und es werden nach und nach alle Knoten (Wörter) eines gegebene Suchpfades inspiziert.

Es ist jedoch offensichtlich, dass die Anzahl der Knoten weit über die in der Liste enthaltenen Wörter hinaus geht, zumal das auf Basis der Liste *organisierte* Assoziative Netzwerk lediglich ein Subnetzwerk des gesamten semantischen Gedächtnisses ist. Es muss also hinsichtlich jedes inspizierten Knotens eine *Entscheidung* darüber gefällt werden, ob das betreffende Wort tatsächlich in der Liste enthalten war oder nicht. Diese Entscheidung, so postulieren Anderson und Bower (1972), wird nach den Prinzipien des Wiedererkennens gefällt und kann somit durch die Signal-Detection Theorie des Wiedererkennens beschrieben werden. Diese, auf der Grundlage der Assoziativen Netzwerke beruhende, Free-Recall Theorie nimmt dementsprechend eine Dissoziation zwischen dem freien Abruf zugrundeliegenden Suchprozess einerseits und Entscheidungsprozess andererseits an. Tatsächlich kann diese Dissoziation auch beobachtet werden. Der Organisationsgrad von Wörtern einer Gedächtnisliste sollte demnach lediglich einen Einfluss auf den Suchprozess, nicht jedoch auf den Entscheidungsprozess ausüben. Durch die Manipulation des Assoziativitätsgrades mit dem Wörtern einer Gedächtnisliste ihren jeweiligen semantischen Kategorien zugerechnet werden können, hat Kintsch (1968) den Nachweis erbracht, dass, in Übereinstimmungen mit der Vorhersage, das Ausmaß der freien Abrufleistung in Abhängigkeit einer geringen Assoziativität leidet, nicht jedoch das Wiedererkennen.

Probleme bereitet jedoch der Umstand, wonach die Theorie keine Qualifizierung für das Phänomen der *Listen Differenzierung* erlaubt, d.h. die Fähigkeit, mit der frei abgerufene Items in korrekter Weise mehreren zugrundeliegenden Wortlisten zugerechnet werden können.

Mittels eines relativ komplexen Experimentaldesigns haben darüber hinaus Tulving und Thomson (1973) Daten produziert, die gleichermaßen in Widerspruch zur *Dual-Process Theory of Free Recall* stehen. Die Autoren erbringen den Nachweis, wonach es möglich ist, dass Abrufleistungen (mit Hinweisreizen) Wiedererkennungslleistungen gegenüber durchaus überlegen sein können. Dieser »Recognition Failure« Effekt erweist sich als sehr robust und erzwingt eine Modifikation der Dual-Process Theory.

Anderson (1976) betont nun propositionale Netzwerke anstelle der einfachen Verknüpfung semantischer Einheiten. Der Enkodierungsprozess ist somit auch geeignet den gesamten Kontext eines Lernexperiments zu berücksichtigen. Hinsichtlich des Abrufvorganges wird nun völlig auf den Entscheidungsprozess im Sinne der Signal-Detection Theorie verzichtet. Vielmehr liegen dem Abruf nun zwei voneinander getrennte Suchprozesse zugrunde: zunächst die Suche nach der, das Listenwort enthaltenden, Proposition, gefolgt von der Suche nach der Markerproposition, die das jeweilige Wort als zur Liste zugehörig ausweist. Durch Inkorporation der Kontextbedingungen hinsichtlich des Enkodierungsvorgangs und eines »Episode Matching« bzgl. des Abrufs erfüllt das modifizierte Modell nun die Forderungen der »Encoding Specificity« (Tulving & Thomson, 1970).

## **Lernen, Gedächtnis und funktionelle Neuroanatomie**

Die Entwicklung bildgebender Verfahren (functional Magnetic Resonance Imaging; fMRI, Single Photon Emission Computed Tomography; SPECT, Positron Emission Tomography; PET u.s.w.) führt auch in der Gedächtnisforschung zu dem Bemühen das neuronale Substrat zu identifizieren bzw. jene Vorgänge im Gehirn sichtbar zu machen, die mit den jeweiligen kognitiven Vorgängen des Enkodierens, Konsolidierens und des Abrufs korreliert sind. Das anfänglich eher fragmentarische Bild, das infolge von klinischen und tierexperimentellen Läsionsstudien entstanden ist, wird Zug um Zug weiterentwickelt und vervollständigt. Gegenwärtig sind relativ kohärente und umfassende Modellvorstellungen der Gedächtnissysteme entstanden, die infolge der Integration experimenteller Paradigmen und bildgebenden Verfahren gewonnen werden konnten.

Der Vorgang des Lernens ist mit Notwendigkeit an die Fähigkeit des Einspeicherns von Informationen gebunden. Damit steht mit den Gedächtnissystemen ein Adaptationsapparat zur Verfügung, der einem Organismus die flexible und plastische Auseinandersetzung mit der Umwelt ermöglicht.

Genau betrachtet ist das Lernen eine Eigenschaft von Zellen des Zentralnervensystems (ZNS): den Neuronen. Jedoch trägt die Kenntnis zellulärer Mechanismen des Lernens zum Verständnis der unterschiedlichen Gedächtnissysteme genauso viel oder wenig bei, wie aus der Kenntnis von Eigenschaften und Verhaltensweisen von Gasen, das Wetter vorhersagbar ist. Lokale Veränderungen müssen in ihrem Kontext, den lokalen Netzwerken betrachtet werden. Hier zumal kann die Modifikation zellulärer Eigenschaften in ihrer Gesamtheit eine bedeutungstragende Einheit erzeugen. Lernen oder Gedächtnisbildung gleicht somit einer permanenten Neukalibrierung hinsichtlich der Eigenschaften und Funktionsweisen zugrundeliegender Netzwerke. Aber selbst von dieser Ebene muss weiter abstrahiert werden. Denn die Verknüpfung lokaler Netzwerke bringt erneut Eigenschaften hervor, die aus der isolierten Kenntnis solcher lokalen Netzwerke kaum oder gar nicht vorhersagbar ist. Es interagieren demzufolge nicht nur Zellen und Zellverbände, sondern auch Netzwerke über einen großen Skalenbereich. Mit der Folge, dass ein zunehmender Grad an Komplexität aber auch Flexibilität sichtbar wird (Mesulam, 1998).

Beinahe jede Zelle des ZNS ist durch Lernen manipulierbar. Diese Manipulationen betreffen die Veränderung der Leitfähigkeit von Ionenkanälen, Langzeitpotenzierung (Long-Term Potentiation, LTP) und Langzeitdepression (Long-Term Depression, LTD), die synaptische Effizienz oder strukturelle synaptische Veränderungen infolge einer durch Lernen modifizierten Genexpression.

Dabei sind die durch Lernen induzierten zellulären Modifikationen häufig multipler Natur, d.h. es können sowohl langfristige oder kurzfristige Effekte gleichzeitig in Gang gesetzt werden. Oder aber die Änderung von Eigenschaften der Ionenkanäle und die Effizienzsteigerung auf Seiten der präsynaptischen Endigungen gehen Hand in Hand.

Am Beispiel des Siphon-Kiemen Reflexes von *Aplysia* können solche multiplen Modifikationen sehr genau untersucht und beschrieben werden (Kandel, 1995). So führt eine mehrfache Sensitivierung mittels Elektrostimulation des Schwanzes zu spezifischen Modifikationen von Interneuronen, welche die konvergente Signalübertragung zwischen Siphon und Kiemen beeinflussen. Über serotonerge Rezeptoren wird ein cAMP-Second Messenger System in Gang gesetzt, das seinerseits die katalytischen Untereinheiten der cAMP-abhängigen Proteinkinase aktiviert. Dieses führt kurzfristig zur Phosphorylierung von mehreren Zielproteinen und schließt die Blockierung von  $K^+$ -Kanälen genauso mit ein, wie auch Membranmechanismen, welche die Verfügbarkeit und Ausschüttung von Transmittern regulieren.

Darüber hinaus findet jedoch eine Translokation der cAMP-abhängigen Proteinkinase in den Zellkern statt, wo sog. *cAMP response element-binding* Proteine (CREB) phosphoryliert und damit aktiviert werden. CREB ist ein transkriptionsregulierendes Protein und aktiviert zwei unterschiedliche Klassen von Effektorgenen, die wiederum zwei unterschiedliche Proteine kodieren, deren Effekte langfristig von Bedeutung sind: zum einen baut Ubiquitinhydrolase die regulatorischen Untereinheiten der cAMP-abhängigen Proteinkinase ab und induziert somit eine persistierende Aktivierung der katalytischen Untereinheiten, die nun wiederum zu einer permanenten Phosphorylierung der oben beschriebenen Zielproteine und damit einer dauerhaften Modifikation der Membranmechanismen und  $K^+$ -Kanäle führt. Zum anderen werden Wachstumsproteine exprimiert, die zu einer strukturellen Erweiterung der aktiven präsynaptischen Membranoberfläche und der Neuausbildung synaptischer Verbindungen beitragen.

### *Unimodale vs. transmodale Gedächtnissysteme des Gehirns*

Offensichtlich sind aber nicht alle Neuronen des ZNS vergleichbar gut zum Lernen geeignet. Vielmehr hängt die Plastizität synaptischer Verbindungen von der Tiefe der Verarbeitungsstufe ab. Dabei gilt, dass das Aktivitätsverhalten von Neuronen, die den ersten synaptischen Niveaus angehören im Tiermodell ungleich schwerer beeinflussbar ist (z.B. Amputation von Gliedmassen, anhaltende Stimulation durch anomale visuelle Reize, Durchtrennung von Nerven u.s.w.), als das der Neuronen, die eher downstream liegen und ab der Ebene der unimodalen Assoziationskortex in neuronale Netze eingebettet sind

(Creutzfeld & Heggelund, 1975; Wiesel, 1981; Cruikshank & Weinberger, 1996). Dies entbehrt nicht einer gewissen Plausibilität, zumal man annehmen möchte, dass die funktionelle Bedeutung synaptischer Verbindungen der ersten Stufen zu einer genauen und schnellen Mustererkennung beitragen sollte und daher ein verändertes Verhalten auf ein und denselben Reiz eher unerwünscht ist.

Gleichermaßen nehmen hinsichtlich downstream gelegener Neuronen auch die Reizungsbedingungen komplexere Formen an, wenn Aktivität induziert werden soll. So können in inferiotemporalen Kortex Zellen identifiziert werden, die im Sinne einer Gruppenkodierung auf relativ komplexe visuelle Muster und Gesichter reagieren (z.B. Sobotka & Ringo, 1993), ferner lassen sich Zellen des medial-temporalen Kortex mit Wortkodierung in Verbindung bringen (Ojemann et al., 1988), Zellen des dorsoparietalen Kortex mit räumlichen Beziehungen (Owen et al., 1996) und Zellen des posterior-parietalen und präfrontalen Kortex reagieren gar auf multimodale Assoziationen (Haxby et al., 1997).

Transmodale Kortizes entbehren völlig einer Spezifität für irgendeine sensorische Modalität. Sie befinden sich auf der fünften bis sechsten synaptischen Stufe und umfassen alle heteromodalen, limbischen und paralimbischen Regionen des ZNS. Dabei erhalten sie reziproke Projektionen zu unimodalen sensorischen Kortizes und ermöglichen somit einen sensorisch konvergenten Informationsfluss.

Multimodale Konvergenz ist eine notwendige Bedingung für die Ausbildung eines Gedächtnissystems, dass aus einem kohärenten, auf der Basis multipler sensorischer Informationen integrierten Erfahrungsbild besteht. Diese multimodale Konvergenz wird durch die Errichtung cross-modaler (konvergenter) Assoziationen einerseits und die Adressierung bzw. das »Binding« über den gesamten Kortex verteilter Informationsquellen andererseits ermöglicht (Mesulam, 1998).

### *Der hippocampale-entorhinale Komplex und das episodische Gedächtnis*

Die für das episodische Gedächtnis kritische Struktur ist der hippocampale-entorhinale Komplex des medial-temporalen Kortex, wie erstmals an den Folgen der bilateralen Hippokampektomie des Patienten H.M. (Milner et al., 1959) demonstriert werden konnte. H.M. war nach dem Eingriff nicht mehr länger in der Lage explizite Gedächtnisinhalte wiederzugeben, wenn die zeitliche Verzögerung zwischen dem Eintritt eines Ereignisses und dem Abruf länger als einige Minuten dauerte. Dem entgegen zeigten aber seine impliziten Gedächtnisleistungen (auf der Basis einer gespiegelten »Tracking-Task«) unauffällige Werte.

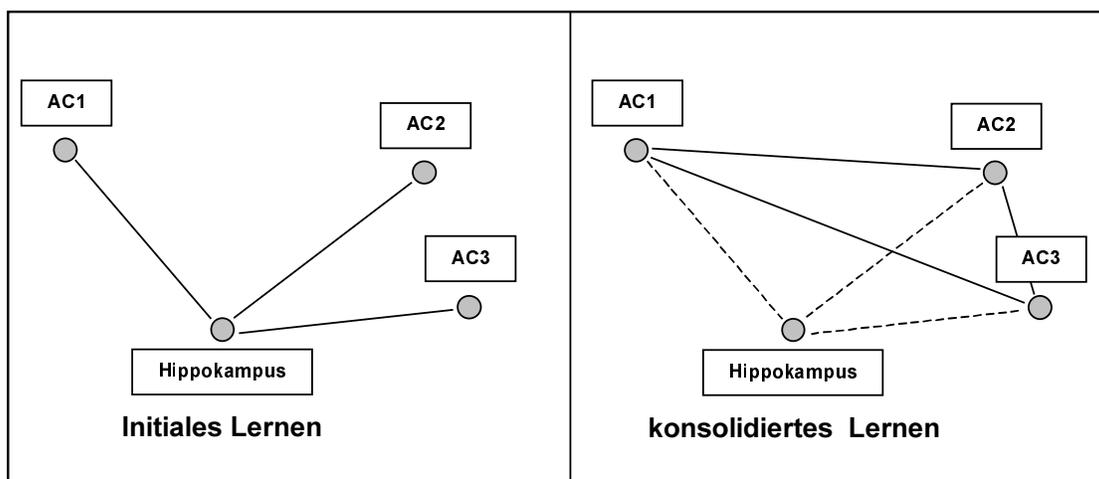
Es besteht demzufolge ein fundamentaler Unterschied in der Enkodierung impliziter gegenüber expliziter Gedächtnisinhalte.

Während die dem impliziten Gedächtnis zugrundeliegende Information in ihrer fragmentarischen Gestalt bestehen bleibt und in der Regel innerhalb uni- und/oder heteromodaler Assoziationskortexes repräsentiert ist, erfordert das explizite Gedächtnis die Inkorporation jener Informationen auf Grundlage der »Binding« Funktion des limbischen Systems in einen kohärenten Kontext.

Das »Binding« entspricht gleichsam einer Adressierung unterschiedlicher unimodaler Kortexes, die jeweils sensorisch spezifische Ausschnitte der Umwelt repräsentieren. Die simultane Aktivität zweier Assoziationskortexes A und B führt, infolge der Hebb'schen Regel der Kovarianz, zu einer Verstärkung jener synaptischer Verbindungen im Transmodalen Kortex, die aufgrund der Projektionen aus A und B gemeinsam aktiviert werden. Dieses Modell repräsentiert zum einen die Adressierung von A und B, zum anderen wird jedoch auch eine Assoziation zwischen A und B etabliert (vgl. Abb. 14).

Erstaunlicherweise gilt jedoch ein umgekehrt proportionaler Zusammenhang zwischen der Intensität der Enkodierung und der Aktivität des hippocampalen-entorhinalen Komplexes (Pettersson et al., 1997).

Offensichtlich besitzt das Gedächtnissystem die Tendenz im Zuge der Konsolidierung, eine Vielzahl von Assoziationen über den gesamten Neokortex hinweg und insbesondere zwischen den, innerhalb einer assoziativen Matrix enthaltenen, uni- und heteromodalen Assoziationskortexes zu bilden, um die Möglichkeit eines Zugriffs auf derart verdichtete Assoziationsnetze zu erhöhen. Gleichzeitig jedoch, schwindet damit die Bedeutung der »Binding« Funktion und somit des limbischen Systems für den Abruf (siehe Abb. 13).



**Abbildung 13 – Schematische Repräsentation der »Binding« Funktion. Ihre Bedeutung verringert sich mit der Konsolidierung von Gedächtnisinhalten (AC = Assoziationskortex)**

Wenn letztlich jedoch die dauerhafte Repräsentation von Information jenen verteilten und miteinander assoziierten Netzwerken zugrunde liegt, ohne dass eine Beteiligung des limbischen Systems erfolgt, stellt sich die zwingende Frage, welcher Nutzen daraus für die Informationsverarbeitung des Gehirns entsteht.

Prinzipiell ist die Menge der verfügbaren Umweltinformation unendlich. Ein Organismus muss demzufolge eine Auswahl, der für ihn relevanten Informationen auf der Grundlage aktueller motivationaler Zustände und überdauernder ontogenetischer Ziele treffen, zumal die Ressourcen zur Informationsverarbeitung begrenzt sind.

Dieser Anforderung wird zunächst einmal durch selektive Wahrnehmungsvorgänge infolge von Aufmerksamkeitsprozessen Rechnung getragen. Unmittelbar bedeutsame Informationen werden somit einer Vorauswahl unterworfen und es wird damit sichergestellt, dass der kognitive Apparat nicht durch individuell bedeutungslosen »Informationsmüll« überlastet wird.

Es muss aber berücksichtigt werden, dass sich die Bedeutsamkeit von Information im individuellen Kontext bisweilen langfristig ändern kann, aufgrund von veränderten Zielsetzungen, motivationalen Zuständen und Umweltbedingungen. Daher ist ein Diskriminationsmechanismus auch für die zeitlich verzögerte Bewertung von erlerntem Material notwendig. Somit ergibt sich eine durchaus plausible Funktion für die, oben beschriebenen Konsolidierungsprozesse, abnehmende Bedeutung des hippocampalen-entorhinalen Komplexes. Dieser Vorgang verhindert das permanente Überschreiben langfristig angelegter Gedächtnisspuren oder Assoziationen, zumal die Verfestigung (Konsolidierung) in kortikalen Assoziationen nur jenen Informationen vorbehalten bleibt, die mehrfach und über unterschiedliche Zeiträume hinweg abgerufen werden und deren Bedeutsamkeit für den Organismus damit evident ist.

### *Der frontale Kortex und das Arbeitsgedächtnis*

Wie schon beschrieben, kommt dem Arbeitsgedächtnis bzgl. des Enkodierens neuer Information eine besondere Bedeutung zu. Es ermöglicht das interferenzgeschützte Halten und gleichzeitige Manipulieren von Informationen und führt damit zu assoziativen Verbindungen mit Inhalten des semantischen Gedächtnisses. Bildgebende und tierexperimentelle Verfahren legen eine Lokalisation des Arbeitsgedächtnisses in präfrontalen Strukturen nahe (z.B. Buckner & Tulving, 1995; Buckner et al., 2000. Tulving, 2002).

Einzellableitungen am frontalen Kortex von Affen legen entsprechend Mesulam (1998) folgende Eigenschaften offen: (1) Die Zellen zeigen selektiv verzögerte Aktivität auf

Gesichter, Objekte und räumliche Positionen, (2) frontale Aktivität ist durch eine erstaunliche Interferenzresistenz gekennzeichnet (im Verlauf eines A-B-C-D-A Paradigmas lässt sich keine Modifikation der Zellaktivität durch Distraktoren feststellen, Desimone, 1996), (3) Verzögerungsaktivität frontaler Neuronen lässt sich gleichermaßen hinsichtlich der Integration parallel verarbeiteter Reiz Aspekte beobachten (Rao et al., 1997). In selben Maße, wie das limbische System ist auch der präfrontale Kortex eine transmodale Region, die sich durch eine Vielzahl reziproker Projektionen zu weiteren gleichermaßen transmodalen und unimodalen sensorischen Kortizes auszeichnet. In der Eigenschaft als transmodaler Kortex ist die präfrontale Region des Frontallappens funktionell geeignet, die Rolle als »Binding« Struktur hinsichtlich einer »Top-Down« Koordination multimodaler Aspekte des Arbeitsgedächtnisses zu spielen.

Für die Enkodierung von Wörtern beim Menschen wurde gleichermaßen schon mehrfach eine bedeutende Rolle des präfrontalen Kortex nachgewiesen (Fletcher et al., 1995; Kapur et al., 1996; Kelley et al., 1998). Die Aufzeichnung frontaler Aktivität mittels Ereignis Korrelierter Potentiale (EKP) und fMRI ermöglicht sogar die Vorhersage von erfolgreichem oder nicht erfolgreichem Abruf in einem nachfolgenden Test (»Differences based on later memory«; z.B. Rugg, 1995; z.B. Buckner et al., 1996).

Die betreffenden Strukturen lassen sich durch die Brodmann Areale (BA) 6, 44, 45, 47 eingrenzen und lassen eine Hemisphärenasymmetrie zugunsten der linken Hemisphäre erkennen. Offensichtlich lassen sich diese vier Areale aber funktionell voneinander dissoziieren. Untersuchungsdesigns, die sich theoretisch an der »Levels of Processing« Theorie (Craik & Lockhart, 1977) orientieren und demzufolge Aktivitätsmessungen in Abhängigkeit davon durchführen, ob das gegebene Gedächtnismaterial eher oberflächlich nach seiner physikalischen Beschaffenheit oder aber tief nach seinem Bedeutungsgehalt enkodiert wird, zeigen folgenden Sachverhalt: BA 6 und 42 sind sowohl infolge einer oberflächlichen als auch tiefen Enkodierung aktiv, während BA 44, 45, und 47 vorrangig bei tiefer Enkodierung aktiv sind (Logan et al., 2000).

Den frontalen Feldern wird eine Inputfunktion zum hippocampalen-entorhinalen Komplex zugeschrieben. Dies ist auf der Basis einer doppelten Dissoziation von Beeinträchtigungen des episodischen Gedächtnisses infolge von Inaktivität des Frontallappens oder des limbischen Systems durchaus anzunehmen (Buckner & Tulving, 1995).

Buckner et al. (2000) kommen zum Schluss, dass spezifische präfrontale Regionen zur Elaboration (vgl. Elaborative Rehearsal) beitragen, so dass ein episodisches Gedächtnis angelegt werden kann. Dabei ist jedoch von Relevanz, welcher Art das zu enkodierende Material ist. Denn offensichtlich besteht eine Asymmetrie hinsichtlich verbalen bzw. non-verbalen Materials bzgl. der Enkodierung durch die linke oder rechte Hemisphäre (Riege et al., 1980) entsprechend den Implikationen des Multiple-Code Modells (Paivio, 1986).

### *Der Abruf von Gedächtnisinhalten – Interaktion zwischen frontalem Kortex und Hippokampus*

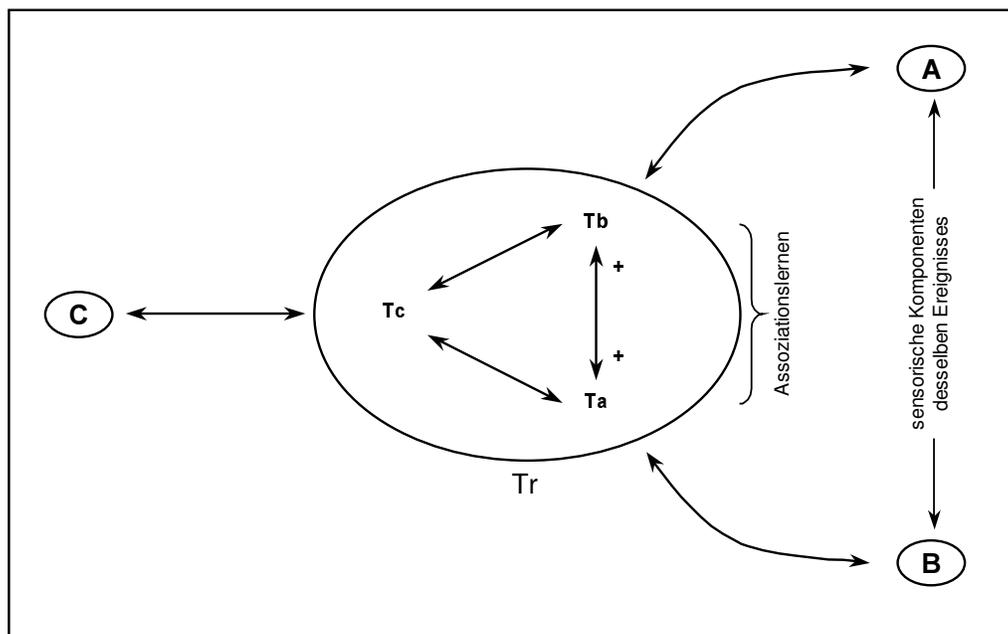
Abrufvorgänge können auf der Basis von »large-scale distributed networks« (Mesulam, 1998) veranschaulicht werden. Dabei führt die Aktivität in einem unimodalen sensorischen Kortex zu einer Erregungsausbreitung entlang transmodaler Projektionen und löst somit Assoziationen aus. Das Wiedererkennen hingegen entsteht infolge eines »Pattern Matching« von sensorisch aktivierten Netzwerken, die in ihren jeweiligen transmodalen Knoten konvergieren. Ein willkürlicher freier Abrufversuch jedoch erfordert eine »Top-Down« Aktivierung transmodaler Neurone, von der angenommen werden muss, dass sie im präfrontalen Kortex ihren Ausgang nimmt (siehe Abb. 14).

Vergleichbare Annahmen zur Rolle des präfrontalen Kortex liegen auch dem HERA-Modell (*Hemispheric Encoding-Retrieval Asymmetry*, Tulving, 2002) zugrunde. Jedoch sind hier auch wichtige Einschränkungen zu beachten. HERA fokussiert das episodische Gedächtnis und ist infolge der Ergebnisse bildgebender Verfahren am Menschen gewonnen worden. Entgegen der Annahmen von Buckner et al. (2002) entscheidet hier nicht das Material (verbal vs. non-verbal) über die Dominanz der rechten bzw. linken Frontallappens, vielmehr wird – unabhängig von der Art des Materials – der linken Hemisphäre eine Enkodierungsfunktion und der rechten Hemisphäre eine Abruffunktion im Kontext des episodischen Gedächtnisses zugeschrieben. Darüber hinaus wird in Übereinstimmung mit experimentell psychologischen Befunden die These vertreten, wonach links frontale Regionen gleichsam eine Abruffunktion im Kontext des semantischen Gedächtnisses besitzen, zumal in der Assoziationenbildung mit Inhalten des semantischen Gedächtnisses eine notwendige Bedingung für eine dauerhafte Enkodierung episodischen Materials besteht. Die rechts frontale Aktivierung im Zuge von Abrufversuchen wird als »Retrieval Mode« bezeichnet. Die Aktivität des »Retrieval Mode« ist, entgegen den Befunden von Buckner et al. (1996) nicht an den Erfolg gebunden, sondern reflektiert lediglich den Zustand mit dem das Gedächtnissystem in den Abrufversuch involviert ist. Empirische Untersuchungen (Lepage et al., 2000) ergeben sechs unterschiedliche »Retrieval Mode« Regionen: insgesamt fünf im präfrontalen Kortex. Zwei schwache davon linkslateral, drei starke rechtslateral gelegen und eine weitere im medialen anterioren Gyrus Cinguli.

Die Asymmetrische Aktivität des präfrontalen Kortex auf Basis von Abrufbemühungen findet auch alternative Interpretationen.

Nolde et al. (1998) schlagen ein »Retrieval« Modell vor, wonach Aktivität des rechten präfrontalen Kortex eine eher »heuristische«, auf der Basis eines isolierten Reizaspekts

erfolgende Abrufstrategie reflektiert, während links präfrontale Aktivität eine »systematische« und auf multiplen Reizaspekten beruhende Evaluation von Gedächtnisinhalten umfasst. Mittels fMRI und EKP können demzufolge differenziell lateralisierte Aktivitäten des frontalen Kortex in Abhängigkeit von der Bearbeitung *genereller* und *spezifischer* Wiedererkennentests gefunden werden (Ranganath & Paller, 1999). Dabei gehen spezifische Wiedererkennentests über die ausschließliche Beurteilung nach dem Vorhandensein der Testitems (genereller Wiedererkennentest) in den zugrundeliegenden Wortlisten hinaus, indem sie die Einschätzung ein oder mehrerer Reizaspekte bei positiven Testitems (Hits) erfordern (z.B. war die Abbildung ursprünglich groß oder klein?).



**Abbildung 14 – Der transmodale Kortex und seine Bedeutung für das Lernen. A, B, C repräsentieren unimodale Kortizes. Ta, Tb und Tc sind Neuronenverbände innerhalb des transmodalen Kortex Tr. Die sensorisch spezifischen Reizkomponenten eines Ereignisses sind innerhalb A und B repräsentiert. Findet eine isolierte Aktivierung durch A statt, führt dies zu spezifischen Assoziationen mit B (Associative Retrieval). Die simultane Aktivierung von A und B führt hingegen zum Wiedererkennen des erlernten Ereignisses (Recognition). Die »Top-Down« Aktivierung des gesamten Knotens Tr ist mit einem willkürlichen freien Abruf (Free Recall) assoziiert.**

### Interaktion zwischen Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozessen

Zumal der Vorgang des Lernens auf der Enkodierung aufgenommener Information beruht und zumal die Informationsaufnahme selbst wiederum einem selektiven Prozess folgt, muss davon ausgegangen werden, dass eine Wechselwirkung zwischen Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozessen besteht. Konzeptionell verdichtet sich dies – wie gesehen – in der

Modellannahme des Working Memory, wie es von Baddeley und Hitch (1974) beschrieben wird. Insofern Informationsverarbeitung nichtautomatisierten Prozessen unterliegt, sondern seriell-kontrolliert verläuft, wirkt sich jede induzierte Kapazitätsminderung des *Central Executive* abträglich auf die Performanz aus.

Die erfolgreiche Enkodierung von Information ist demzufolge gleich in mehrfacher Hinsicht von intakten Aufmerksamkeitsprozessen abhängig: (1) Der Rezipient einer Wortliste darf sich nicht von anderen Reizen ablenken lassen, (2) er muss seine Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum aufrecht erhalten, (3) er muss die empfangenen Informationen nach subjektiven Strategien organisieren und mindestens über eine kürzere Zeit halten, (4) er arbeitet nach fortgeschrittener Darbietung beständig am Kapazitätslimit seines Informationsverarbeitungs-systems.

Ähnliches lässt sich in Bezug auf den freien Abruf der erlernten Wortliste feststellen, wenn es darum geht, einen Suchprozess in Gang zu setzen, diesen über einen längeren Zeitraum aufrecht zu erhalten und die Wiederholung bereits geäußerter Items zu vermeiden.

Letztlich lassen sich die notwendigen und hinreichenden Bedingungen für die erfolgreiche Bewältigung einer Gedächtnisaufgabe (Wortliste) auf die Forderung nach *bewusstem Gewahrsein* der Zielinformationen und einer hinreichenden *Verarbeitungskapazität* bringen (Moscovitch & Umiltà, 1991). Im präfrontalen Kortex lokalisierte selektive Aufmerksamkeitsprozesse determinieren demnach, inwiefern Informationen einer weiteren Verarbeitung zugänglich gemacht werden, indem sie die Schwelle des bewussten Gewahrseins überschreiten oder nicht. Darüber hinaus bedarf es aber noch einer möglichst tiefen semantischen Elaboration damit dem hippokampalen-entorhinalen Komplex der Zugriff ermöglicht wird. Das Ausmaß und die Qualität der Elaboration ( Craik & Lockhart, 1972) entscheidet über die Erfolgswahrscheinlichkeit eines späteren Abrufs. Dieser Prozess ist jedoch eng an die verfügbare Informationsverarbeitungskapazität gebunden und kann durch die Bearbeitung einer konkurrierenden Sekundäraufgabe beeinträchtigt werden.

Mittels bildgebender Verfahren kann der Nachweis erbracht werden, dass insbesondere frontale und parahippokampale Strukturen zu einem auf erfolgreichem Abruf bezogenen Enkodierungsprozess in Verbindung stehen (Brewer et al., 1998). Darüber hinaus lässt sich ein umgekehrter Zusammenhang zwischen der Aktivität links frontaler Strukturen (BA 46) und der Intensität einer Sekundäraufgabe während des Enkodierungsvorganges beobachten (Fletcher et al., 1995), während hippokampale Strukturen kaum eine Veränderung unter geteilten Aufmerksamkeitsbedingungen zeigen (Iidaka et al., 2000). Bildgebende Verfahren ziehen jedoch eine geringe zeitliche Auflösung nach sich und verdecken somit die Aktivitätsdynamik, die sich im Verlauf eines erfolgreichen Enkodierungsprozesses über das gesamte Gehirn vollzieht.

Mangels et al. (2001) identifizieren auf der Basis ereigniskorrelierter Potentiale (EKP) mehrere frühe, späte und andauernde Wellen, denen zufolge der zeitliche Verlauf eines erfolgreichen Enkodierungsprozesses einerseits und dessen zugrundeliegende kognitive Komponenten andererseits beschrieben werden kann. Darüber hinaus lassen sich diese Potentiale hinsichtlich ihrer Manipulierbarkeit durch Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsprozesse differenzieren. So lassen sich relativ spät auftretende Peaks (P200, P280) beobachten, die zwar kaum Variationen auf der Basis von Gedächtniseffekten zeigen, wohl aber mit der Schwierigkeit einer Sekundäraufgabe korrelieren. Aufgrund der Lokalisation – P200 eher anterior und P280 eher posterior gelegen – nehmen die Autoren an, dass diese Potentiale die Aktivität in dem von Posner und Petersen (1990) vorgeschlagenen *Aufmerksamkeitsnetzwerk* reflektiert. Eine weitere späte, mit semantischer Verarbeitung in Verbindung gebrachte, Negativität (N340) lässt sowohl eine Abhängigkeit mit Gedächtnis- als auch Aufmerksamkeitsprozessen erkennen und ist fronto-temporal gelegen. Eine sehr spät einsetzende Welle (P550) reflektiert offenbar das Halten von Information im *Arbeitsgedächtnis* und ist gleichermaßen durch die Anforderungen einer Sekundäraufgabe manipulierbar.

Darüber hinaus lassen sich zwei langanhaltende Potentiale beobachten, deren eines posterior gelegen ist und die Aktivität im ventralen visuellen System repräsentiert während ein zweites frontal gelegen ist und im Zuge der Enkodierung eine Aktivitätsverteilung zeigt, die von der linken zur rechten Hemisphäre verläuft. Die Aktivitätsverschiebung der anhaltenden frontalen Positivität von der linken zur rechten Hemisphäre wird mit der Etablierung von Assoziationen (links) in Verbindung gebracht, die im Anschluss von einer subjektiven Organisation (rechts) des bereits erlernten Materials begleitet wird. Die Positivität ist jedoch auch von Aufmerksamkeitsanforderungen abhängig und zeigt in Bezug auf die Schwierigkeit einer Sekundäraufgabe eine positive Korrelation. Mangels et al. (2001) deuten diese Aktivität als Ausdruck für die Koordinationsbemühungen zwischen den konkurrierenden Aufgaben und schreiben den, dem Potential zugrundeliegenden, Strukturen die Funktion des *Central Executive* zu.

**Differentielles Altern von Aspekten des verbalen  
episodischen Gedächtnis und der Aufmerksamkeit**

## Einleitung

Ein wesentliches Ziel wissenschaftlicher Forschung besteht in dem Versuch durch wissenschaftliche Methoden Gesetzmäßigkeiten zu entdecken, die zukünftige Entwicklungen vorweg zunehmen erlauben. Verbunden mit der Überzeugung, nur in dem Maße günstig auf die Gestaltung der Zukunft einwirken zu können, wie es gelingt, die dafür notwendigen Entwicklungsbedingungen und –faktoren zu identifizieren, ist der Versuch ihre Wirkungszusammenhänge zu verstehen und mögliche Szenarien ihrer Entfaltung zu beschreiben.

Dabei sind Entwicklungsprozesse dann günstig zu nennen, wenn den sich darin eingebetteten Subjekten eine optimale transaktionale Adaptation im Gefüge der sich verändernden Umweltbedingungen möglich ist. Dabei sind komplexe Systemtransformationen zu beachten: die Veränderung des Subjekts, die immanente Dynamik der Transaktion und die Veränderung der Umwelt mit ihren jeweiligen Wechselwirkungen.

Erwünschte Veränderungen können längerfristig dramatische Folgen nach sich ziehen und damit eine bedrohliche Wirkung verursachen, wenn nichts zu deren Eindämmung unternommen wird. Die Vermeidung solcher Konsequenzen ist aber gerade dann umso schwieriger, je enger die Konnotation zwischen den Entwicklungsbedingungen für *die* erwünschten mit *den* unerwünschten Folgen ist.

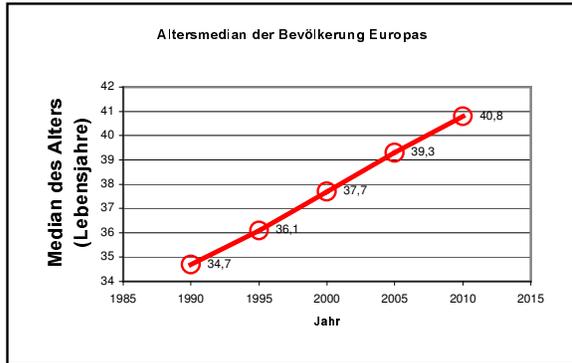
Die Lebensbedingungen westlich geprägter Industrienationen demonstrieren dies nachhaltig. Ein stetiger technischer, medizinischer und soziökonomischer Fortschritt einerseits und die andauernde Freiheit von bewaffneten Konflikten andererseits haben in diesen Ländern die Voraussetzungen dafür geschaffen, durchschnittlich ein langes und entbehrungsfreies Leben führen zu können. Tatsächlich steigen Lebenserwartung und Wohlstand immer noch weiter an. Und niemand wird leugnen, dass es sich dabei um erfreuliche Errungenschaften des Fortschritts handelt.

Zugleich sind dieselben Lebensverhältnisse jedoch auch die Ursache dafür, dass die Anzahl der Nachkommen sinkt und sich somit die Bevölkerungen dieser Länder verringern. Damit altern sie auch, weil ein immer größerer Anteil älterer Menschen einem immer kleineren Anteil Jüngerer gegenübersteht (siehe S. 54).

Eine Vielzahl sozioökonomischer und infrastruktureller, aber auch medizinischer und psychosozialer Rahmenbedingungen der betroffenen Gesellschaften sind der stetig

zunehmenden Zahl älterer Menschen nicht gewachsen. Dies umso mehr, da die Entwicklung in beträchtlichem Tempo verläuft.

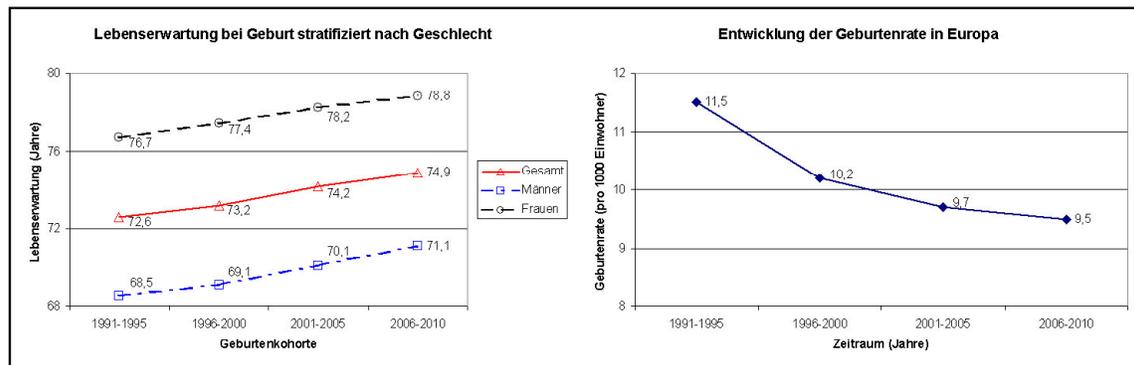
Der Trend in der Altersentwicklung westlich geprägter Industrienationen ist sowohl in Nordamerika als auch in Europa derselbe: die Bevölkerung altert. Abbildung 15 zeigt einen beständig zunehmenden Median des Alters in der Bevölkerung Europas.



**Abbildung 15 – Altersentwicklung am Beispiel des Median des Alters der Bevölkerung Europas (Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects, 2002).**

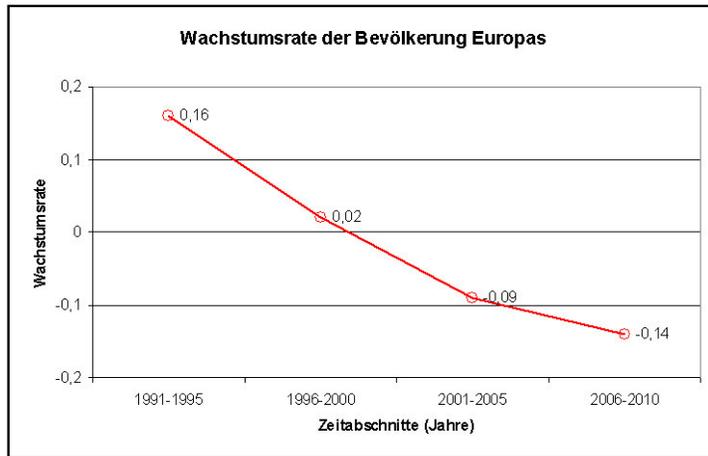
Während der Altersmedian 1990 noch bei 34,7 Lebensjahren lag, prognostiziert das *Department of Economic and Social Affairs der UNO* (2002) einen Altersmedian von 40,8 Jahren im Jahre 2010. Die zunehmende Alterung der europäischen und nordamerikanischen Bevölkerung lässt sich im Wesentlichen auf folgende Quellen zurückführen: zum einen nimmt durch bessere medizinische Versorgung, einer gesundheitsbewussteren Lebensführung und einer Minimierung sozioökonomischer

Risiken erfreulicherweise die Lebenserwartung zu. Zum anderen sinkt jedoch die Geburtenrate infolge derselben Entwicklungsbedingungen dramatisch ab (siehe Abb. 16).



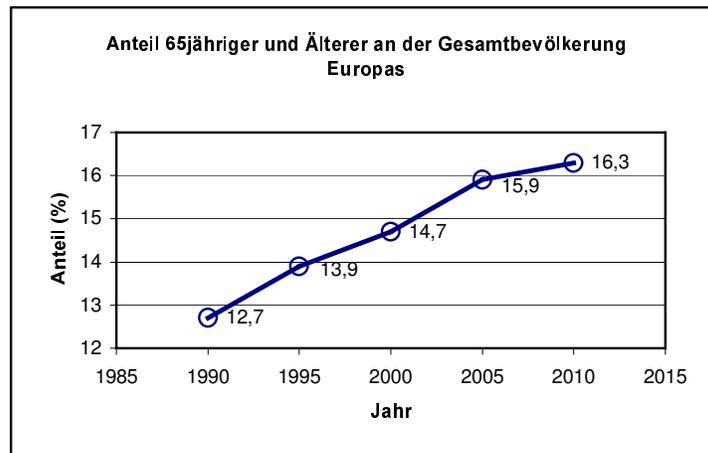
**Abbildung 16 – Lebenserwartung stratifiziert nach Geschlecht und Geburtenrate in Europa. Die Lebenserwartung nimmt in 20 Jahren um durchschnittlich 2,3 Jahre zu während die Geburtenrate von 11,5 (1990) auf voraussichtlich 9,5 (2010) sinkt. Die Geburtenrate errechnet sich aus der Anzahl der Geburten des jeweiligen 5jahres Zeitraumes relativiert an der Anzahl der gelebten Personenjahre desselben Zeitraumes (Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects, 2002).**

Der Rückgang der Geburtenrate hat jedoch zur Folge, dass die Bevölkerung abnimmt (siehe Abb. 17). Während im Zeitraum 1990-2000 eine Geburtenrate von 11,5 beobachtet werden konnte, ist anzunehmen, dass sie sich bis zum Zeitraum 2005-2010 um 2 Punkte vermindert.



**Abbildung 17 – Wachstumsrate der Bevölkerung Europas. Die Bevölkerungswachstumsrate errechnet sich aus dem logarithmierten Verhältnis der Bevölkerungsgröße eines gegebenen Zeitpunktes zu jener eines fünf Jahre zurückliegenden Zeitpunktes, relativiert an der Größe des Zeitabschnitts (Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects, 2002).**

Die Summe dieser beiden demographischen Entwicklungen führt zu einer Alterung der Gesellschaft (wie eingangs beschrieben), der zufolge ein immer größer Anteil älter Personen einem immer geringeren Anteil jüngerer Personen gegenübersteht (siehe Abb. 18).



**Abbildung 18 – Anteil der über 65jährigen an der Gesamtbevölkerung Europas. Die Schätzung nimmt eine durchschnittliche Zunahme der Altersgruppe 65+ um 0,18%/Jahr an. (Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects, 2002).**

Die Schätzungen der UNO gehen davon aus, dass in 2010 etwa jeder sechste Europäer 65 Jahre oder älter sein wird.

Hierdurch ist in der Bundesrepublik Deutschland bsw. die Altersversorgung gefährdet, da sie auf der Finanzierung der jeweils gerade arbeitstätigen Generation beruht. Ältere Menschen konsumieren weniger und neigen eher zum sparen. Dies ist wiederum für das gegenwärtige wirtschaftliche Gefüge bedrohlich. Wie wird sich das politische Gemeinwesen durch die gesellschaftliche Vergreisung ändern?

Es ist ein Leichtes eine Vielzahl weiterer Fragen zu stellen, die mit der gesellschaftlichen Altersstruktur in Zusammenhang stehen und deren drängenden Charakter in Abrede zu stellen mit unabsehbaren Konsequenzen behaftet wäre.

Der individuelle ältere Mensch selbst hätte sogar am meisten unter den Missverhältnissen zu leiden, die solch eine ungebremste Entwicklung nach sich zöge. Man denke nur an das mit dem Alter wachsenden Bedürfnis nach medizinischer und pflegerischer Versorgung und die finanziellen Mittel die für eine zunehmende Zahl der Inanspruchnahme notwendig sind, oder die steigende Anzahl älterer Autofahrer, die sich in einem Verkehrsgeschehen bewegen, dass weder den Mobilitäts- noch den Sicherheitsbedürfnissen älterer Menschen angemessen ist. Auch hier ließen sich leicht noch eine Vielzahl weiterer Problemfelder nennen, denen ältere Menschen ausgesetzt wären.

Die Szenarien sind entworfen und eine Vielzahl von Partiallösungen für spezifische Lebens- und Gesellschaftsbereiche sind in der Diskussion.

Wie eingangs betont, können bedrohliche Entwicklungen als Passungsproblem zwischen Subjekt und Umwelt aufgefasst werden (siehe S. 53) und somit muss jede Lösung einer Fehlentwicklung in der Reduktion dieser Diskrepanz liegen. Dabei sind grundsätzlich folgende Ansätze denkbar:

- Ausschöpfung der adaptiven Reserven des Individuums, um unter veränderten ökologischen Rahmenbedingungen ein möglichst hohes funktionelles Niveau aufrecht zu erhalten.
- Weitestmögliche Restrukturierung und Umgestaltung der ökologischen Rahmenbedingungen zur Anpassung an vorhandene individuelle Handlungsressourcen.

Eine dritte – und wohl wahrscheinlichste Lösung des Problems der alternden Gesellschaft – liegt in der wechselseitigen, partiellen Adaptation sowohl des Individuums als auch der gesellschaftlichen Umwelt und Infrastruktur.

Wie auch immer Lösungsansätze gegebenenfalls für bestimmte Lebensbereiche konkret aussehen mögen: sie können nur dann erfolgreich sein, wenn zuvor das Wesen und die Natur des alternden Menschen hinreichend verstanden ist und die Kenntnis davon die Problemlösung leitet.

## Entwicklungspsychologie der Lebensspanne und das differentielles Altern

Es ist nicht möglich vom Phänomen des Alterns zu sprechen, vielmehr ist das Altern eines biologischen Organismus, insbesondere das des Menschen, durch eine ganze Fülle von zuweilen wechselseitig voneinander abhängigen und unabhängigen Erscheinungen gekennzeichnet. Je nach Ebene auf der die Auswirkungen des Altersprozesses beschreiben und verstanden werden sollen, muss eine völlig andere Perspektive eingenommen werden, woraus notwendiger- und berechtigterweise hervorgeht, dass jede Art von Forschungsbemühung, die sich den Altersprozess zum Gegenstand macht, ihrem Wesen nach *multi- und interdisziplinär* sein muss. Altern ist nicht ausschließlich eine Frage gerontologischer, biomedizinischer, physiologischer und molekularbiologischer Veränderungen, wenngleich solchen Perspektiven zweifellos eine gewisse Priorität eingeräumt werden muss. Darüber hinaus sind jedoch auch philosophische, soziale und soziologische, technische und ergonomische, wirtschaftliche und rechtliche, aber auch sozial-, kognitions- und neuropsychologische Beiträge gefragt.

Altern vollzieht sich differentiell. Die Art und Weise des physischen und psychischen Alterns lässt sich auf diverse kulturelle und soziale Faktoren, auf den persönlichen Habitus, die individuelle Lebensführung und nicht zuletzt auf genetische Determinanten zurückführen. Weder ist der Altersprozess als homogen und universell zu charakterisieren, noch ist er hinreichend durch Abbau und Verlust zu verstehen.

Altern ist am besten in Begriffen der *Multidimensionalität* und *Multidirektionalität* zu beschreiben (Baltes, 2000):

Multidimensional, zumal sich Alternsprozesse in dissoziierten Merkmalsbereichen voneinander vollziehen und multidirektional, da Alterseffekte einem Gain-Loss Schema folgen.

Ohne es zu stark betonen zu wollen, ist das Älterwerden selbstverständlich mit physiologischen und psychologischen *Verlusten* verbunden. Offensichtliche altersassoziierte Veränderungen bestehen zweifellos in der Abnahme des Muskeltonus, einer verringerten sensorischen Diskriminabilität und einer zunehmenden Erschlaffung des Bindegewebes. Darüber hinaus kann aber auch eine deutliche Zunahme der Vulnerabilität gegenüber akuten und chronischen Erkrankungen festgestellt werden und eine verminderte Leistungsfähigkeit des kognitiven Apparates. Die Aufzählung der mit dem Altern verbundenen Veränderungen können beliebig fortgesetzt werden.

Aus der Perspektive traditioneller biologischer Reifungskonzeptionen müssen solche Veränderungen geradezu unidirektional und irreversibel auf den Endzustand des Todes hin ausgerichtet sein. Eine solche Auffassung greift jedoch zu kurz, wenn man den

Altersprozess aus der Perspektive der *Entwicklungspsychologie der Lebensspanne* (Baltes et al., 1980) betrachtet.

Danach können mit dem Altern assoziierte biologische Defizite durchaus auch eine katalytische Funktion für positive Veränderungen der adaptiven Kapazität haben. Ein Individuum, das im Zuge des höheren Alters einer zunehmenden Vulnerabilität ausgesetzt ist, wird sich in zunehmendem Maße um die Regulation dieser Defizite bemühen. Dabei wird es zahlreiche neue Verhaltensweisen und spezifische Kenntnisse erwerben, seine ökologischen Rahmenbedingungen modifizieren und eine veränderte Wertehaltung entwickeln und somit eine Verbesserung seiner adaptiven Kapazität erreichen.

Hierin äußert sich eine grundsätzliche Entwicklungsdynamik, die Baltes als *selektive Optimierung mittels Kompensation* bezeichnet (Baltes & Carstensen, 1996; Baltes, 1997). Erfolgreiches Altern ist durch die Maximierung von Gewinnen einerseits und Minimierung von Verlusten andererseits gekennzeichnet. Ihrem Wesen nach sind Gewinn und Verlust subjektive Begriffe, die durch Kultur und Persönlichkeit des Entwicklungssubjekts und seiner Position in der Lebensspanne definiert sind. In handlungstheoretischer Perspektive lässt sich das Konzept der selektiven Optimierung mittels Kompensation damit folgendermaßen beschreiben: Insofern sich Selektion auf die Definition eines Handlungsziels oder –ergebnis bezieht, ist mit der Optimierung die Wahl der verfügbaren Mittel zur Zielerreichung gemeint. Die Kompensation bezieht sich damit auf Handlungen, die den Verlust zielrelevanter Mittel auszugleichen und damit die Zielerreichung sicherzustellen vermögen.

### **Erfolgreiches kognitives Altern**

Der Mechanismus der Gewinn-Verlustdynamik für die Entwicklung in höherem Lebensalter ist zweifellos geeignet auch unter der Prämisse minimaler verfügbarer Ressourcen adaptive Kapazitäten für das Entwicklungssubjekt zu erschließen. Beispielsweise dann, wenn ältere Menschen durch das Einsetzen altersbedingter chronischer Krankheiten überdauernde Verhaltensmuster und Handlungsziele aufgeben und neue Formen der Alltagsbewältigung suchen müssen. Insofern ist die Erschließung von Entwicklungspotentialen unter der Bedingung minimal verfügbarer Ressourcen grundsätzlich mit der allgemeinen Dynamik der Entwicklung in höherem Lebensalter identisch (vgl. oben). Als Handlungsregulativ, das Veränderungen einleitet, lenkt und aufrechterhält, ist die Wirkungsweise der Gewinn-Verlustdynamik jedoch ausschließlich auf die Initiation von Veränderungen in höherem Lebensalter bezogen. Erst im Kontext des »*Successful Aging*« (Havighurst & Albrecht, 1953) liegt die Betonung auf Seiten der Gewinnmaximierung. Einseitige hohe persönliche Verluste können nicht mit subjektivem Wohlbefinden und individuell zufriedenstellenden Lebensbedingungen in Übereinstimmung gebracht werden. Erfolgreiches Altern ist damit

notwendigerweise, wenn auch nicht hinreichend, an die Bedingung eines persistierenden *subjektiven Entwicklungsverständnisses* geknüpft und setzt somit *altersentsprechend* intakte Kognitionen voraus.

Spezifische kognitive Funktionen sind jedoch durch eine deutliche altersbezogene Leistungsverminderung gekennzeichnet, während andere kaum oder gar nicht davon betroffen sein mögen. Darüber hinaus lassen sich kognitive Funktionen nachweisen, die im Zuge des Alterns sogar an Effizienz gewinnen (vgl. »Crystallized and Fluid Intelligence«; Cattell, 1971). Grundsätzlich lassen sich in beinahe jeder Aufgabe mit Zeitbegrenzung oder Zeitmessung Altereffekte erkennen. Dies gilt gesichert für Arbeitsgedächtnisaufgaben jeden Typs (Salthouse & Babcock, 1991), für Gedächtnisaufgaben mit freiem Abruf (Smith, 1979) und für Aufgaben, die abstraktes Denkvermögen erfordern (Salthouse et al., 1989). Dem entgegen sind Leistungen, die Sprachfertigkeiten und Vokabular (Light, 1992), implizites (Park & Shaw, 1992) und semantisches Gedächtnis (Howard, 1988) prüfen, eher durch Stabilität im Alter gekennzeichnet. Darüber hinaus ist auch die Fähigkeit zuvor betrachtete Bilder wiederzuerkennen frei von Alterseffekten (Park et al., 1986). Von den in der Entwicklung des höheren Lebensalter durch Leistungsverminderung betroffenen Kognitionen wird angenommen, dass sie sich im Zuge der Ontogenese entfalten (Rakic, 1995), dass sie Ausdruck der neurophysiologischen Architektur des Geistes (McLelland, 1996; Singer, 1995) und dass sie durch eine enge biologische und phylogenetische Verwurzelung gekennzeichnet sind (Tooby & Cosmides, 1995). Sie werden im Kontext der Psychologie der Lebensspanne daher auch unter dem Terminus der *mechanistischen Kognitionen* zusammengefasst.

Ergänzend dazu ist die Funktionalität und Effizienz *pragmatischer Kognitionen* mit dem Erwerb umfangreichen kulturell-verfügbaren und kulturell-modifizierten Wissens verbunden, dessen Aufbau ontogenetisch zunächst stark von mechanistischen Kognitionen moderiert, dem entgegen in höherem Lebensalter jedoch kaum oder gar nicht von Leistungseinbußen betroffen ist. Somit stellt das, den pragmatischen Kognitionen zugrundeliegende, Wissen eine wichtige Ressource für die Entwicklung in höherem Lebensalter dar, um die Folgen einer verminderten Leistungsfähigkeit mechanistischer Kognitionen zu kompensieren. Die Frage nach den Ursachen einer Leistungsverminderung im mechanistischen Bereich der Kognitionen ist weit davon entfernt beantwortet zu sein. Gegenwärtig werden jedoch Veränderungen der Informationsverarbeitungsrate, Veränderungen des Arbeitsgedächtnis und Veränderungen von Inhibitionsprozessen als funktionelle Entwicklungsregulatoren der kognitiven Entwicklung in höherem Lebensalter diskutiert.

Die »*Limited Process*« Theorie (Craik & Byrd, 1982) sieht das zuvor beschriebene Befundmuster infolge eines mit dem Älterwerden assoziierten Mangels an »mentaler

Energie« und einer zunehmenden Verminderung des Antriebs. Im allgemeinen sind davon jene kognitiven Leistungsbereiche in starkem Maße betroffen, die von basalen Informationsverarbeitungsmechanismen und unvertrauten Informationen abhängig sind, während wissensbasierte und verbale Leistungen weniger bis nicht davon berührt sind. Diese mit »mentaler Energie« in Verbindung stehende Kernidee kann im Grunde auf eine altersbezogene Verminderung der Arbeitsgedächtniskapazität reduziert werden. Demzufolge ist zu erwarten, dass eine Restrukturierung der Umweltbedingungen im Sinne einer Verminderung der Informationsverarbeitungsanforderungen zu einer Nivellierung von Alterseffekten führt.

Salthouse und Babcock (1991) führen sämtliche mit dem Altern assoziierten kognitiven Veränderungen auf eine Verminderung der zentralen *Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit* zurück. Die Beobachtung, wonach ein Großteil der altersbezogenen Varianz hinsichtlich der Arbeitsgedächtnisfunktion durch Geschwindigkeitsfaktoren aufgeklärt werden kann, veranlasst die Autoren anzunehmen, dass entgegen der Arbeitsgedächtniskapazität vielmehr Verarbeitungsgeschwindigkeit der fundamentale Mediator für die altersbezogene Leistungsverminderung ist. Alterseffekte können im Kontext einer Vielzahl unterschiedlicher Anforderungssituationen demnach durch die gezielte Erweiterung zeitlicher Horizonte vermindert werden.

Die »*Faulty Inhibitory Process*« Theorie (Hasher & Zacks, 1988) führt das Befundmuster selektiv erhaltener und defizitärer kognitiver Leistungsbereiche auf einen mit dem Alter assoziierten ineffizienten Gebrauch kognitiver Ressourcen zurück. Danach ist der kognitive Apparat älterer Menschen aufgrund defizitärer inhibitorischer Prozesse zunehmend durch irrelevante Information belastet, wodurch die Verarbeitung relevanten Materials leidet. Diese Theorie impliziert eine klare Strukturierung und eine verminderte Distraktorenbelastung, um Alterseffekte kompensieren zu können. Insgesamt sind jedoch die Inhibitionseffekte, von denen die Theorie im Kern ausgeht, eher gering. Darüber hinaus sind sogar einige Versuche diese Effekte zu replizieren gescheitert. Ein weiterer Nachteil der Theorie liegt in ihrem Mangel die defizitäre Inhibitionsfunktion mit weiteren altersbezogenen kognitiven Leistungsdefiziten in Verbindung zu bringen.

Lindenberger und Baltes (1994) stellen dem ein alternatives Entwicklungsregulativ gegenüber. Entgegen den zuvor dargestellten kognitiven Alterstheorien, die im wesentlichen den Einfluss kognitiver Teilfunktionen diskutieren, die dem Frontalhirn zugerechnet werden müssen, stellen die Autoren als zentralen Ansatzpunkt die verminderte Leistungsfähigkeit

des sensorischen Apparates in den Mittelpunkt altersbedingter kognitiver Leistungsverringerungen.

So konnten sie basierend auf einer Stichprobe sehr betagter Menschen zwischen 70 und 103 Lebensjahren ein Befundmuster gewinnen, dass man in weitestem Sinne als eine Ergänzung der »Processing Speed« Theorie (Salthouse & Babcock, 1991) begreifen kann. Strukturelle Gleichungsmodelle ergeben ein triadisches Verhältnis zwischen kognitiven Leistungen, sensorischer Wahrnehmungsgenauigkeit und Verarbeitungsgeschwindigkeit. Während jedoch die sensorische Wahrnehmungsgenauigkeit Varianzanteile sowohl des Geschwindigkeitsfaktors als auch der kognitiven Leistungen aufzuklären vermag, kann seitens des Geschwindigkeitsfaktors lediglich eine Beziehung mit den Leistungsdaten beobachtet werden. Hieraus ergibt sich für die sensorische Wahrnehmungsgenauigkeit eine weitaus fundamentalere Bedeutung für die kognitive Leistungsfähigkeit *und* die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit. Das Befundmuster kann jedoch nicht für jüngere Probanden repliziert werden. Die Autoren nehmen für die Verminderung der kognitiven Leistungsfähigkeit und der Wahrnehmungsgenauigkeit eine gemeinsame Ursache an, die in der Desintegration zugrundeliegender Hirnsysteme liegt.

*Tabelle 3 – Theorien zum kognitiven Altern und ihre Implikationen*

<b>Theorie</b>	<b>Autor</b>	<b>Kernhypothese</b>	<b>Implikation</b>
Limited Processing Resources	<i>Craik &amp; Byrd (1982)</i>	verminderte WM-Kapazität	Restrukturierung zur Verminderung von Ressourcenanforderungen
Speed of Processing	<i>Salthouse &amp; Babcock (1991)</i>	geringere Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit des ZNS	Ausdehnung von Zeitlimits
Faulty inhibitory Processes	<i>Hasher &amp; Zacks (1988)</i>	verminderte Informationsverarbeitungseffizienz des WM	Klarere Problemstrukturierung und Verminderung von Distraktoren
Sensory Function as General Mediator of Cognitive Function	<i>Lindenberger &amp; Baltes (1994)</i>	Wechselwirkung zwischen nachlassendem sensorischer Apparat und kognitiver Leistungsfähigkeit	Ausdehnung von Zeitlimits

Insofern kognitive Leistungsverminderungen im erwarteten »normalen« Rahmen der Entwicklung des höheren Lebensalters liegen, greifen auch hier jene Strategien, die im Baltes'schen Sinne eine selektive Optimierung mittels Kompensation erforderlich machen. Baltes illustriert dies am Beispiel des 80jährigen Pianisten Arthur Schnabel. Gefragt, wie

dieser es erreiche, trotz seines hohen Alters, seine überragende Virtuosität beizubehalten, antwortete er mit dem Hinweis auf die drei Strategien:

»First, he played a fewer pieces (selection); he practiced these pieces more often (optimization); and to counteract his loss in mechanical speed he now used a kind of impression management, such as playing more slowly before fast segments to make the latter appear faster (compensation).« (Baltes, 1999; S. 10)

### »Pathologisches Altern«

»Pathologisches Altern«, wie bisweilen die Entwicklung einer Demenz vom Alzheimertyp, führt jedoch zu einer dramatisch beschleunigten Verminderung der verfügbaren Ressourcen, bis hin zu ihrem totalen Verlust, so dass schließlich jedes Bemühen, die verminderte Leistungsfähigkeit zu kompensieren bzw. eine adaptive Entwicklungsregulation in Gang zu halten, scheitern muss. Pathologische Alterserscheinungen umfassen neben Demenzen aber auch akute Verwirrheitszustände – wie bsw. das Delir – und Pseudodemzenzen, infolge psychiatrischer Störungen – wie bsw. die Depression. Eine notwendige Voraussetzung erfolgreichen Alterns, nämlich das subjektive und persistierende Verständnis in die eigene Entwicklung und den Entwicklungskontext, ist nicht mehr länger aufrecht zuhalten.

Die *Kosten* »pathologischen Alterns« sind gewaltig. Sowohl die persönlichen als auch diejenigen der nächsten Angehörigen, die unter enormer psychischer und physischer Belastung die Pflege des Betroffenen organisieren und finanzieren müssen.

Primäre Betreuungs- und Bezugspersonen leiden nicht selten unter Stress, Müdigkeit, Schlafstörungen (Insomnie) oder »Burnout« und bringen oft mehr als 60 Std./Woche für die Pflege eines Alzheimerkranken im Spätstadium auf (Max, Webber & Fox, 1995). Häufig benötigen sie infolge dessen selbst medizinische Hilfe.

In der Regel erfolgt in fortgeschrittenen Stadien der Krankheit die Heimeinweisung, die erneut von großen materiellen und psychischen Belastungen begleitet wird. Im Kontext der sich verändernden demographischen Altersstrukturen droht eine Entwicklung in Gang zukommen, die zu bewältigen, außerordentliche Anstrengungen erforderlich machen wird. Schätzungen direkter und indirekter Krankheitsfolgekosten belaufen sich neuerer Studien in den USA zufolge schon jetzt auf Beträge zwischen USD 20 300,- und USD 66 500,- pro Person und Jahr, wobei im Zuge der Krankheitsprogredienz zunehmend höhere Kosten anfallen (Leung et al., 2003): jeder Wegfall einer »Instrumental Activity of Daily Living« (IADL) ist mit wöchentlichen finanziellen Aufwendungen von durchschnittlich USD 72,- verbunden (Trabucchi, 1999). Studien, die die Progredienz auf der Basis des Mini-Mental

State Examination (MMSE) erfassen, bestätigen den Zusammenhang zwischen Kostenentwicklung und Krankheitsverlauf (Souetre et al., 1995).

Eine Strategie, die Bürde des »pathologischen Alterns« zu verringern, besteht in dem Versuch mittels pharmazeutischer Präparate (Cholinesteraseinhibitoren) den Fortschritt der Alzheimer Krankheit zu verzögern, die nicht nur die prominenteste sondern auch die häufigste Ursache einer dementiellen Erkrankung ist. Gegenwärtig besteht jedoch noch keine Aussicht auf Erfolg, die Krankheit stoppen oder gar präventiv behandeln zu können. Die Verzögerungsstrategie kann im Sinne erfolgreichen Alterns – der Aufrechterhaltung einer möglichst hohen Lebensqualität – aber nur dann von Nutzen sein, wenn die Behandlung mit den verfügbaren Medikamenten zu einem möglichst frühen Zeitpunkt der Krankheitsentwicklung einsetzt.

Die neuropsychologische diagnostische Unterscheidung zwischen kognitiv normalem und pathologischem Altern ist jedoch mit einer nicht unbeträchtlichen Anzahl von Schwierigkeiten behaftet. Um eine manifeste Demenz diagnostizieren zu können, bedarf es der Feststellung neuropsychologischer Defizite in unterschiedlichen funktionellen Bereichen. DSM-IV (APA, 1994) und ähnlich auch ICD-10 (WHO, 1992) verlangen zum einen die Beeinträchtigung des episodischen Gedächtnisses und zum anderen das Vorliegen mindestens einer Störung in den Bereichen des Erkennens (Agnosie), der Sprache (Aphasie), der Handlungspraxis (Apraxie) und/oder Störungen im Bereich exekutiver Funktionen. Darüber hinaus muss eine deutliche Beeinträchtigung der Alltagskompetenz seitens Bezugs- (Angehörige) oder Kontaktpersonen berichtet werden.

Von neuropsychologischen Testverfahren ist jedoch bekannt, dass eine Vielzahl von *Moderatoren und Kovariaten* Einfluss auf das Testergebnis ausüben. Hier wären bsw. Faktoren des Geschlechts, der Ausbildungsdauer, der Gesundheit, der Motivation, der Müdigkeit und weitere mehr auf Seiten der Testperson zu nennen (vgl. S. 80), aber auch Eigenschaften von Tests, wie Ceiling- und Bottom- Effekte beeinflussen das Resultat. Neuropsychologische Testdaten können demnach nur dann sinnvoll zur Unterscheidung zwischen pathologischem von normalem kognitiven Altern genutzt werden, wenn Ihre Indizes unter Berücksichtigung der genannten Kovariaten und dem Lebensalter *normiert* sind. D.h. jedoch nichts anderes, als eine Vorstellung vom Einfluss des nicht-pathologischen gesunden Alterns auf die jeweiligen Testdaten und damit auf die zugrunde gelegten Testkonstrukte zu gewinnen.

Eine weitere Schwierigkeit der Demenzdiagnostik besteht im *schleichenden Beginn* dementieller Syndrome. Hinsichtlich der Alzheimer Krankheit ist davon auszugehen, dass erste Symptome frühestens nach Jahren fortgeschrittener hirnpfysiologischer Pathologie sichtbar werden (Grady et al., 1988).

Der Verlauf der Krankheit entwickelt sich demnach von einem präklinischen und symptomfreien über einen intermediären, subsyndromalen Zustand zu einer manifesten Demenz, die in ihrem weiteren Verlauf selbst wiederum durch Beeinträchtigungen zunehmend größerer Schweregrade gekennzeichnet ist.

Es lassen sich nun dem intermediären Bereich Phänotypen zuordnen, von denen nur etwa 50% tatsächlich die für eine Demenzdiagnose geforderten kognitiven Störungen entwickeln, so dass diesem Phänotyp scheinbar eine eigene klinische Bedeutung zukommt (z.B. Bowen, 1997, Hanninen, 1997). Spezifische Konversionsraten sind jedoch auch abhängig von dem jeweils zugrunde gelegten Konzept dieses intermediären Zustandes, das im Zuge seiner kurzen Geschichte schon eine Vielzahl von Revisionen erfahren hat.

Seine Wurzeln hat das Konzept in *Benign Senescent Forgetfulness* (BSF, Kral, 1962), später wurde von *Age-Associated Memory Impairment* (AAMI, Crook et al., 1986) gesprochen, dieses wurde wiederum ersetzt durch *Age-Related Cognitive Decline* (ARCD, Caine, 1993). Alternativ kann der intermediäre Zustand auch als *Questionable Dementia* (QD, Hughes, 1982) oder *Mild Neurocognitive Disorder* (MND, DSM-IV) bezeichnet werden. Das gegenwärtig geläufige Konzept ist die *Mild Cognitive Impairment* (MCI, Smith et al., 1996). Auch die Diagnose von MCI erfordert eine nicht altergemäße Beeinträchtigung kognitiver Funktionsbereiche, so dass erneut die Kenntnis des natürlichen und normalen Alterns von herausragender Bedeutung für die Interpretation klinischer neuropsychologischer Testdaten ist.

Das Verständnis normaler kognitiver Altersprozesse ist nicht nur bedeutend für die Einschätzung positiver und negativer Entwicklungsdynamiken und der daraus folgenden bzw. verbleibenden Ressourcen im jeweils individuellen Fall. Die Kenntnis dieser Prozesse klärt zugleich auch die Entwicklungsbedingungen und –faktoren, die im Wirkungsgefüge der zukünftigen »alternden« Gesellschaft vorrangig von Interesse sind, d.h. jeder Versuch einer »altersfairen« gesellschaftlichen Umgestaltung schließt notwendigerweise die Berücksichtigung solcher Faktoren ein.

Der menschliche kognitive Apparat ist den Erkenntnissen der Kognitionswissenschaften zufolge ein sehr komplexes und interdependentes Gefüge einzelner, selbst wiederum komplex arbeitender Komponenten. Die Kognitionswissenschaften sind durch eine Vielzahl von zuweilen einander widersprechenden aber zuweilen einander auch ergänzenden Konstrukten und Theorien gekennzeichnet. Den Versuch diese Vielfalt in ihrer Gesamtheit im Kontext des normalen Alterns empirisch zu beleuchten und zu diskutieren würde daher den Rahmen der Arbeit sprengen. Es ist also notwendig nach der Maßgabe der Relevanz eine Beschränkung vorzunehmen.

Wie unschwer aus dem Inhalt der ersten beiden Kapitel entnommen werden kann, fällt dabei die Wahl auf Teilaspekte der Aufmerksamkeit, insbesondere auf die kognitive Flexibilität, die Geteilte Aufmerksamkeit (visuell/auditiv) und die Daueraufmerksamkeit und auf das verbale auditive episodische Gedächtnis.

Die Relevanz dieser Konstrukte ergibt sich unmittelbar aus ihrem Bezug zu einer Vielzahl *alltäglicher Anforderungen* (z.B. Selbstorganisation, soziale Aktivität oder Autofahren) aber auch aus ihrem wichtigen Bezug zur Abgrenzung von Prozessen des »*pathologischen Alterns*«, wie der Entwicklung von dementiellen Prozessen oder alterstypischer neuropsychiatrischer Störungen.

Daher erscheint es angeraten den Prozess des normalen Alterns aus der Perspektive von Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsprozessen genauer zu betrachten und festzustellen an welche Teilaspekte der jeweiligen Prozesse im Sinne der Baltes'schen Dichotomie in pragmatische vs. mechanistische Kognitionen altersbedingte Verluste, Stabilität oder gar Gewinne geknüpft sind (siehe S. 59).

Defizite des episodischen und semantischen Gedächtnisses sind mit der Alzheimer-Krankheit auf das engste assoziiert. Sie gelten als die sich am frühesten manifestierenden Symptome überhaupt und sind infolge dessen Gegenstand extensivster Forschungsbemühungen. Die Fokussierung auf Gedächtnisparameter im Zusammenhang mit der Neuropsychologie der Alzheimer-Krankheit hat eine solchermaßen Tradition und Dominanz entfaltet, dass darüber lange Zeit die Thematisierung von Aufmerksamkeitsprozessen zurück stehen musste. Erst in jüngerer Zeit tritt das Interesse an Aufmerksamkeitsprozessen hinsichtlich der Alzheimer-Problematik aus dem Schatten der überragenden Thematisierung des Gedächtnisses (Parasuraman & Haxby, 1993). Daher wird sich der Abschnitt über pathologische Altersprozesse (siehe S. 71) alleine den Aufmerksamkeitsfunktionen zuwenden – zulasten einer Darstellung pathologischer Gedächtnisprozesse, die andernorts ausführlich beschrieben sind (Albert, 1996; Delis, Massman, Butters & Salmon, 1991; Monsch, Bondi, Salmon, Butters, Thal, Hansen et al., 1995; Stordant, Botwinick, Danziger, Berg & Hughes, 1984; Welsh, Butters, Hughes, Mohs & Heyman, 1991).

Abschließend sind einige diagnostisch-methodische Aspekte neuropsychologischer Querschnittsstudien bzw. Einzelfalldiagnostik zu würdigen, um die Grenzen und Fallstricke der Verfahrensweise nicht mit ihren Resultaten zu verwechseln (siehe S. 75).

## Normales kognitives Altern von Gedächtnisprozessen

Das Gedächtnis ist ein sehr heterogenes Konstrukt (vgl. Abb. 8). Es lässt sich entlang der Dimensionen Zeit, Material und Domäne (prozedural vs. deklarativ) beschreiben (Calabrese, 2000, p.37). Zu unterschiedlichen Aspekten des Gedächtnis lassen sich eine Fülle von Befunden im Zusammenhang mit dem kognitiven Altern aus der Literatur zusammentragen (Craik, 2000):

*Prozedurales Gedächtnis:* Laver und Burk (1993) weisen in semantischen Priming-Aufgaben größere Effekte auf Seiten älterer Probanden nach (Metaanalyse). Hinsichtlich impliziten Primings lassen sich - entgegen expliziten Primings - keine Altersdifferenzen feststellen Light & Sing (1987). Insgesamt scheint das prozedurale Gedächtnis weitgehend frei von Altersdifferenzen zu sein!

*Primäres Gedächtnis (KZG, Working Memory):* statische kurzzeitige Gedächtnisanforderungen sind gegenüber Alterseinflüssen eher robust (z.B. »Digit-Span«, freier Abruf des sog. Recency-Anteiles einer Wortliste u.s.w.). Aufgaben die jedoch sowohl das halten und manipulieren von Gedächtnisinhalten erfordern (dynamisch – Working Memory) zeigen dagegen deutliche Altersdifferenzen Craik (2000).

*Episodisches Gedächtnis (sekundär, LZG):* Altersbezogenen Leistungsverminderungen sind substantiell, können jedoch durch unterstützende Kontextinformation bisweilen kompensiert werden (Craik, Byrd & Swanson, 1987). Die altersabhängige Leistungsverminderung des episodischen Gedächtnisses kann als »Source-Amnesia« aufgefasst werden (Craik, Morris, Morris & Loewen, 1990). Insbesondere die Schwierigkeit Assoziationen zwischen mentalen Ereignissen zu knüpfen (»Binding«) scheint der Kern des (episodischen) Gedächtnisproblems in höherem Lebensalter zu sein (Johanson & Chalfonte, 1994).

*Semantisches Gedächtnis (sekundär, LZG):* Altersbezogene Leistungsverminderungen hinsichtlich des semantischen Gedächtnisses sind so gut wie vernachlässigbar bis nicht existent (Light, 1992). Jedoch kann eine altersbezogene Zunahme bei Wortfindungsstörungen beobachtet werden (Burke, MacKay, Worthley & Wade, 1991). Cohen & Faulkner (1986) weisen darüber hinaus eine altersbezogene Zunahme bei Schwierigkeiten mit Personennamen nach. Der Abruf allgemeiner Information scheint – entgegen dem Abruf kontextuell spezifischer Information – unbeeinträchtigt zu sein (Craik, 2000).

*Räumliches Gedächtnis (episodisches Gedächtnis?):* Das räumliche Gedächtnis für Ausstellungsstücke ist bei älteren Museumsbesuchern schlechter ausgebildet (Uttl & Graf, 1993).

*Altgedächtnis (episodisches Gedächtnis?):* Die Erinnerung an lange zurückliegende persönliche Ereignisse scheint von Altersdifferenzen unberührt zu sein (Rubin, Wetzler & Nebes, 1986).

Insgesamt verweisen die Befunde altersbezogener Gedächtnisveränderungen auf einen Schwerpunkt im episodischen Gedächtnis und im Arbeitsgedächtnis (Working Memory) bei weitgehend intaktem statischen KZG, prozeduralen und semantischen Gedächtnis bzw. Altgedächtnis.

### **Normales kognitives Altern von Aufmerksamkeitsprozessen**

Die Komplexität altersbezogener Veränderungen von Aufmerksamkeitsprozessen verweisen gleichermaßen auf ein sehr differentielles empirisches Muster. Einer Überblicksarbeit (Rogers, 2000) zufolge sind altersbezogenen Leistungsverminderungen primär dem Selektivitätsaspekt der Aufmerksamkeit zuzuordnen, wie folgende Befunde zeigen:

*Selektive Aufmerksamkeit:* Plude & Doussard-Roosevelt (1989) weisen eine altersbezogene Minderleistung bei visueller Suche nach Merkmalskombination (»conjunction search«) nach. Sie kann bisweilen durch Vertrautheit mit dem Zielreiz und Hinweisgebung vermindert werden.

*Fokussierte Aufmerksamkeit:* Ältere Probanden werden im Vergleich zu jüngeren Untersuchungsteilnehmern in gleichem Maße durch Distraktoren beeinflusst (Wright & Elias, 1979).

*Daueraufmerksamkeit (»sustained attention«):* Der Nachweis altersbezogener Differenzen hängt nach Giambra (1993) von den Faktoren Darbietungszeit des Zielreizes (kurz), Diskriminabilität (gering) und »Working Memory Load« (hoch) ab.

*Geteilte Aufmerksamkeit:* Einfache Aufgaben zur geteilten Aufmerksamkeit zeigen keine Alterseffekte (Somberg & Salthouse, 1982), während komplexe Aufgaben mit hohen Gedächtnisanforderungen durchaus zu altersbezogenen Leistungsverminderungen führen (McDowd & Craik, 1988)

*Automatisierte Verarbeitung (geteilte Aufmerksamkeit):* Ältere Probanden benötigen mehr Durchgänge einer »Memory Search Task«, um einen vergleichbaren Automatisierungsgrad zu erreichen als jüngere Versuchsteilnehmer (Fisk & Rogers, 1991). Bereits erlernte Automatismen bleiben jedoch auch in höherem Alter stabil.

Auch für Aufmerksamkeits- und Gedächtnisleistungen gilt, dass sie differentiell altern. Während hinsichtlich des Gedächtnisses vorrangig die Integration von Kontext und Ereignis bzw. das gleichzeitige halten und manipulieren von Gedächtnisinhalten altersbezogene Leistungsverminderungen aufzuweisen scheint, lässt sich hinsichtlich der Aufmerksamkeit die Feststellung treffen, dass hier die Auswahl der Information mit Schwierigkeiten behaftet ist.

### **Probleme im Zusammenhang mit Aufmerksamkeitsdefiziten und Gedächtnisschwierigkeiten**

Eine differenzierte diagnostische Abklärung von Aufmerksamkeits- und Gedächtnisaspekten nimmt in der klinischen Neuropsychologie eine exponierte Stellung ein. Eine *Vielzahl* von Hirnleistungsstörungen unterschiedlichster Ätiologie ziehen funktionelle Defizite in Bereichen des Gedächtnisses und der Aufmerksamkeit nach sich.

So sind beispielsweise Beeinträchtigungen des episodischen Gedächtnisses prominentestes Symptom dementieller Syndrome - wie der Alzheimer-Krankheit und des geschlossenen Schädel-Hirn Traumas. Zunehmend wird aber auch deutlich, dass das Ausmaß der Störungen von Aufmerksamkeitsprozessen denen des Gedächtnisses in nichts nachstehen.

Nicht nur, dass Beeinträchtigungen der Aufmerksamkeit und des Gedächtnisses die häufigsten und *subjektiv die schwerwiegendsten funktionellen Defizite* sind. Sie scheinen auch besonders *persistierend* zu sein, wie Van Zomeren & Van den Burg (1985) in einer Studie an CHI-Patienten zeigen konnten.

Selbst zwei Jahre nach Eintritt des Ereignisses äußerten 84% der untersuchten Patienten Beschwerden infolge eines Schädel-Hirn Traumas. Die am häufigsten geäußerten Beschwerden waren Vergesslichkeit (54%), gefolgt von Irritierbarkeit (39%), Verlangsamung (33%), geringem Konzentrationsvermögen (33%), Niedergeschlagenheit (30%), Schwindel (26%) u.s.w.

An anderer Stelle berichten McLean et al. (1983), dass dieselben Beschwerden offensichtlich unabhängig vom Schweregrad einer CHI sind, woraus gerade für Patienten mit eher

geringfügigeren Traumen Nachteile in der rehabilitativen Versorgung und im sozialen Umfeld zu erwarten sind.

Hinsichtlich des kognitiven Apparates nehmen Aufmerksamkeitsprozesse ganz allgemein eine fundamentale Stellung ein. Beinahe jede höhere kognitive Operation erfordert intakte Aufmerksamkeitsleistungen. Sei es das Lösen einer Rechnung, das Suchen eines Freundes in einer Menschenansammlung oder das Lesen eines Buches. »Durch ihren Basischarakter können gestörte Aufmerksamkeitsleistungen *Einschränkungen in allen Lebensbereichen* zur Folge haben« (Sturm & Zimmermann, 2000, p.346). Diese Feststellung gilt vorrangig für die Bewältigung alltäglicher Anforderungen, die in der Psychologie mit dem Terminus »[Instrumental] Activities Of Daily Living« ([I]ADL) versehen werden und Aktivitäten beinhalten, die von einfachen selbstreferentiellen bis hin zu relativ komplexen kognitiv stark beanspruchenden Handlungserfordernissen reichen (z.B. von der persönlichen Körperpflege bis zum Führen eines Fahrzeugs). Besondere Schwierigkeiten sind auch für die Wiederaufnahme oder *Fortsetzung der Erwerbstätigkeit* nach einem, das ZNS betreffenden pathologischen Ereignis (Schlaganfall, CHI, Meningitis u.s.w.) zu erwarten. Gerade hier besteht die Gefahr, dass die häufig subtilen und eher mittelfristig (nach anfänglicher vermehrter Anstrengung) sichtbaren Folgen gestörter Aufmerksamkeitsleistungen nach einer Phase der Überkompensation offen zutage treten und im Sinne einer Verweigerungshaltung oder mangelhaften Kompetenz falsch interpretiert werden.

In diese Richtung interpretieren auch Van Zomeren und Van den Burg (1985) das Resultat der Studie über langfristig persistierende Beschwerden von CHI Patienten. Die Autoren weisen nach, dass sich nur hinsichtlich Beschwerden über Beeinträchtigungen eine Korrelation mit Schweregradmaßen der CHI (Dauer der post-traumatischen Amnesie, Bedingungen, unter denen die Wiedereingliederung in den Arbeitsprozess erfolgt) beobachten lässt, während Beschwerden über Intoleranzen keinen solchen Zusammenhang aufweisen. Die Autoren ziehen in Betracht, dass die sogenannten »neurotischen« Symptome (Intoleranzen) durchaus infolge verstärkter Kompensationsbemühungen in Erscheinung treten können. Dann nämlich, wenn das Ausmaß der Beeinträchtigungen für soziale Bezugspartner nicht offensichtlich und die Leistungserwartung demzufolge hoch ist. Der daraus resultierende Stress führt zu *sekundären Intoleranzen*, deren Nettoeffekt innerhalb einer Gruppe durchaus Null betragen und somit eine Korrelation verdecken kann.

Wenngleich eher in allgemeinem Sinne betrachtet, ist auch der *neuropsychologische diagnostische Prozess* für betroffene Patienten als ein Lebensbereich aufzufassen, für den die zuvor getroffenen Feststellungen in analoger Weise gelten.

In Bezug auf die Gedächtnisdiagnostik besteht einerseits die Gefahr, dass das beeinträchtigte Aufmerksamkeitsvermögen zu einer verminderten Enkodierung des dargebotenen Materials und damit zu einer verminderten Abrufleistung führt.

Eine zusätzliche Gefahr besteht andererseits darin, dass infolge einer Überkompensation durchaus normale Leistungen in neuropsychologischen Prüfverfahren erbracht werden, die das Ausmaß der tatsächlichen Leistungsfähigkeit jedoch verdecken.

Unter andauernden Anforderungsbedingungen im Arbeitsprozess oder Alltag können solche kurzfristigen Leistungsspitzen nicht aufrecht erhalten werden, mit der Folge drohender sozialer und finanzieller Konsequenzen vor den Hintergrund unauffälliger diagnostischer Resultate.

Dies gilt prinzipiell für die Untersuchung aller Funktionsbereiche. Wenn hier eine sorgfältige Abklärung von Aufmerksamkeitsfunktionen unterbleibt, können die beobachteten Defizite nicht adäquat interpretiert werden.

### **Diagnostische Relevanz von Aufmerksamkeitsdefiziten bei der Früherkennung der Alzheimerkrankheit**

Ogbleich Baddeley (1986) schon vor längerer Zeit die Aufmerksamkeit auf die Beeinträchtigung der zentralen Komponente des Working Memory, dem *Supervisory Executive System* (Norman & Shallice, 1980) mit dem dementiellen Syndrom (insbesondere der AD) gelenkt hat, und obzwar das Supervisory Executive System in einem expliziten Zusammenhang mit Aufmerksamkeitsprozessen steht, ist es um die Thematisierung der Aufmerksamkeit hinsichtlich der Alzheimer Krankheit eher still geblieben.

Baddeley (1986) betrachtet altersbezogene kognitive Veränderungen als Folge verminderter Verarbeitungskapazität dieses Systems. Statische Beanspruchungen des Kurzzeitgedächtnisses, die alleine auf einem intakten »Articulatory Loop System« beruhen sind demnach unbeeinträchtigt, während Aufgaben, die das Halten und Manipulieren von Materialien erfordern ein Leistungsdekrement nach sich ziehen (vgl. S. 34). Insofern unterschieden sich Leistungseinbußen seitens an Alzheimer-Demenz Erkrankter nicht grundsätzlich von Beobachtungen die im Kontext normalen Alterns gemacht werden können. Die Flexibilität, als eine weitere Leistung dieses funktionellen Systems gilt jedoch, entgegen jener der Alzheimer-Kranken, bei gesunden älteren Testpersonen als unbeeinträchtigt.

Letztlich sieht Baddeley eine funktionelle Äquivalenz zwischen Frontallappensyndrom (nach Läsionen oder Trauma), dem normalen Altern und den Demenzsyndromen, die er mit dem Terminus *Dysexekutives Syndrom* belegt. Dies ist eine Konzeption, die davon ausgeht, dass normales Altern und die Entwicklung eines dementiellen Syndroms, insbesondere AD, auf

ein und demselben Kontinuum liegen und nur durch quantitative Unterschiede gekennzeichnet sind. Die von Baddeley beobachtete funktionelle Äquivalenz wirkt daher eher entmutigend, besteht die Suche nach präklinischen Markern der Alzheimer-Krankheit doch gerade im Aufspüren qualitativer Unterschiede zu normalem Altern. Somit ist es nicht weiter erstaunlich, dass Aufmerksamkeitsprozesse (im Sinne des Supervisory Executive System) im Kontext der neuropsychologischen Demenzforschung eher in den Hintergrund gerückt sind.

Zunehmend wird heute jedoch erkannt, dass Aufmerksamkeitsprozesse nicht nur als Moderatoren im Hinblick auf andere Performanzdaten zu betrachten sind, die, wenn sie nur konstant gehalten werden – ähnlich motivationaler Einflussfaktoren – eine genauere Interpretation der Ergebnisse ermöglichen. Andererseits steht bislang ein nur geringes Instrumentarium zur Untersuchung spezifischer Aufmerksamkeitsprozesse bezüglich hirngeschädigter Patienten zur Verfügung. Mehr noch gilt dies für Methoden, die dem Informationsverarbeitungsansatz verpflichtet sind.

Die Befundlage, so spärlich sie auch gegenwärtig sein mag, ergibt jedoch ein relativ differenziertes Bild. Aufmerksamkeitsdefizite in Bezug zur Alzheimer Krankheit sind *selektiv*, d.h. sie sind lediglich hinsichtlich spezifischer Komponenten des Aufmerksamkeitskonstrukts beobachtbar und lassen andere Komponenten unberührt. Die Relevanz des Befundmusters ergibt sich aber aus der Tatsache, dass die selektiven Defizite in frühen Stadien der Alzheimerdemenz gefunden werden können. Überblicksarbeiten (Parasuraman & Haxby, 1993; Parasuraman et al., 2002) zufolge, lassen sich folgende Veränderungen beobachten: Die durch das Posner-Paradigma erfasste unwillkürliche und verdeckte räumliche Aufmerksamkeitsverschiebung zeigt beispielsweise profunde Probleme während selektive Aspekte der visuellen Aufmerksamkeit auf der Basis von Reizmerkmalen (Farbe, Ort) kaum beeinträchtigt sind. Schwierigkeiten hinsichtlich geteilter Aufmerksamkeitsleistungen können gleichermaßen beobachtet werden, wenn einerseits die gleichzeitige Berücksichtigung unterschiedlicher Reizmerkmale oder andererseits die Bearbeitung zweier um begrenzte Ressourcen konkurrierende Aufgaben erforderlich ist. Das Geteilte Aufmerksamkeits- Defizit ist multimodal. Es kann sowohl für auditorische, visuelle und motorische Aufgaben beobachtet werden und beruht sowohl auf frühen und späteren Informationsverarbeitungs-komponenten.

Tonisches und phasisches Arousal scheint im Eingangsstadium einer Alzheimerdemenz hingegen unbeeinträchtigt zu sein.

Bei längerfristiger Aufmerksamkeitszuwendung (Daueraufmerksamkeit) sind Effekte auf der Basis der Aufgabenanforderungen sichtbar. Sind die Anforderungen gering, unterscheiden sich die Leistungen von Alzheimerpatienten in einem leichten Stadium nicht gegenüber jenen

von Kontrollprobanden gleichen Alters. Unter zunehmend anspruchsvolleren Bedingungen werden jedoch beschleunigte Vigilanzdekremete sichtbar.

Insgesamt bestehen damit in frühem Stadium einer Alzheimerkrankheit vor allem Probleme mit dem Ablösen (disengagement) und Verschieben (shift) des räumlichen Aufmerksamkeitsfokus und mit der gleichzeitigen Aufmerksamkeitszuwendung auf mehr als eine Informationsquelle.

Ein weiteres Argument, das die Bedeutung der Aufmerksamkeitsdiagnostik im Hinblick auf die Alzheimererkrankung deutlich macht, ergibt sich aus parallelen Zusammenhängen zwischen Aufmerksamkeitsparametern einerseits und Gedächtnisparametern andererseits mit dem für die Alzheimerkrankheit wohl wichtigsten Risikofaktor neben dem Alter: dem ApoE- $\epsilon$ 4.

Träger von sog. ApoE- $\epsilon$ 4 Allelen (Apolipoprotein E - ein wichtiges Steuerelement des Lipidstoffwechsels; es liegt in den Hauptisoformen E2, E3, E4 vor) sind einem deutlich erhöhten Risiko zur Entwicklung der sporadischen Form der Krankheit ausgesetzt: heterozygote (E4/non-E4) einem etwas geringeren als homozygote (E4/E4) Phänotypen. Die  $\epsilon$ 2,  $\epsilon$ 3 und  $\epsilon$ 4 Allele liegen sämtlich auf einem einzigen Locus des Chromosoms 19.

Auf der Basis einer Stichprobe gesunder älterer und nicht-dementer Probanden konnten Bondi et al. (1995) den Nachweis erbringen, dass ein schlechteres Abschneiden in Tests, die das episodische Gedächtnis messen (California Verbal Learning Test, CVLT) mit dem ApoE- $\epsilon$ 4 Allel assoziiert sind und die Träger dieses Allels prospektiv einem deutlich erhöhten Risiko ausgesetzt waren, die Alzheimerkrankheit zu entwickeln.

Demnach besteht eine grundsätzliche Assoziation zwischen ApoE- $\epsilon$ 4 und verringerter kognitiver Leistungsfähigkeit (mindestens hinsichtlich des Gedächtnisses) auch bevor oder ohne das es zu einer manifesten Alzheimererkrankung kommen muss.

Jüngere Befunde zeigen aber, dass darüber hinaus ähnliche Leistungsverminderungen auf der Basis von ApoE- $\epsilon$ 4 auch hinsichtlich spezifischer Aufmerksamkeitsaspekte zu erwarten sind (Parasuraman et al., 2002). Insbesondere sind dabei erneut räumliche Aufmerksamkeitsverschiebungen, die Dynamik des visuellen Aufmerksamkeitsfokus und Mechanismen des Arbeitsgedächtnisses betroffen. Im Kontext des Posner-Paradigmas kommt es zu signifikant größeren Reaktionszeit- (RZ) Kosten unter der Bedingung invalider Hinweisreize. Der homozygote ApoE- $\epsilon$ 4 Phänotyp ist darüber hinaus mit einer verminderten Geschwindigkeit zur Veränderung des Aufmerksamkeitsfokus im Kontext einer hinweisgebundenen visuellen Suchaufgabe (engl. cued visual search task) assoziiert. Mittels einer Aufgabe zum räumlichen Arbeitsgedächtnis mit Hinweisgebung (engl. cued spatial working memory task) lassen sich homozygote von heterozygoten ApoE- $\epsilon$ 4 und non-ApoE- $\epsilon$ 4 Phänotypen differenzieren. Im allgemeinen gilt eine positive Korrelation zwischen dem Durchmesser des räumlichen Hinweisreizes und der RZ bei dieser Form der Verzögerten

Passungsaufgabe (engl. delayed matching-to-sample task), bei der die Position eines Sample-Reizes mit der zeitlich verzögerten Position des Zielreizes beurteilt werden muss. Die Reaktionen der homozygotischen ApoE-ε4 Phänotypen zeigen jedoch keinen solchen Zusammenhang mit dem Durchmesser des räumlichen Hinweisreizes.

## **Ein Fazit mit Implikationen für die Diagnostik von Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsprozessen**

Die demographischen Trends in den westlichen Industrienationen weisen auf eine Alterung der Gesellschaften hin, so dass in Zukunft mit daraus spezifisch erwachsenden Problemen zu rechnen ist. Um solche Probleme prognostizieren, geschweige den lösen zu können, ist ein besseres Verständnis über den Vorgang des Alterns selbst notwendig.

Mit dem zunehmenden Durchschnittsalter in den westlichen Industrienationen, steigt auch die Häufigkeit typischer, mit dem Altern assoziierter Krankheiten und Syndrome an, die damit ein wesentlicher Faktor für die Gefährdung der Integrität sozialer Sicherungssysteme darstellen. Dies gilt in offensichtlicher Weise für die zu erwartende Zunahme dementieller Syndrome, von denen die Alzheimerkrankheit die prominenteste Ursache ist.

Die pharmakologische Forschung nach innovativen Therapeutika wird mit Hochdruck vorangetrieben. Aktuell kann aber lediglich eine Verzögerung der Krankheitsentwicklung erreicht werden, womit die Forderung nach einer möglichst frühen und differentiell abgesicherten Diagnose wünschenswert wird. Neuropsychologische Ansätze können bei der Suche nach präklinischen Merkmalen (Markern) der Alzheimerkrankheit einen sehr wertvollen Dienst erweisen und damit eine Früherkennung dieses progredienten Syndroms ermöglichen (vgl. oben). Allerdings muss davon ausgegangen werden, dass solche Merkmale nur geringe Effektstärken besitzen und dass ihre Identifikation daher ein Höchstmaß an Messgenauigkeit erfordert.

### *Normales kognitives Altern und der Altersgradient*

Zumal aber das Altern selbst mit selektiven und differentiellen kognitiven Leistungsverringerungen in Verbindung gebracht wird, sollten ausschließlich diagnostische Instrumente berücksichtigt werden, die jenen altersbezogenen Effekten Rechnung tragen (*Normierung*). Deshalb ist die Bestimmung von Altersgradienten ein wichtiger Schritt in der empirischen Analyse des kognitiven Alterns. Bei deren Interpretation ist jedoch Vorsicht geboten, zumal die Schwierigkeit besteht, dass ein für eine spezifische Variable beobachteter Altersgradient das Kondensat aus Eigenschaften des Tests, des Konstrukts und letztlich des differentiellen Alterns ist.

Der Verlauf des Altersgradienten einer Testvariable steht mit dem gemessenen Funktionsbereich und der Sensitivität in Zusammenhang, mit der ein Test den Funktionsbereich misst. Ein sensitiver Test wird tendenziell vorhandene Differenzierungsprozesse besser abzubilden in der Lage sein, als ein Messinstrument, das nur wenig differenzierte Resultate erlaubt. Somit ist das Ausmaß der Verteilungskennwerte

(Mittelwert und Varianz) und deren mögliche Veränderungen über den Altersquerschnitt zu einem guten Teil von den zum Einsatz gebrachten Testverfahren abhängig. Und neuropsychologische Tests sind entgegen traitorientierter Messverfahren zur Intelligenzmessung *wesentlich* geeigneter, subtile Unterschiede abzubilden.

Andererseits impliziert das Konzept des differentiellen Alterns gerade auch intra- und interindividuell unterschiedliche Altersgradienten im Kontext unterschiedlicher Funktionsbereiche. Es ist beispielsweise vorstellbar, dass sowohl protektive Faktoren als auch Risikofaktoren die Geschwindigkeit des Alterns zu beeinflussen in der Lage sind, so dass jene ältere Menschen mit einer höheren Risikofaktoren-Exposition einen steileren Altersgradienten aufweisen oder sogar beschleunigt altern. Die Annahme, dass u.a. das durch die Schul- und Berufsausbildung erworbene Intellektuelle Niveau als ein solcher protektiver Faktor zumindest für jüngere Senioren (Smith und Baltes (1996) schließen dies für Hochbetagte im Kontext der psychometrischen Intelligenz aus) in Frage kommt, ist nicht unbegründet, gilt Analoges doch auch für die Demenzentwicklung. Im Zusammenhang mit der Geburtenkohortenzugehörigkeit ergibt sich somit eine mehrfache Überlagerung mit dem Stand des intraindividuellen Alterns zum gegebenen Messzeitpunkt (vgl. oben).

Eine weitere zusätzlichen Interpretationserschweris ergibt sich insbesondere aus der differenzierte Erfassung komplexer Konstrukte (wie z.B. dem »episodischen Gedächtnis«). Es ist jedenfalls nicht davon auszugehen, dass sich das Altern in allen Testparametern in gleichem Ausmaß niederschlägt. Vielmehr muss auch hier zwischen einzelnen Variablen mit unterschiedlichen Effekten gerechnet werden.

Welche unterschiedliche Variablen ein und desselben Test letztlich welche kognitiven Binnenprozesse (oder Komponenten) des zugrundeliegenden Konstrukts erfassen entzieht sich weitestgehendst einer genaueren Analyse.

### *Normales kognitives Altern und die Varianzerweiterung*

Darüber hinaus weisen Veränderungen in beinahe jedem neuropsychologischen Merkmalsbereich eine altersbezogene Varianzerweiterung auf (Weinert, 1994, p.183; Baltes, 1989). Die interindividuellen Unterschiede werden im Zuge des Alterns bisweilen so groß, dass dahinter intraindividuelle Unterschiede sogar zurück bleiben. Differentielles Altern meint demnach zweierlei:

Aufgrund der Entwicklung funktioneller und individueller Merkmalsbereiche nach einem multidimensionalen und –direktionalen Muster (intraindividuell) tritt eine umfassende Individualisierung und zunehmende Einzigartigkeit der Entwicklungsverläufe (interindividuell)

ein, die eine universelle und nomothetische Betrachtungsweise des Alterungsprozesses erheblich erschwert und auch methodisch zu erheblichen Schwierigkeiten führen kann. Mögliche Quellen dieser allgemein zunehmenden Heterogenität sind Baltes (1989) zufolge durch drei wesentliche Faktoren identifiziert:

1. Unterschiede in Anlage- und Umweltbedingungen wirken kumulativ, ihre Effekte vergrößern sich mit der Lebenszeit (Plomin & Thompson, 1986)
2. Der Einzelne wirkt in ähnlicher Weise kumulativ und individualisierend als Gestalter seines eigenen Lebensweges (Brandstätter, 1986)
3. Das normale Altern wird in multipler Weise durch eine Vielfalt von Krankheitsbildern überlagert, deren Subtilität nicht unbedingt Anlass für eine klinische Diagnose geben muss (Baltes, 1989)

Wenn man mit der klinischen-neuropsychologischen Diagnostik insbesondere gesunder und nicht-dementer älterer Menschen vertraut ist, wird man immer wieder die Erfahrung machen, dass Hochbetagte zuweilen Leistungen erbringen, die selbst von der Mehrheit jüngerer Personen kaum erreicht wird. Und umgekehrt, lassen sich jüngere Menschen identifizieren, deren Leistungen eher jenen entsprechen, die man eigentlich von den Hochbetagten erwarten würde (siehe Abb. 19). Dies kann nicht nur für Performanzdaten alleine, sondern erstaunlicherweise auch für Reaktionszeiten beobachtet werden. Die Frage, ob nun die im Altersquerschnitt evidente Zunahme der Differenzierung der Leistungskennwerte eher mit unterschiedlichen Entwicklungsvoraussetzungen in Abhängigkeit des Geburtsjahrgangs konfundiert ist (Kohorteneffekt) oder das kognitive Altern zwischen verschiedenen Individuen unterschiedlich schnell verläuft oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten einsetzt oder ob gar alle drei Möglichkeiten in vielleicht unterschiedlicher Gewichtung zutreffen ist nur schwer bis gar nicht zu beantworten, wenn nicht die längsschnittliche Entwicklung der untersuchten Personen berücksichtigt wird.

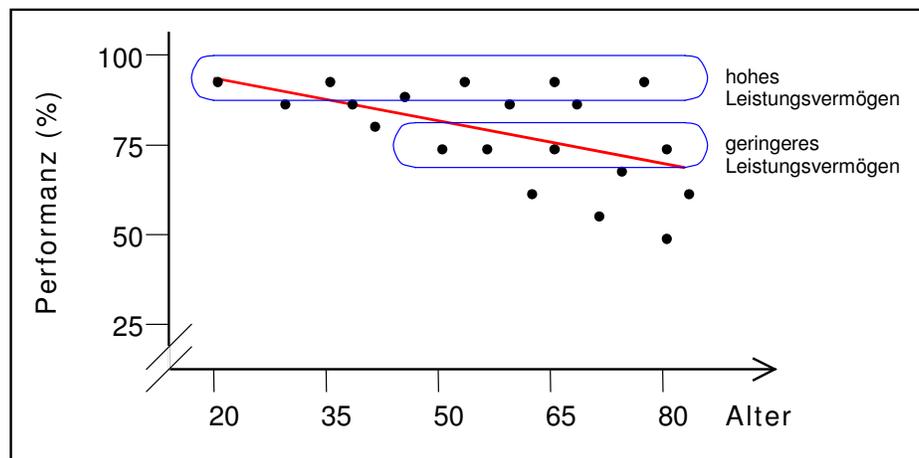
Ein Ziel gerontopsychologischer Theorienbildung muss daher auf jeden Fall eine differenzierte Klärung dieser Frage zum Gegenstand haben, indem beispielsweise auf empirischer Ebene systematische Muster in sequentiell verfolgten Altersquerschnitten (Kohortensequenzen, vgl. Schaie, 1965) identifiziert werden. Aus dieser Perspektive ergibt sich die Notwendigkeit zunächst einmal auf der Grundlage des Querschnittes für das Altern kognitiver Funktionsbereiche (z.B. Gedächtnis, Aufmerksamkeit) eine Fülle von Fragestellungen mit deskriptivem Charakter zu formulieren.

So stellt sich beispielsweise die Frage mit welcher Häufigkeit ältere Personen mit maximalem Leistungsvermögen entlang des Altersquerschnittes verteilt sind und ob sich eine Altersgrenze feststellen lässt, ab der selbst die »besten« Alten nicht mehr die

Leistungen ihrer noch jüngeren Zeitgenossen erreichen? Wie verhält es sich mit der Variabilität: lassen sich auch hier Altersgrenzen feststellen, über die hinaus eine deutliche Zunahme zu verzeichnen ist? Welche Einflüsse ziehen Geschlechts- und Ausbildungsmerkmale nach sich?

Die Beobachtung einer mit dem Altersquerschnitt zunehmenden Varianz bleibt methodologisch aber auch für die klinische Diagnose nicht ohne Folgen!

Um Alterseffekten nachzuweisen, ist im Forschungskontext der Vergleich zwischen Altersklassen oder die Absicherung zweier Mittelwerte gegenüber einer zufälligen Differenz zu erbringen, die ihrem Betrag nach größer Null ist. Hingegen verlangt jede statistische Prozedur - ob nun ANOVAs oder selbst ein einfacher T-Test - ab Intervallskalenniveau die Voraussetzung der Homoskedastizität (Gleichheit der Varianzen in Abhängigkeit eines jeden Ausprägungsgrades der unabhängigen Variablen). Ist diese Forderung nicht erfüllt, können die betreffenden Prozeduren nicht zum Einsatz kommen oder man ist aber gezwungen Rang-Statistiken zu rechnen, die aufgrund der Datentransformation auf Ordinalskalenniveau immer mit einem Informationsverlust verbunden sind.



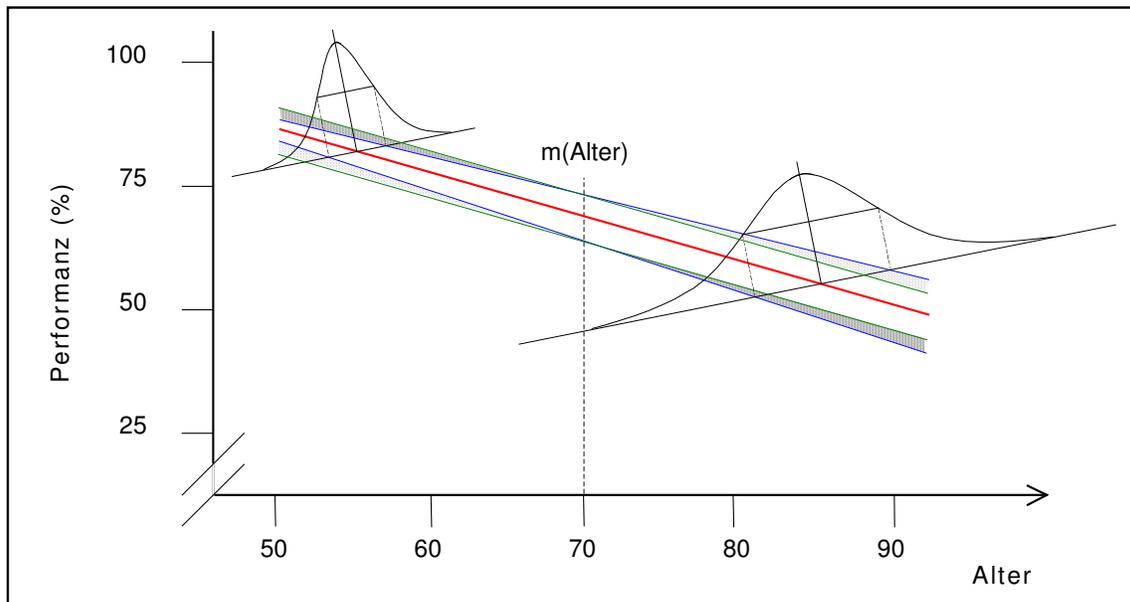
**Abbildung 19 – Performanz eines beliebigen kognitiven Merkmals als Funktion des Alters (schematischer Querschnitt). Im Mittel nimmt die Leistungsfähigkeit zwar ab, dennoch lassen sich selbst hochbetagte Personen identifizieren, deren Leistungsfähigkeit genauso gut oder gar besser ist, als die von Jüngeren.**

In der klinisch psychologischen Diagnostik gilt es häufig mittels statistischer Urteilsfindung Klassifikationen auf der Basis von Testergebnissen vorzunehmen. Im einfachsten Fall ist dies die Unterscheidung in Gesund vs. Krank oder auffällig vs. unauffällig. In den seltensten Fällen sind solche Zuordnungen jedoch eindeutig und zweifelsfrei zu treffen, zumal jedes Testinstrument mit einer relativen Unsicherheit (vgl. Reliabilität) behaftet ist und die Zuordnung in der Regel entsprechend der Ausprägung eines quantitativen Maßes – im günstigsten Fall – relativ zu einem empirisch gewonnenen Cut-Off Wert erfolgt.

Die altersbezogene Varianzerweiterung über eine Vielzahl von Merkmalen führt jedoch hinsichtlich der Diagnostik gerade älterer Patienten zu einer systematischen Unterschätzung der Leistungsfähigkeit relativ zum mittleren Alter einer Normstichprobe, während jüngere Patienten systematisch überschätzt werden (siehe Abb. 20).

Die klinische Bedeutung eines individuellen Leistungskennwertes ergibt sich über dessen Position relativ zur Gesamtverteilung (i.d.R. Normalverteilung) der Referenzpopulation gesunder Kontrollpersonen, die ihrerseits wiederum durch einen Mittelwert und eine Standardabweichung eindeutig definiert ist. Entweder durch klinische Erfahrung oder aber optimiert durch statistische Prozeduren können nun Schwellenwerte (engl. Cut-Off Scores) definiert werden, deren unterschreiten mit einem pathologischen Prozess assoziiert ist oder mindestens infrage stellen, ob ein betreffender Patient mit der entsprechenden Merkmalsausprägung noch als zur Referenzpopulation zugehörig betrachtet werden kann. Während die Korrektur der Mittelwerte in Abhängigkeit wichtiger demographischer Faktoren wie dem Alter ein durchaus herkömmliches Verfahren ist, um Referenzverteilungen zu erstellen, fehlt eine solche Korrektur für die Standardabweichungen gänzlich. Dies hat zur Folge, dass die Skalierung individueller Kennwerte systematisch mit dem Alter konfundiert ist und daraus eine verminderte Spezifität und Sensitivität resultiert.

Der Einwand, dass eine altersbezogene Varianzerweiterung die Folge einer zunehmenden Durchsetzung pathologischer Prozesse geschuldet sei, hat durchaus seine Berechtigung (siehe oben!). Das spricht eigentlich gegen eine Alterskorrektur der Standardabweichung, weil damit ja die Gefahr von einer überproportionalen Anzahl falsch negativer Klassifikationen gegeben ist. Aber wie zuvor schon beschrieben, liegen die Quellen dieses Phänomens auch in der Idiosynkrasie des Entwicklungsprozesses selbst. Anderenfalls müsste man annehmen, dass jeder Ausdruck kognitiven Alterns mit pathologischen Prozessen assoziiert ist. Denn schließlich kann ja beobachtet werden, dass eine Vielzahl selbst hochbetagter Personen durchaus die Leistungsfähigkeit ihrer sehr viel jüngeren Zeitgenossen erreichen. Somit wäre aber die Alterskorrektur von Mittelwerten gleichermaßen unzulässig, wie die der Standardabweichungen.

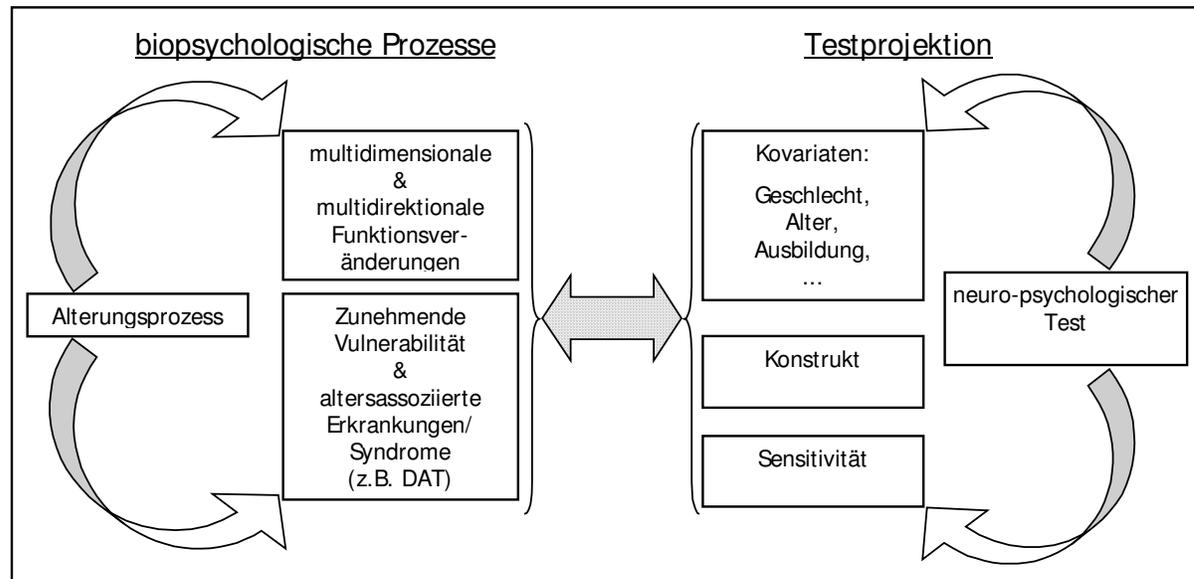


**Abbildung 20 – Auswirkung der Varianzerweiterung auf die Leistungsmessung.** Die Abbildung zeigt die Regression eines kognitiven Merkmals worin ein unkorrigierter (grün) und ein altersbezogener Standardfehler (blau) enthalten ist. Der hell markierte Teil zeigt den Bereich, indem jüngere Patienten überschätzt werden. Der dunkel markierte Teil entspricht der Leistungsunterschätzung älterer Patienten. Dem entgegen verhält es sich bei überdurchschnittlicher Performanz genau umgekehrt. Dies ist jedoch diagnostisch meist nicht von Interesse.

### *Geschlecht und Ausbildung als wichtige Einflussfaktoren für neuropsychologische Testleistungen*

Neben der Berücksichtigung des Alters als einer zentralen demographischen Variablen müssen, wenn eine faire und reliable diagnostische Interpretation erfolgen soll, darüber hinaus auch Geschlecht und Ausbildungsstand der jeweiligen Patienten berücksichtigt werden. Der Einfluss dieser Variablen konnte gerade in jüngerer Zeit im Zuge einer Vielzahl von neuropsychologischen Normierungsprojekten nachgewiesen werden. Beispielsweise fanden Norman et al. (2000) bei  $N = 906$  kaukasischen und afrikanischen Amerikanern (Alterspanne von 17 bis 101 Lebensjahren) einen signifikanten Einfluss von Alter, Geschlecht, Ausbildung und Volksgruppenzugehörigkeit auf die Performanz in einigen CVLT-Parametern. Acevedo et al. (2000) identifizierten das Geschlecht, neben Alter und Ausbildung, als besten Prädiktor für die Performanz in einer Wortflüssigkeitsaufgabe. Dieser immer wiederkehrende Befund konnte in Bezug auf unterschiedlichster Tests gewonnen werden (*COWAT*, Loonstra, Tarlow & Sellers, 2001; *NESBHIS*, Herrera-Maldonado, 2000; *WAIS*, *WMS*, *Multilingual Aphasia Examination*, Elias et al., 1997; *Trail Making Test*, Giovagnoli, 1996; *Boston Naming Test*, Ross, Lichtenberg & Christensen, 1995, *Sensimotor Integration Test Battery*, Daniels, Jongbloed & Stacy, 1990; *Verbal Selective Reminding Test*, Larrabee et al., 1988).

## Anforderungen an die neuropsychologische Diagnostik von Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozessen



**Abbildung 21 – Die Projektion des Alterungsprozesses in einem kognitiven Funktionsbereich auf ein neuropsychologisches Testresultat. Auf die kognitive Perspektive verjüngt, wird der Alterungsprozess im wesentlichen durch differentielle Veränderungen, eine zunehmende Anfälligkeit für Umwelteinflüsse und damit assoziierten Disposition für Krankheiten und Syndrome begleitet. Dies findet Niederschlag in dafür sensitiven neuropsychologischen Tests, deren Ergebnisse darüber hinaus aber erst nach einer angemessenen Kontrolle weiterer wichtiger Einflussfaktoren und dem zugrundeliegenden Konstrukt adäquat interpretiert werden können.**

Die aus diesem Kontext erwachsenden Anforderungen an eine neuropsychologische Diagnostik von Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozessen, lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. *Eine diagnostische Abklärung des Gedächtnisses sollte immer in Kombination mit der Prüfung von Aufmerksamkeitsleistungen erfolgen.* Im Kontext einer Vielzahl von Störungsbildern lässt sich eine Koinzidenz von Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsbeeinträchtigungen feststellen, die zu anhaltenden und zuweilen subtilen langfristigen Beschwerden führen können. Die Konsequenzen für eine Wiedereingliederung in das Alltags- und Berufsleben sind gravierend, wenn diese Störungen unentdeckt bleiben. Für die Qualität der neuropsychologischen Diagnostik spielt eine sorgfältige Prüfung differentieller Aufmerksamkeitsaspekte eine bedeutende Rolle. Wird die Integrität von Aufmerksamkeitsprozessen außer Acht gelassen, droht u.U. eine Fehlinterpretation der vorliegenden Befundlage mit allen Konsequenzen, die das für die weitere therapeutische Intervention haben kann.

2. *Gedächtnis- und Aufmerksamkeitstests müssen derart beschaffen sein, dass der Heterogenität bzw. der multiplen faktoriellen Struktur der jeweiligen Konstrukte Rechnung getragen wird.* Wie die an früherer Stelle geschilderten Taxonomien des Gedächtniskonstruktes einerseits und des Aufmerksamkeitskonstruktes andererseits nahe legen, sind beide Domänen durch eine Vielzahl spezifischer, interagierender und multimodaler kognitiver Prozesse und auf einer zerebralen Ebene durch neuronale Netzwerke charakterisierbar, die hinsichtlich ihrer funktionellen Integrität selektiv dissoziiert sein können. Eine Prüfung nur weniger Teilaspekte kann das Vorliegen subtiler Beeinträchtigungen in anderen Komponenten unberücksichtigt lassen und diagnostisch zu folgenschweren Irrtümern führen.
3. *Um zuverlässige klinische Einschätzungen vornehmen zu können (insbesondere bei Patienten des dritten Lebensabschnittes) bedarf es einer sorgfältigen Normierung der jeweiligen Testinstrumente, die darüber hinaus auch die altersbezogene Variabilität der Testwerte berücksichtigt.* Das kognitive Altern ist durch differentielle Abbau und Stabilisierungsprozesse gekennzeichnet. Darüber hinaus besteht mit zunehmendem Alter eine größere Disposition für die Entwicklung spezifischer »Alterskrankheiten und –syndrome«. Die Vulnerabilität gegenüber schädlichen Umwelteinflüssen wächst. Im Zusammenhang mit geschlechtsspezifischen und ausbildungsbedingten Leistungsunterschieden, dem jeweils zugrundeliegenden Testkonstrukt und der Testsensitivität ergibt sich ein relativ komplexes Wirkungsgefüge, das einer eindeutigen Interpretation vorliegender Testergebnisse entgegenwirkt (siehe Abb. 21). Die zunehmende Idiosynkrasie der Entwicklungsverläufe in höherem Lebensalter schlägt sich zweifellos auch in einer großen Anzahl kognitiver Parameter nieder und führt damit zu einer altersabhängigen Varianzerweiterung, die, wenn eine Kontrolle unterbleibt, durchaus Einfluss auf die Sensitivität und Spezifität eines Maßes und damit auf die Altersfairness eines Tests haben kann.

## **Kognitives Altern in CVLT und TAP/TAS**

Das Verständnis normaler kognitiver Altersprozesse ist – wie in den vorausgegangenen Abschnitten diskutiert – von herausragender Bedeutung für die klinische Diagnose »pathologischen Alterns«. Die Unterscheidung pathologischer von normalen kognitiven Altersprozessen zu einem möglichst frühen Zeitpunkt der Krankheitsentwicklung setzt eine möglichst genaue Kenntnis altersgemäßer Veränderungen mechanistischer Kognitionen voraus. Darüber hinaus ermöglicht die Erhebung differenzierter kognitiver Leistungsprofile die Feststellung verbliebener Ressourcen und Kapazitäten, die zu einem optimalen Versorgungsmanagement zugunsten von Patienten, pflegenden Angehörigen aber auch für das im Gesundheitswesen tätigen Personal genutzt werden kann. Subtile Verbalisations-, Aufmerksamkeits- oder Gedächtnisstörungen, die im Alltag leicht übersehen werden, können hierdurch entsprechende Berücksichtigung finden und somit zu einer Reduktion von Kommunikations- oder Interaktionsdefiziten beitragen.

Das Verständnis normalen kognitiven Alterns ist darüber hinaus auch für eine adäquate Umstrukturierung derjenigen gesellschaftlichen Lebensbereiche notwendig, die im Zuge der demographischen Entwicklung besondere Anforderungen an die Altersfairness und damit an die Bedingungen für ein »erfolgreiches Altern« stellen (vgl. S. 56).

Der erfolgreichen Verkehrsteilnahme älterer Autofahrer ist nicht damit gedient, wenn Gefahrenstellen im Straßenverkehr mit einem »Schilderwald« versehen werden, und damit außerordentliche Anforderungen an die visuelle Informationsselektion unter bisweilen erheblicher zeitlicher Beschränkung stellen. Erst recht dann nicht, wenn zugleich der Verkehrsfluss, der stetig zunimmt, berücksichtigt und das eigene Fahrzeug geführt werden muss. Auch die Methode des Verkehrsfunk zur Entflechtung dichten Verkehrsgeschehens auf Fernstrassen muss hinsichtlich seiner Bedeutung in einer alternden Gesellschaft hinterfragt werden, denn die Leistungsfähigkeit der geteilten Aufmerksamkeit ist genauso altersbezogenen Veränderungen unterworfen, wie die Daueraufmerksamkeit, die notwendig ist, unter der Vielzahl von Meldungen, die jeweils relevante aufzuspüren.

Des weiteren besteht die Notwendigkeit eine »altersfaire« Ergonomie für die Bedienung technischer Geräte zu entwickeln, die bisweilen kontraintuitive Bedienungselemente oder Verfahrensweisen eliminiert. Wenngleich zweifellos auch ältere Nutzer von Personalcomputern (oder Mobiltelefonen) mittels der »Trial and Error« Methode ein graphisches Interface zu bedienen lernen, so ist anzunehmen, dass sie insbesondere aufgrund der altersverminderten Flexibilität gerade dann besondere Schwierigkeiten mit dem Beenden des Systems haben, wenn man bsw. vorher gezwungen ist die »Starttaste« zu betätigen.

Ältere Personen sind auch bei der Nutzung von Service- und Dienstleistungen benachteiligt, deren zunehmende Internetbasierung den inflationären Gebrauch von allerlei Pass- und Kennwörtern notwendig macht und dabei hohe Anforderungen an das episodische Gedächtnis stellt. Vielerlei Anforderungen des Alltags in modernen Gesellschaften entbehren zweifellos das, was mit dem Attribut »Altersfairness« gemeint ist, weil zu ihrer Bewältigung kognitive Leistungen erforderlich sind, die weitaus eher dem Leistungsvermögen Jüngerer angemessen sind, die spezifische Probleme Älterer mit dem Abrufen oder Neuerlernen von Gedächtnisinhalten, dem Vermögen zur geteilten und dauerhaften Aufmerksamkeitszuwendung oder der kognitiven Flexibilität jedoch unberücksichtigt lassen.

Hiermit ist auch der Funktionsbereich umschrieben, dem sich die vorliegende Arbeit zuwendet. Seine Relevanz ergibt sich nicht nur aus der Bezugnahme zu normalem kognitivem Altern, wie oben in einigen Beispielen von Alltagsanforderungen dargestellt, sondern auch im Bemühen der frühzeitigen Abgrenzung zu pathologischen kognitiven Altersvorgängen, worin die Alzheimerkrankheit eine besondere Stellung einnimmt. Altersbezogene Veränderungen in den Bereichen des episodischen Gedächtnis, der Flexibilität, der geteilten und längerfristig andauernden Aufmerksamkeit folgen ihrer Natur gemäß differentiellen und sehr individuellen Mustern und Charakteristika. Eine Fülle gegenwärtig bekannter aber auch unbekannter Faktoren wirken auf das Entwicklungssubjekt ein und modifizieren, beschleunigen, verringern oder kompensieren gar die Leistungsfähigkeit in spezifischen kognitiven Komponenten. Das dürften mindestens für das Geschlecht und die formale Ausbildungsdauer unbestritten sein. Ebenso differenziert, wie das Phänomen selbst, sollte demzufolge die Untersuchung des normalen kognitiven Alterns erfolgen. Fragen nach interindividuellen und intraindividuellen Unterschieden sind dabei von besonderer Relevanz:

- Welche qualitativen und quantitativen Einflüsse des normalen Alterns lassen sich auf die genannten Funktionsbereiche im Querschnitt feststellen? Wie verhalten sich Mittelwerte und Standardabweichungen zum Lebensalter?
- Welche Bedeutung kommt dabei dem Geschlecht und der formalen Ausbildungsdauer zu?
- Lassen sich ältere Untersuchungsteilnehmer beobachten, deren Leistungsfähigkeit ähnlich der Jüngerer ist. Welche Geschlechts- und Ausbildungsmerkmale weisen sie auf?
- Wie verhält es sich mit sehr leistungsfähigen und leistungsschwachen Personen in den jeweiligen Funktionsbereichen? Wie stark vermindert sich ihre Anzahl oder wie stark nimmt sie entlang des Querschnittes zu?

- Stimmen die Befunde mit jenen aus der Literatur über normales kognitives Altern überein?

Neuropsychologische Messinstrumente zur Abbildung normalen aber auch pathologischen kognitiven Alterns in den genannten Bereichen sollten möglichst alterssensitiv, konstruktnah und nur in geringem Maße komplex sein, damit eine sorgfältige und genaue Untersuchung möglich ist. Darüber hinaus sollten sie jedoch der Heterogenität der Konstrukte Aufmerksamkeit und episodisches Gedächtnis Rechnung tragen.

Zwei neuropsychologische Instrumente, die diese Eigenschaften erfüllen sind hinsichtlich des episodischen Gedächtnisses der *California Verbal Learning Test* (CVLT; Delis, Kramer, Kaplan & Ober, 1987) einerseits und hinsichtlich spezifischer Aufmerksamkeitsfunktionen die *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung* (TAP; Zimmermann & Fimm, 1994) andererseits. Die TAP ist eine rechnergestützte Testbatterie, die dem Informationsverarbeitungsansatz folgt. Somit ist damit zu rechnen, dass Aufgaben, die es der Untersuchungsperson ermöglichen, die Arbeitsgeschwindigkeit selbst zu steuern, einen Speed-Accuracy Trade-Off aufweisen. Dies trifft für die Aufgabe »Reaktionswechsel« zu, die geeignet ist, eine Maß für kognitive Flexibilität zu produzieren. Hierzu ist dementsprechend eine gesonderte Frage zu stellen:

- Lassen sich seitens der älteren Untersuchungspersonen Strategien feststellen, die auf eine Maximierung der Arbeitsgeschwindigkeit zulasten der Genauigkeit schließen lassen oder umgekehrt? Ändern sich die Strategien im Zuge des Alterns? Wie lässt sich schließlich die Leistungsfähigkeit einschätzen, wenn solche Strategien verfolgt werden?

## **Methoden und Testpersonen**

## **Normierung des California Verbal Learning Test (CVLT) und der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP)**

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Deskription und Analyse von Alterstrends in der deutschen Version des *California Verbal Learning Tests (CVLT)*; Delis, Kramer, Kaplan & Ober, 1987) und dreier Aufgaben aus der *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP)*, Zimmermann & Fimm, 1994) unter Berücksichtigung des Geschlechts und der formalen Ausbildungsdauer der Studienteilnehmer. Die Daten sind Grundlage einer Normierung der jeweiligen neuropsychologischen Tests. Normstichprobe ist dabei eine Stichprobe älterer und gesunder Untersuchungsteilnehmer des Projekt BASEL (Basel Study of the Elderly).

### *California Verbal Learning Test (CVLT)*

Der CVLT ist ein Testinstrument zur Prüfung des episodischen Gedächtnis mittels fünf Wortlistendurchgängen (die einer Einkaufsliste nachempfunden sind), einer Interferenzliste, kurzfristigem und längerfristigem freien und hinweisgebundenen Abruf und schließlich einer Aufgabe zum Wiedererkennen der Listenitems.

Der Entwurf dieses Tests verfolgt drei Ziele:

- Der CVLT soll sowohl im Forschungskontext als auch in der klinischen Praxis zum Einsatz kommen.
- Er soll sowohl eine Quantifizierung als auch eine Qualifizierung des Lernprozesses erlauben.
- Er soll Einschränkungen älterer Gedächtnistests überwinden.

Einer Testperson erhält in fünf sequentiellen Durchgängen eine auditive Präsentation der Liste A, die 16 Einkaufsgegenständen enthält, die ihrerseits wiederum einer von vier semantischen Kategorien angehören (siehe Anhang E). Nach jedem Durchgang wird die Testperson gebeten, soviel Items wie möglich wiederzugeben. Die Präsentation der fünf Durchgänge wird dann gefolgt von der Darbietung einer Interferenzliste (Liste B), die gleichermaßen Einkaufsgegenstände enthält, die jedoch aus unterschiedlichen semantischen Kategorien stammen. Auch hier sind die Testpersonen gefordert, die Listenwörter wiederzugeben. Nun schließt sich die Aufforderung nach erneuter Wiedergabe der Liste A an (Short Delay Free Recall, SDFR), gefolgt von einer Aufforderung nach den jeweiligen semantischen Kategorien gesondert abzurufen (Short Delay Cued Recall, SDCR).

Nach einem Verzögerungsintervall von 20 Minuten erfolgt erneut ein freier Abruf und ein Abruf mit Hinweisgebung (Long Delay Free Recall, LDFR bzw. Long Delay Cued Recall, LDCR). Schließlich erhält die Testperson die auditive Präsentation 44 weiterer Einkaufsgegenstände, woraufhin sie entscheiden muss, ob ein jeweils dargebotenes Item in der Liste A enthalten war oder nicht. Diese Prozedur ermöglicht ein Maß für Wiedererkennen (engl. Recognition).

Folgende Lerncharakteristika können mittels CVLT quantifiziert werden:

- Das Leistungsniveau des Gesamtabrufs (engl. total recall) und des Wiedererkennens (engl. recognition) über alle Durchgänge
- Semantische und serielle Lernstrategien
- Serielle Positionseffekte (engl. serial position effects)
- Die Lernrate über fünf Durchgänge hinweg
- Konsistenz des Abrufs über die Durchgänge hinweg
- Neigung zu proaktiver und retroaktiver Interferenz
- Die Speicherung von Information über längere und kürzere Verzögerungsintervalle
- Die Steigerung der Abrufleistung durch kategoriale Hinweise und Wiedererkennen
- Indizes der Wiedererkennensleistung (Diskriminabilität und Reaktionstendenzen [engl. response bias])
- Perseverationen und Intrusionen während des Abrufs
- Falsch-Positive Antworten im Zuge des Wiedererkennens

*Tabelle 4 – CVLT Variablen und ihre Definitionen. In Klammern sind die Variablenbezeichner enthalten*

<b><u>Abrufmaße</u></b>	<b><u>Definition</u></b>
Liste A Durchgang 1 – 5 (T1_T5)	Gesamtzahl korrekt wiedergegebener Items über die Durchgänge 1 – 5
Liste A Durchgang 1	Gesamtzahl korrekt wiedergegebener Items hinsichtlich Durchgang 1
Liste A Durchgang 5	Gesamtzahl korrekt wiedergegebener Items hinsichtlich Durchgang 5
Liste B	Gesamtzahl korrekt wiedergegebener Items hinsichtlich Liste B

Fortsetzung Tabelle 4

Freier Abruf mit kurzer Verzögerung (SDFR)	Gesamtzahl korrekt wiedergegebener Items hinsichtlich Liste A nach Darbietung der Liste B
Abruf mit Hinweisgebung und kurzer Verzögerung (SDCR)	Gesamtzahl korrekt wiedergegebener Items hinsichtlich Liste A, bei Benennung der Kategorie
Freier Abruf mit langer Verzögerung (LDFR)	Gesamtzahl korrekt wiedergegebener Items hinsichtlich Liste A nach 20 Min. Verzögerungsintervall
Abruf mit Hinweisgebung und langer Verzögerung (LDCR)	Gesamtzahl korrekt wiedergegebener Items hinsichtlich Liste A nach 20 Min. Verzögerungsintervall und bei Benennung der Kategorie
Behaltensleistung mit langer Verzögerung (%) (SAVINGS)	Anteil von LDFR relativiert an Liste A Durchgang 5 in Prozent
<b><u>Lerncharakteristika</u></b>	
Semantische Bündelung	Verhältnis nachfolgend abgerufener Listenwörter (A) einer gemeinsamen Kategorie zur erwarteten semantischen Bündelung unter Berücksichtigung der Gesamtzahl abgerufener Items und Kategorien
Serielle Bündelung	Verhältnis entsprechend ihrer seriellen Position abgerufener Listenwörter (A) zur erwarteten seriellen Bündelung
Primacy Region (%)	Relativer Anteil (%) der abgerufenen Items aus der Primacy Region der Liste A über Durchgang 1 – 5
Middle Region (%)	Relativer Anteil (%) der abgerufenen Items aus der Middle Region der Liste A über Durchgang 1 – 5
Recency Region (%)	Relativer Anteil (%) der abgerufenen Items aus der Recency Region der Liste A über Durchgang 1 – 5
Lernfortschritt (Steigung)	Lineare Komponente der Regressionsgeraden. Sie reflektiert den Lernzuwachs über die Durchgänge 1 – 5
Abruf Konsistenz Index	Relativer Anteil (%) von Items hinsichtlich Durchgang 1- 4, die gleichermaßen unter den abgerufenen Wörtern des unmittelbar nächsten Durchgangs enthalten sind.
<b><u>Wiedererkennensmaße</u></b>	
Diskriminabilität (DISKRIMINABILITÄT)	Relativer Anteil (%) korrekter Zurückweisungen und Identifikationen hinsichtlich des Wiedererkennenstests
Antworttendenz	Maß zur Abbildung von Antworttendenzen in Richtung »Ja« oder »Nein«

**Abruffehler***Fortsetzung Tabelle 4*

Perseverationen	Gesamtzahl von mehr als einmal wiedergegebenen Items
Intrusionen bei Freiem Abruf (FR-INTRUSIONEN)	Gesamtzahl abgerufenen Items bzgl. SDFR und SDCR, die nicht in Liste A enthalten sind
Intrusionen bei Abruf mit Hinweisgebung	Gesamtzahl abgerufenen Items bzgl. LDFR und LDCR, die nicht in Liste A enthalten sind

Die Darstellung der Alterstrends und –entwicklung in den Parametern des CVLT ist begrenzt auf folgende fünf ausgewählte Variablen: Liste A Durchgang 1 – 5, Freier Abruf bei langer Verzögerung, relative Behaltensleistung bei langer Verzögerung, Diskriminabilität und Intrusionen bei freiem Abruf. Die Auswahl folgt empirischen Befunden, wonach diese Variablen besonders geeignet für die Diskriminierung früher Alzheimerfälle sind (Taylor & Monsch, 2003). Grundsätzlich können aber dem Anhang C Normierungsinformationen über sämtliche in Tabelle 4 beschriebenen Variablen entnommen werden.

*Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP)*

Die TAP ist ein umfangreiches Computergestütztes Testverfahren zur Prüfung einer Vielzahl unterschiedlicher Aspekte der Aufmerksamkeit. Die Reaktionsparadigmen sind so gewählt, dass selektiv auf gut diskriminierbare und sprachfreie Reize durch einfachen Tastendruck reagiert werden kann. Prüfkriterien sind Reaktionszeit und eventuell begangene Fehler. Folgende Einzeltests sind in der Testbatterie enthalten:

1. Alertness
2. Arbeitsgedächtnis (in drei Schwierigkeitsgraden)
3. Augenbewegungen
4. Gesichtsfeld- bzw. Neglectprüfung
5. Geteilte Aufmerksamkeit (mit zwei Vortests)
6. Go/Nogo-Test (in zwei Varianten)
7. Inkompatibilität
8. Intermodaler Vergleich
9. Reaktionswechsel (in zwei Varianten, jeweils mit Vortest)
10. Verdeckte visuelle Aufmerksamkeitsverschiebung
11. Vigilanztest (in vier Varianten)
12. Visuelles Scanning

Die Analyse erstreckt sich auf zwei ausgewählte Aufgaben: zum einen die Prüfung der geteilten Aufmerksamkeit (Aufgabe Nr. 5) und zum anderen die Prüfung des Reaktionswechsels (Aufgabe Nr. 9).

Ergänzt werden die beiden Aufgaben durch die *Testbatterie für Aufmerksamkeitssysteme* (TAS, Aufgabe g.), die in der vorliegenden Version 1.02c der TAP noch nicht integriert sind und für deren Durchführung ein gesondertes Rechenprogramm zur Verfügung steht.

Die Auswahl geht auf die Empfehlung des Testautors selbst – Peter Zimmermann – zurück, der im Hinblick auf die Untersuchung frühester Demenzfälle diese drei Subtests für besonders geeignet hält.

Die *Geteilte Aufmerksamkeit* ist ein Testverfahren, das das simultane Bearbeiten zweier Aufgaben erforderlich macht. Zum einen müssen Quadrate in einem visuellen Feld identifiziert werden und zum anderen gilt es auf zwei Töne identischer Tonhöhe in einer alternierenden Tonreihe zu reagieren. Um die Aufgabe erfolgreich bewältigen zu können ist eine entsprechende Ressourcenallokation bzw. ein entsprechendes »attentional switching« notwendig.

Der *Reaktionswechsel* überprüft das Vermögen zur flexiblen Aufmerksamkeitszuwendung zwischen zwei kognitiven und zwei »response sets«. Dabei alterniert das kognitive Set (Buchstabe oder Zahl) von Durchgang zu Durchgang und es ist jeweils erforderlich diejenige von zwei Tasten (rechte oder linke Taste) zu betätigen, die der Seite des aktuellen Zielreizes relativ zum Fixationspunkt entspricht. Diese Aufgabe erzwingt eine mäßige »Working Memory Load« und kann als Test für den sog. »Supervisory Attentional Control« (Shallice, 1982) verstanden werden.

In der Aufgabe *TAS* wird sukzessive eine Serie visueller Reize dargeboten, die in den Dimensionen Farbe und Form variieren. Zielreize sind derart definiert, dass sie entweder in einer oder aber der anderen Dimension identisch mit dem unmittelbaren Vorgänger sind. Diese Merkmalsidentität tritt insgesamt selten ein (ca. 17 mal in 300 sec.), so dass die Aufgabe als Daueraufmerksamkeitsprüfung mit mäßiger »Working Memory Load« charakterisiert werden kann.

Folgende Variablen werden durch die Testaufgaben erfasst:

*Tabelle 5 – TAP/TAS Variablen mit ihren Definitionen*

<b><u>Reaktionswechsel</u></b>	<b><u>Definition</u></b>
wv3sdg	Standardabweichung der Reaktionszeit (RZ) valider Reaktionen
wv3mdg	Median der RZ valider Reaktionen
wv3vng	Anzahl der validen Reaktionen
wv3feg	Anzahl falscher Reaktionen (falscher Alarm)
wv3lag	Anzahl der Auslassungen (Fehlreaktionen)
wv3cog	Korrelation der seriellen Position der Reize mit der RZ
wv3sdgmh	Standardabweichung der RZ valider Reaktionen mit Handwechsel
wv3mdgmh	Median der RZ valider Reaktionen mit Handwechsel
wv3fegmh	Anzahl falscher Reaktionen (falscher Alarm) mit Handwechsel
wv3sdgoh	Standardabweichung der RZ valider Reaktionen ohne Handwechsel
wv3mdgoh	Median der RZ valider Reaktionen ohne Handwechsel
wv3fegoh	Anzahl falscher Reaktionen (falscher Alarm) ohne Handwechsel

**Geteilte Aufmerksamkeit**

Fortsetzung Tabelle 5

d3sdg	Standardabweichung der RZ valider Reaktionen
d3mdg	Median der RZ valider Reaktionen
d3vng	Anzahl der validen Reaktionen
d3feg	Anzahl falscher Reaktionen (falscher Alarm)
d3aug	Anzahl der Auslassungen (Fehlreaktionen)
d3lag	»Lapses of Attention« - Anzahl der Reaktionen, deren RZ hinsichtlich der individuellen RZ-Verteilung im oberen 2.5% Perzentil liegen
d3slow	Anzahl der korrekten Reaktionen, die außerhalb des Zeitfensters liegen
d3corr	Korrelation der seriellen Position der Reize mit der RZ

**TAS**

mitt	Mittelwert der RZ valider Reaktionen
stab	Standardabweichung der RZ valider Reaktionen
medn	Median der RZ valider Reaktionen
richt	Anzahl der validen Reaktionen
fr	Anzahl falscher Reaktionen (falscher Alarm)
au	Anzahl der Auslassungen (Fehlreaktionen)
anti	Anzahl der Antizipationen – Anzahl der Reaktionen mit einer RZ < 100ms
ausr	»Lapses of Attention« - Anzahl der Reaktionen, deren RZ hinsichtlich der individuellen RZ-Verteilung im oberen 2.5% Perzentil liegen

Mit der Wahl der Aufmerksamkeitsprüfungen ist die Hoffnung verbunden, damit über ein geeignetes Instrumentarium zur Identifikation von präklinischen Markern der Alzheimer Krankheit zu verfügen (siehe unten). Wie zuvor beschrieben (vgl. S. 73) stehen bei der Alzheimerkrankheit Schwierigkeiten hinsichtlich der Daueraufmerksamkeit, der geteilten Aufmerksamkeit und spezifische Komponenten der selektiv-räumlichen Aufmerksamkeit im Vordergrund (Parasuraman & Haxby, 1993).

Die für die klinische Beurteilung jeweils bedeutensten Variablen sind *Auslassungen*, als ein Maß für Unaufmerksamkeit, *Fehlreaktionen* (falscher Alarm), als Indikator für einen gestörten Selektivitätsprozess und die Anzahl *valider Reaktionen*, als ein Maß, das die Integrität der jeweiligen Aufmerksamkeitskomponente reflektiert.

Median, Mittelwert und Standardabweichungen kennzeichnen die individuelle RZ-Verteilung auf der Basis valider Reaktionen. Wichtiger noch als der Mittelwert ist dabei der Median, der infolge der Schiefe der Verteilung den Parameter der Wahl darstellt. Der *Median* ist dabei ein Maß für die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit. Konsistent hohe Mediane reflektieren dabei eine allgemeine Verlangsamung. Ist jedoch der Median lediglich hinsichtlich selektiver Aufgaben erhöht, deutet dies auf eine spezifische Schwierigkeit mit den zugrundeliegenden Aufgaben hin.

Hohe *Standardabweichungen* indizieren eine erratische Fluktuation bzw. Schwankung der Aufmerksamkeit. Hohe Standardabweichungen können jedoch auch aufgrund des Auftretens weniger »Lapses of Attention« erklärt werden. Somit ist es angeraten

Standardabweichungen und die Anzahl von »Lapses of Attention« gemeinsam zu berücksichtigen. *Antizipationen* (bzw. antizipative Reaktionen) erfolgen mit einer sehr hohen Geschwindigkeit (< 100ms). Es ist somit anzunehmen, dass solche Reaktionen keine Antwort auf den eigentlichen Reiz sein können. Sie gelten daher als Ausdruck einer fehlenden Reaktionsinhibition.

Für die Darstellung des Alterstrends und die Altersentwicklung werden der Median und die Fehlreaktionen der Aufgabe Reaktionswechsel, die Anzahl der Auslassungen der Aufgabe Geteilte Aufmerksamkeit und die Auslassungen der Aufgabe TAS g. ausgewählt. Die Ausgewählten Parameter reflektieren jeweils die Leistung auf Grundlage der Gesamtaufgabe. Wie auch bzgl. des CVLT sind darüber hinaus gehende Normierungsinformationen dem Anhang C zu entnehmen.

## **Die Normstichprobe – Das Projekt BASEL**

Sämtliche der Untersuchung zugrunde liegende Daten wurden an Teilnehmern des Projekt BASEL in drei Erhebungswellen, zwischen März 1998 und September 2001, gewonnen.

Ziel des Projekt BASEL ist die Identifikation präklinischer Marker der Alzheimer-Krankheit. Das prospektive Design der Studie fordert als Voraussetzung die Mitwirkung ausschließlich *altersentsprechend gesunder* und nicht-dementer Probanden zzgl. einer positiven Kontrollgruppe von Patienten mit einer Demenz vom Alzheimer-Typ. Dies konnte durch ein kognitives Screening (Consortium to Establish a Registry for Alzheimer's Disease-Neuropsychologische Testbatterie, CERAD-NP, Welsh et al., 1991) und die Erhebung einer umfangreichen medizinischen Anamnese sichergestellt werden.

Der Screeningalgorithmus zur Identifikation Frühdementer basiert auf der Erstellung einer vorläufiger Normierung der deutschsprachigen Version der CERAD-NP und einer Angehörigenbefragung. Die Daten für eine vorläufige Normierung der CERAD-NP basieren auf N = 85 gesunden und leistungsfähigen älteren Untersuchungspersonen, die an der Basler Seniorenuniversität, von Besuchern eines städtischen Kurses, von Mitgliedern der „Garauen Panther“ und durch Mundpropaganda gewonnen werden konnten. Von älteren Menschen also, denen a priori unterstellt werden kann, dass sie über einen außerordentlich funktionstüchtigen kognitiven Apparat verfügen. Im Verlauf der Studie wurde schließlich eine Normierung auf der Basis einer Stichprobe von N = 1100 gesunder und demenzfreier älterer Personen durchgeführt. Entsprechend der DSM-IV Kriterien, für die Diagnostik eines dementiellen Syndroms, werden hinsichtlich der CERAD-NP Untersuchung auffällige Testresultate in mindestens einer Variablen aus dem Gedächtnisbereich und mindestens einer weiteren Variablen aus dem Non-Gedächtnisbereich verlangt, um einen notwendigen, wenngleich auch nicht hinreichenden Verdacht für den Beginn einer Demenz annehmen zu können. Eine quantitative Heuristik hierfür ist das Unterschreiten um zwei Standardabweichungen alters-, ausbildungs- und geschlechtskorrigierter Normwerte. Die DSM-IV Kriterien verlangen darüber hinaus das Vorliegen einer beeinträchtigten Alltagskompetenz. Die hierfür erforderlichen Daten, werden mittels eines Interviews mit Angehörigen gewonnen (strukturiert durch IQCODE - Informant Questionnaire on Cognitive Decline in the Elderly; Jorm, A.F.; 1994). Kann der Verdacht einer beginnenden Demenz nun gleichermaßen nicht ausgeräumt werden, wird in einem letzten Schritt eine umfangreiche, nach dem »State of the Art« erfolgenden Abklärung an der Memory Clinic Basel vorgenommen. Sollte sich nun erneut erweisen das der Verdacht unbegründet ist, kann der Betroffene in das Projekt BASEL aufgenommen werden.

Das Projekt BASEL verfolgt ältere Menschen longitudinal mit einer umfangreichen neuropsychologischen Testbatterie in einem Zweijahresturnus. Die Auswahl der neuropsychologischen Tests orientiert sich dabei an kognitiven Funktionsbereichen, von denen angenommen werden kann, dass sie zu einem maximal frühen Zeitpunkt in der Pathogenese einer Demenz beeinträchtigt sind.

Wird eine Alzheimerdemenz diagnostiziert, kann der Patient als positive Kontrolle zur Verfügung stehen. Und sollte schließlich eine von der Alzheimerkrankheit verschiedene Demenz diagnostiziert werden, gilt die betroffene Person als »Drop Out«. Gleiches gilt für Studienteilnehmer, deren Alltagskompetenzen nach auffälligen Resultaten in CERAD-NP nicht eruiert werden können bzw. die sich einer Abklärung an der Memory Clinic verweigern (siehe Abbildung 22). Die verbleibenden gesunden und nicht-dementen Untersuchungsteilnehmer werden einer Hochrisiko und Geringrisikogruppe zugewiesen, stratifiziert nach Alter, Ausbildung und Geschlecht und stehen darüber hinaus als Normstichprobe zur Eichung der im Projekt BASEL eingesetzten Testinstrumente zur Verfügung. Die jeweiligen Risikogruppen werden auf der Basis einer ApoE-Genotypisierung definiert. Als Hochrisikogruppe gelten Teilnehmer, die mindestens ein ApoE- $\epsilon$ 4 Allel aufweisen.

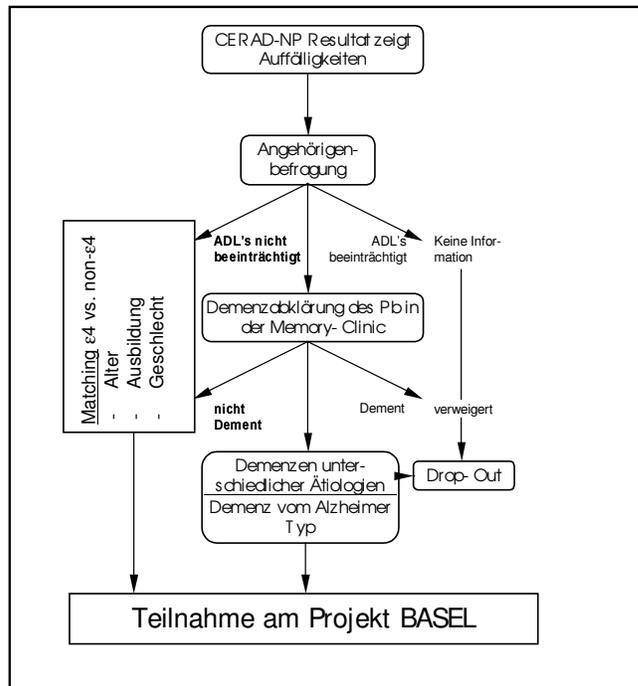
Im Ergebnis hat dieser Algorithmus zur Auswahl folgender Normstichprobe geführt:

N = 640 neuropsychologische Untersuchungen wurde zwischen November 1997 und Dezember 1998 durchgeführt. N = 256 Pb erfüllten dabei die Kriterien der altersentsprechenden Gesundheit *und* Demenzfreiheit und konnten somit der Normstichprobe zur Verfügung stehen. N = 274 Untersuchungen folgten ab Oktober 1999 bis Dezember 2000. Hier konnten weitere N = 197 Pb für die Normstichprobe gewonnen werden.

Hierbei handelt es sich um Teilnehmer der Basler- Studien I - III (Widmer, Stähelin, Nissen & da Silva, 1981), zumeist ehemalige Mitarbeiter der in Basel ansässigen Pharmaindustrie, die in den 60er Jahren für aufwendige medizinische Untersuchungsreihen - zunächst zur Erforschung kardiovaskulärer Erkrankungen und später dann zur Erforschung der Rolle von Antioxidantien bei Krebs und Atherosklerose - gewonnen werden konnten.

Durch die Fokussierung auf eine Population ehemaliger Arbeitstätiger, musste ein Ungleichgewicht der Geschlechterhäufigkeit in Kauf genommen werden, das bei ca. 26% Frauen gegenüber 84% Männern lag.

Zwischen Februar und August 2001 konnte diesem Missverhältnis durch eine ausschließliche Rekrutierung von Frauen (N = 204) entgegengewirkt werden, so dass nunmehr 44,8% Frauen einem Anteil von 55,2% Männern innerhalb der Normstichprobe gegenüberstehen. Dabei erfüllten N = 153 Frauen die Kriterien der altersentsprechenden Gesundheit und Demenzfreiheit. Hierbei handelte es sich zumeist um Ehegattinnen von im Projekt BASEL bereits mitwirkenden Männern und einen kleineren Teil Frauen, deren Teilnahme durch einen Aufruf bei einer Veranstaltung erreicht werden konnte.



**Abbildung 22 – Screeningalgorithmus zur Identifikation von Studienteilnehmern mit beginnender Demenz. Auf der Grundlage der DSM-IV Kriterien einer Demenzdiagnose, werden Studienteilnehmer mit »Auffälligkeiten« in der CERAD-NP herausgefiltert und um eine Angehörigenbefragung gebeten. Erhärtet sich ein Verdacht auf Demenz, wird eine umfangreiche diagnostische Prozedur an der Memory Clinic Basel eingeleitet, die schließlich eine Klärung über das Vorliegen einer spezifischen Demenz ermöglicht. Alzheimerpatienten nehmen schließlich als positive Kontrollen teil, während die verbleibenden gesunden und nicht dementen Probanden (Pb) einem Matching unterzogen werden.**

Von allen eingangs dem Screening zugeführten Teilnehmern sind somit insgesamt  $N = 1067$  entsprechend der jeweiligen Erhebungswellen mittels einer umfangreichen neuropsychologischen Testbatterie untersucht, worin u.a. auch die Aufmerksamkeitsprüfung durch die TAP/TAS und die Gedächtnisuntersuchung mittels CVLT enthalten ist.  $N = 605$  Probanden erfüllen schließlich die genannten Kriterien der altersentsprechenden Gesundheit (siehe S. 99) und Demenzfreiheit und stehen somit der Normierung zur Verfügung.

Die grundsätzliche Frage, wonach Kriterien der altersentsprechenden Gesundheit auch Personen mit systemischen Erkrankungen einschließen sollte - zumal man dieses durchaus als ein typisches Merkmal einer repräsentativen Alterskohorte betrachten kann - ist für die dem Projekt BASEL zugrunde liegende Normstichprobe aus folgenden Gründen ausgeschlossen worden:

- Die kognitiven Leistungsverminderungen, die bei der Alzheimer-Krankheit zu beobachten sind, zeigen einen schleichenden Beginn und es ist seit langer Zeit schon hinreichend bekannt, dass chronische systemische Erkrankungen wie Diabetes Mellitus, Lungen- und Herzerkrankungen oder Bluthochdruck gleichermaßen zu Beeinträchtigungen des kognitiven Apparates führen (Albert, 1981).
- Das Projekt BASEL fühlt sich Ansatz des »Erfolgreichen Alterns« verpflichtet (Havighurst & Albrecht, 1953). Darin werden subjektive und objektive, quantitative und qualitative Kriterien thematisiert, die im Kontext einer systemischen und ökologischen Betrachtungsweise zu beschreiben vermögen, wie in höherem Lebensalter eine

erfolgreiche Entwicklung erreicht werden kann. Der objektivistische Zugang des Konzepts umfasst die Messung der Entwicklungsadaptivität, die Messung der Effizienz einzelner menschlicher »Systeme« oder »Funktionen«, durch deren Funktionsweise ein Maximum an entwicklungsbezogenen Kapazitätsreserven definiert ist (Baltes, 1987).

Normen sind mehr als eine ledigliche SOLL-Bestimmung zur Steuerung einer Regelstrecke. Eine solche Funktion ist ihnen durchaus wesensimmanent und dafür werden sie schließlich gesetzt. Darüber hinaus aber dienen sie im Kontext entwicklungsbezogener Betrachtungsweisen einer weiteren wichtigen Eigenschaft: sie sind nämlich gleichsam als *Ziele* zu verstehen. Jedes mehr oder weniger komplexe System kennt solche Ziele. Und nicht selten ist es das Bestreben der wissenschaftlichen Analyse diese Ziele in Bezug auf das Erkenntnisobjekt zu beschreiben und die dahinter liegenden, obskuren Regulativa zu verstehen. Diese doppelte Funktion von Normen kann man sich leicht an einem einfachen Beispiel verdeutlichen:

Die durch einen Thermostat definierte Zimmertemperatur ist offensichtlich eine SOLL-Bestimmung. Diese Eigenschaft haftet ihr Kraft der Funktionsweise eines Thermostats an. Solange jedoch die Zimmertemperatur auf die der Thermostat eingestellt ist nicht erreicht wird, ist sie gleichermaßen als Zielpunkt für die Entwicklung der Temperatur zu verstehen. Analog verhält es sich mit der Bedeutung von neuropsychologischen Testnormen. Sie sind zunächst einmal Maßstab für die Hirnleistungsfähigkeit spezifischer Populationen und somit ein Maß für die Einschätzung eines IST-Zustandes. Darüber hinaus wird jedoch im Zuge ihres Gebrauchs eine Entwicklung in Gang gesetzt, die das Verhalten und die Lebensentwürfe der Zielpopulation zu modifizieren in der Lage ist, und zwar in Richtung einer zunehmend größeren Adaptation an eine für ein erfolgreiches Altern geeignete Lebensführung. Nun verfügen die Testnormen auch über einen Charakter im Sinne eines Entwicklungszieles.

Ein weiteres kann auf der Grundlage der Thermostatenanalogie verdeutlicht werden. Ähnlich wie den flexiblen Erfordernissen an die Raumtemperatur durch die sich im Raum aufhaltenden Menschen durch eine beliebige Anpassung der Temperatur Rechnung getragen werden kann, sind auch Testnormen flexible und dynamische Entwicklungsziele. Beliebigkeit kann für sie jedoch nicht gefordert werden. Vielmehr gilt es über die konzeptuelle Begründung des erfolgreichen Alterns ein positives Feedback anzustoßen, um die Lebenszufriedenheit durch eine adäquate Lebensführung zu optimieren. Dies impliziert, dass man sich für die Definition von Einschluss- bzw. Ausschlusskriterien nicht am Mittelmaß orientiert, sondern vielmehr ein erreichbares Optimum an Leistungsfähigkeit für ein Maximum an Entwicklungsressourcen einfordert.

---

Aus diesen Gründen wurden für die Normstichprobe folgende sorgfältig gewählten Kriterien definiert, deren Zutreffen im individuellen Fall zum Ausschluss führt:

- Aktuelle Klinische Befunde
- schwere auditive, visuelle oder sprachliche Defizite, die zu einer Behinderung der Untersuchung führen
- sensorische Defizite
- Motorische Defizite, die zu einer Alltagsbehinderung führen
- schwere Systemerkrankungen
- überdauernde Schmerzzustände
- psychiatrische Probleme

Medizinische Anamnese über die Lebensspanne hinweg:

- Krankheiten des ZNS
- Krankheiten, die sich mit großer Wahrscheinlichkeiten auf das ZNS auswirken
- zerebro-vaskuläre Erkrankungen
- generalisierte Atherosklerose

## Die Normierungsmethodik

Ein Sekundärziel des Normierungsprojektes ist die Etablierung einer robusten Prozedur, die eine hohe Qualität der Normierung bei geringem Expertisegrad ermöglicht. Die Normierung gliedert sich grundsätzlich in sechs Schritte:

### 1. Normalisierung der Rohwertverteilung

RZ-Verteilungen und Verteilungen von Fehlerhäufigkeiten weisen aufgrund der Offenheit der zugrundeliegenden Skalen zumeist die Eigenschaft der Rechtsschiefheit auf. Dies ist, soweit es sich um TAP-Daten handelt, gleichermaßen zu erwarten.

Die meisten der CVLT-Variablen hingegen basieren auf geschlossenen Skalen. D.h. die Mehrzahl der Variablen ist durch eine testimmanente maximale Anzahl von Ausprägungsgraden gekennzeichnet. Es kann dadurch zu Ceiling-Effekten kommen, die sich in einer rechtsschiefen Verteilung der jeweiligen Variablen niederschlägt.

Mithilfe einer mathematischen Datentransformation kann dem entgegengewirkt werden.

Transformationen stauchen oder strecken die Daten in definierten Abschnitten der Verteilung, so dass entweder die Gesamtverteilung oder zumindest aber ein wohldefinierte Abschnitt innerhalb der Verteilung besser an eine Normalverteilung approximiert ist.

### 2. Ermittlung des optimalen Modells zur Vorhersage von Alters-, Ausbildungs- und Geschlechtereffekten

Für die Normierung der Testdaten ist es von zentraler Bedeutung sämtliche demographischen Effekte, die sich in den jeweiligen Testkennwerten oder Variablen niederschlagen statistisch kontrollieren zu können. Sind solche Effekte und Effektkombinationen erfolgreich eliminiert, können sämtliche Ergebnisse seitens Testpersonen unabhängig von Ausbildung, Alter und Geschlecht direkt miteinander verglichen werden. Das grundsätzliche Vorgehen erstreckt sich dabei auf die Identifikation derjenigen Prädiktorenkombination (Alter, Ausbildung und Geschlecht), die hinsichtlich der *Vorhersage der Testvariablenausprägung validiert* ist, d.h. es wird nach einem Regressionsmodell gesucht, das die Vorhersage der Testdaten auf der Basis von demographischen Eigenschaften der Testpersonen erlaubt und hinreichend robust die Vorhersage auch neuer Testpersonen ermöglicht. Dies macht es grundsätzlich erforderlich, die so gewonnenen Modelle auf der Grundlage einer Validierungsstichprobe zu überprüfen.

### 3. Berechnung der Residuen nach dem optimalen Modell

Ist ein solches optimales Modell gefunden, werden die Differenzen (Residuen) zwischen den durch die demographischen Eigenschaften der Testperson vorhergesagten Effekte mit den tatsächlich beobachtbaren Testrohwerten ermittelt. Eine solche Differenz reflektiert, das um die demographischen Effekte bereinigte Testresultat. Somit sind sämtliche Testpersonen vergleichbar.

### 4. Überprüfung der Residuen auf Normalität

Aus inhaltlichen, diagnostischen Gründen ist offensichtlich, dass die Normalverteilungsforderung hinsichtlich der bereinigten Testdaten (Residuen) gelten muss. Schließlich ist es das Ziel, die relative Position einer Testperson bzgl. der um die demographischen Effekte bereinigten Testdatenverteilung und damit relativ zu einer Population vergleichbarer Testpersonen zu ermitteln. Daher ist es erneut erforderlich die Residuenverteilung auf Normalität zu prüfen und ggf. die eingangs gewonnene Transformation zu revidieren. Dies kann eine Iteration der Schritte 1. - 4. zur Folge haben.

### 5. Überprüfung der Residuen auf das Vorliegen einer altersbezogenen Varianzerweiterung

Wie in Seite 76 dargestellt, gilt ein besonderes Augenmerk dieser Arbeit dem Problem der altersbezogenen Varianzerweiterung hinsichtlich der Normierung zugrundeliegender Testdaten. Durch die Transformation der Rohdaten mit dem Ziel der Normalisierung kann glücklicherweise eine beträchtliche Harmonisierung der Standardabweichungen innerhalb der zugrundeliegenden Altersklassen erreicht werden, so dass keine weitere Behandlung der Daten erforderlich ist. In jenen Fällen, in denen sich jedoch ein statistisch bedeutsamer Zusammenhang zwischen Standardabweichung und Alterklasse feststellen lässt, muss eine Korrektur des Standardfehlers des optimalen Modells erfolgen.

### 6. Berechnung von Z-Standardnormen und ggf. eine Korrektur des altersbezogenen Standardfehlers

Die aus Schritt 5. erhaltenen Residuen werden in das Verhältnis zum Standardfehler des optimalen Modells gesetzt, so dass nicht nur die Testpersonen untereinander vergleichbar sind, sondern auch über die Tests hinweg. Gleichzeitig erhält man so die Metrik der z-Standardnorm (z-Wert), die die Ermittlung einer gegebenen Testperson relativ zu ihrer

Position innerhalb einer Verteilung und die Wahrscheinlichkeit mit der sie zur Population gehört sehr leicht ermöglicht.

Wurde jedoch zuvor eine altersbezogene Varianzerweiterung der Daten festgestellt, gilt es den Standardfehler in Abhängigkeit des Alters der Testpersonen zu schätzen bevor eine Berechnung der z-Werte erfolgen kann.

Um eine möglichst gute Approximation der Rohwert- an die Normalverteilung zu erreichen wurde ein Rechenprogramm (TransDat 1.0) entwickelt, das es ermöglicht, eine mathematisch optimierte Transformation zu finden, und zwar für einen selektiv definierbaren Bereich der Verteilung.

Zu diesem Zweck wurden Box-Cox und Arcussinus Transformationen implementiert, die sich hinsichtlich der zugrundeliegenden Offenheit/Geschlossenheit einer Skala wechselseitig ergänzen (siehe Box »Variablen Transformation« - S. 104).

Nach nur geringer Einübung in das Rechenprogramm ist somit ein Verfahren verfügbar, das ohne tiefe statistisch-mathematische Kenntnisse optimale Transformationen garantiert.

Das grundsätzliche Vorgehen zur Identifikation bedeutsamer demographischer Prädiktoren umfasst in der Regel die Ermittlung eines demographischen Regressionsmodells (unter Berücksichtigung unterschiedlichster Haupteffekte und Interaktionen) auf der Basis einer gesättigten Varianzaufklärung und eine nachfolgende Validierung des so gefundenen Modells an einer Validierungsstichprobe. Die Validierung ist deshalb von Bedeutung, da das gesuchte Modell qua der Eigenschaft von Normen primär für die Vorhersage neuer – nicht in der Normstichprobe enthaltener – Testdaten vorgesehen ist und damit von der Prädiktion eine bestimmte Robustheit verlangt werden muss.

Der Nachteil des Verfahrens liegt zweifellos in der Verringerung der Normierungsstichprobe aufgrund der Erfordernisse der Validierung. Norman et al. (2000) mussten beispielsweise eine Reduktion ihrer CVLT-Normstichprobe von  $N = 906$  um 26% zugunsten einer Validierungsstichprobe hinnehmen. Eine weitaus bessere Lösung ist daher die Ermittlung des optimalen Modells auf der Basis eines *Jack-Knife Verfahrens*. Mit dieser Methode wird eine Validierungsstichprobe simuliert, indem jedes statistische Modell zur Vorhersage der Testdaten auf der Basis einer Stichprobengröße  $N-1$  bzw. unter Löschung genau einer Testperson berechnet wird. Dieses wird für alle  $N$  Testpersonen einer Normstichprobe wiederholt.

Im Kontext einer regressionsbasierten Normierungsprozedur werden demzufolge  $N$  Modelle auf der Basis jeweils eines gelöschten Testdatums berechnet. Das jeweils gewonnene Modell dient dann zur Berechnung des Residuums des jeweils gelöschten Testdatums.

Dieses Residuum heißt das *gelöschte Residuum*. Jedes *gelöschte Residuum* wird somit als eine neue Beobachtung betrachtet und kann daher als Maß für die Prädiktionsgüte eines optimalen Modells fungieren. Schließlich gilt:

Dasjenige von mehreren möglichen Modellen, für das die Summe der gelöschten Residuen minimal ist, ist das optimale Modell zur vorhersage von Testdaten auf der Grundlage demographischer Prädiktoren!

Berres et al. (2000) und Weihs und Schmidli (1990) haben dieses Verfahren als PRESS-Statistik (Predicted Residual Sum of Squares) beschrieben. Es hat den grundsätzlichen Vorteil, dass es im Kern der Grundidee der Kreuzvalidierung folgt, dennoch aber nicht zu Lasten des Stichprobenumfangs geht. Das Verfahren optimiert damit weniger den Fit eines Modells, sondern vielmehr dessen Prädiktionsgüte auf der Basis neuer Daten.

Für jedes der folgenden fünf a priori definierten Modelle wurde dieses Verfahren durchgeführt:

**AGE EDUCATION**

**AGE EDUCATION GENDER**

**AGE EDUCATION GENDER AGE×GENDER**

**AGE EDUCATION GENDER EDUCATION×GENDER**

**AGE EDUCATION GENDER AGE×GENDER EDUCATION×GENDER**

Die metrischen Variablen hinsichtlich der Interaktionsterme (Alter, Ausbildung) sind *zentriert*, damit die Geschlechtseffekte eindeutig interpretierbar sind. Unter der Annahme das ein einfaches Interaktionsmodell mit Alter und Geschlecht als Prädiktoren gewählt wird, ergeben sich folgende Modelle in Abhängigkeit des Geschlechts (**GENDER = 0** für Männer, **GENDER = 1** für Frauen):

$$y = a + bx \quad (\text{wobei, } x = \text{AGE}) \text{ für Männer}$$

$$y = a + c + bx + dx' \quad (\text{wobei, } c \text{ ist der Geschlechtseffekt und } d \text{ der Interaktionsterm } \text{GENDER} \times \text{AGE}) \text{ für Frauen}$$

Dabei ist **b** die lineare Regressionskomponente der Männer, hingegen **b + d** diejenige der Frauen. Wenn **d** ungleich **0** und alle Frauen älter als **50** Jahre sind, erhalten die Frauen im letzten Term mindestens den Effekt **50d**, im Mittel sogar **70d**, wenn Frauen im Mittel **70** Jahre alt sind. Das muss im Haupteffekt für das Geschlecht, **c**, ausgeglichen werden. Und

damit repräsentiert  $\mathbf{c}$  nicht mehr den durchschnittlichen Unterschied zwischen Männern und Frauen. Bei einer Zentrierung um das durchschnittliche Alter  $\mathbf{x}' = \mathbf{x} - \mathbf{m}(\mathbf{x})$  bewegt sich nun der Interaktionsterm  $\mathbf{d}$  im Altersmittel um Null, damit ist der Geschlechtseffekt  $\mathbf{c}$  *direkt* interpretier- und vergleichbar.

### Variablen-Transformation

Die Box-Cox Transformation hat die Form:

$$f_{\lambda}(x) = \frac{x^{\lambda} - 1}{\lambda} \quad \text{für } x \in \mathbb{R}; \lambda \in \mathbb{R} / \{0\}$$

Das Verhalten der Funktion wird durch die Parametrisierung von  $\lambda$  bestimmt:

$\lambda = \frac{1}{k}$	mit $k \in \mathbb{N}; k > 0$	$f_{\lambda}(x)$ verhält sich wie eine Wurzelfunktion
$\lambda = k$	mit $k \in \mathbb{N}; k > 0$	$f_{\lambda}(x)$ verhält sich wie eine Potenzfunktion
$\lambda = -k$	mit $k \in \mathbb{N}; k > 0$	$f_{\lambda}(x)$ verhält sich wie eine Hyperbel
$\lambda \rightarrow 0$		$f_{\lambda}(x)$ verhält sich wie $\ln(x)$ (Logarithmus naturalis)

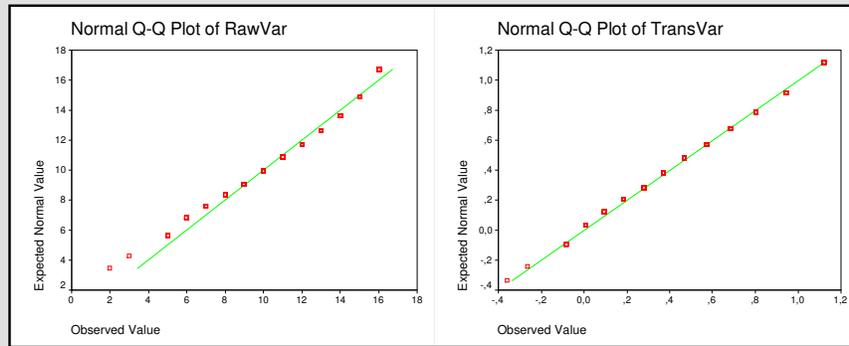
Die Box-Cox Transformation hat vor allem dann sehr günstige Eigenschaften, wenn die Daten einer offenen Skala entstammen und an den Rändern der Verteilung gestaucht werden müssen, d.h. die Skala deckt einen prinzipiellen Beobachtungsraum (Definitionsmenge) zwischen  $-\infty$  bis  $+\infty$  ab!

Die Arcussinus Transformation hat die Form:

$$f_{a,b,c}(x) = \arcsin\left(\frac{ax + b}{c}\right) \quad \text{für } x \in \mathbb{R}; a \in \mathbb{N}; b \in \mathbb{N}; c \in \mathbb{N} / \{0\}$$

Aufgrund der Definitionsmenge  $\mathbf{D} = [-1 \mid +1]$  einer Arcussinus Transformation ist in aller Regel zunächst eine lineare Transformation der Daten mittels der Parameter  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$  und  $\mathbf{c}$  notwendig. Sie erbringt besonders gute Lösungen für Daten, die durch eine geschlossenen Skala erhoben wurden, d.h. die Daten werden an den Rändern gestreckt um Ceiling- oder Bottom-Effekte zu eliminieren.

Fortsetzung nächste Seite



**Abbildung 23 – Vergleich einer untransformierten (RawVar) und anschließend arcussinustransformierten (TransVar) diskreten Gedächtnisvariablen auf Grundlage eines Quantilplots. Je näher die Punkte an der Ursprungsgeraden liegen, desto eher folgen sie einer Normalverteilung. Durch die Transformation verschiebt sich jedoch die Metrik der Variablen.**

Nachdem nun das optimale Modell bestimmt ist, muss in einem weiteren Schritt sichergestellt werden, dass die Residuen des Modells auch weiterhin der Normalverteilung folgen. Dies kann grafisch mittels eines Quantil-Plots (siehe Box »Variablen Transformation« Abb. 23) erreicht werden. Eine Transformationsfunktion gilt dann als hinreichend gut, wenn mindestens für das jeweils diagnostisch relevante Intervall (ca. 2 Standardabweichungen unterhalb des Mittelwerts) eine zufriedenstellende Annäherung an die Normalverteilung erreicht ist. Zufriedenstellend ist die Näherung dann, wenn sämtliche Residuen innerhalb eines Toleranzintervalls von  $\pm 0.2$  Standardabweichungen um die Ideallinie liegen, sich höchstens aber 3 Residuen außerhalb dieses Intervalls befinden.

In einem nächsten Schritt schließt sich die Überprüfung der Residuen auf das Vorliegen einer *altersabhängigen Varianzerweiterung* an. Hierzu werden die Daten nach Alter aggregiert und mittels einer nach Altersklassenhäufigkeit gewichteten Regression analysiert. Die Standardabweichung wird dabei als Aggregierungsfunktion definiert. Ergibt sich nun ein signifikantes Modell auf der Basis des Alters als unabhängiger Variablen, liegt eine altersabhängige Varianzerweiterung vor!

Abschließend werden aus den Residuen nach folgender Formel z-Werte berechnet:

$$Z = \frac{f(\text{Rohwert}) - \text{Vorhersage}(\text{Alter}, \text{Geschlecht}, \text{Ausbildung})}{S_e}$$

Der Standardfehler, definiert als die Standardabweichung der Residuen, ist im einfachsten Fall derjenige des optimalen Modells. Liegt jedoch eine altersabhängige Varianzerweiterung

– überprüft nach dem oben beschriebenen Verfahren – vor, ist es notwendig ein einfaktorielles regressionsanalytisches Modell zur Vorhersage der altersabhängigen Residuenvarianz zu berechnen, womit sich für die Berechnung der z-Werte dann folgende Formel ergibt:

$$Z = \frac{f(\text{Rohwert}) - \text{Vorhersage}(\text{Alter}, \text{Geschlecht}, \text{Ausbildung})}{\text{Vorhersage}_{s_e}(\text{Alter})}$$

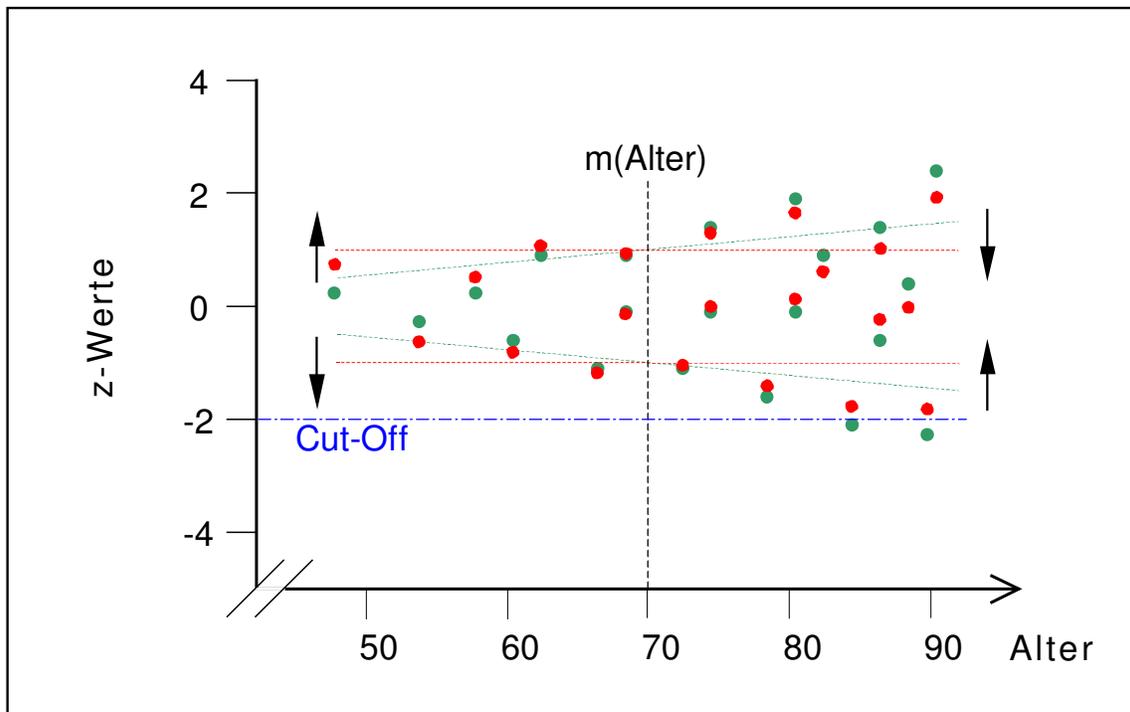
Infolge dieser Methode werden die z-Werte der jüngeren Probanden relativ zum mittleren Alter der Normstichprobe gestreckt, während die der älteren Probanden eine Stauchung erfahren, so dass insgesamt eine Nivellierung der altersbezogenen Varianz erfolgt (siehe Abb. 24).

### **Der Altersgradient und die Beschreibung des querschnittlichen Alterns**

Die Darstellung der Altersgradienten lassen sich, nach dem die z-Werte einmal berechnet sind, sehr einfach realisieren. Dazu werden die jeweiligen Formeln zur Berechnung der z-Werte nach den Rohwerten aufgelöst (siehe Abb. 25).

Durch die Festsetzung auf  $Z = 0$  und die Definition von Geschlecht und Ausbildungsdauer können nun ausgewählte Altersgradienten (Medianquerschnitte) betrachtet werden. Die Festsetzung auf  $Z = 0$  liefert jedoch nicht – wie vielleicht angenommen werden könnte - den Rohmittelwert. Obgleich in der Z-Metrik  $Z = 0$  dem Mittelwert entspricht, gilt dies nicht mehr für die Rohwertrückrechnung, zumal die Basisrohwertverteilungen nicht normalverteilt sind. Die Rückrechnung auf der Grundlage von  $Z = 0$  liefert somit weitaus eher den *Median* einer Rohwertverteilung.

Hinsichtlich der Darstellung der Altersgradienten kommt man nicht umhin eine Informationsreduktion vorzunehmen. Bei einem Modell mit Alters-, Geschlechts- und Ausbildungseffekten und einer Spannweite von 8 – 20 Ausbildungsjahren wären somit  $(20 - 8 + 1) * 2 = 26$  Altersgradienten zu erwarten. Eine solche Darstellung ist nicht mehr sinnvoll. Demzufolge wird die Anzahl der Altersgradienten hinsichtlich einer Ausbildungsdauer von 8, 12 und 20 Jahren begrenzt werden. Dies hat dann die Darstellung von maximal sechs Gradienten zur Folge. Die jeweils fokussierte Gruppe (durch Geschlecht und Ausbildungsdauer definiert) wird ergänzend in Form von Einzeldatenpunkten über den Gradienten gelegt.



**Abbildung 24 – Korrektur des Standardfehlers.** Die grünen Punkte repräsentieren unkorrigierte Z-Werte (schematisch) und den dazugehörigen altersabhängigen Standardfehler. Nach der Korrektur werden Z-Werte links des mittleren Alters gestreckt, rechts dagegen gestaucht (rot). Das Ausmaß der Korrektur ist abhängig von der Entfernung zum mittleren Alter.

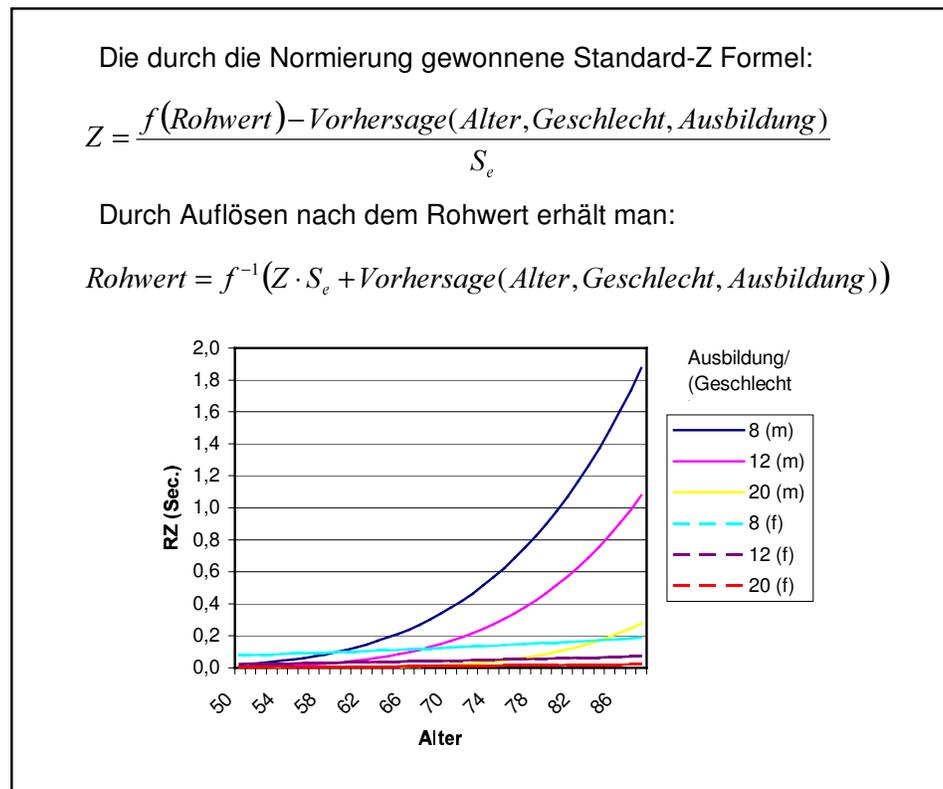
Die Korrektur kann sich durchaus auf die Spezifität und Sensitivität zugrunde liegender Tests auswirken (man beachte die beiden Punkte am rechten unteren Ende des Plots!).

Eine besondere Bedeutung in der Rohwertverteilung erhalten die Ränder. Geben sie doch Aufschluss über besonders leistungsfähige und leistungsschwache Testpersonen. Qualitativ ist es von außerordentlicher Relevanz, wenn Personen identifiziert werden können, die, obgleich hohen Alters, besonders gute Leistungen vollbringen, oder, obgleich relativ jung, sehr schlecht in den jeweiligen Tests abschneiden. Diese Methode ermöglicht einen guten Eindruck über die Variabilität der Hirnleistungsfähigkeit über den Altersquerschnitt hinweg und zeigt mögliche Orientierungsrahmen für eine vertiefte Analyse gerade hinsichtlich *erfolgreichen Alterns* auf.

Die Betrachtung der Ränder erfolgt auf der Basis des oberen und unteren Quartils der Gesamtverteilung, unabhängig von Alter, Ausbildung und Geschlecht. Die Definition der Gruppen ergibt sich aus den mittleren Perzentilen der Testrohwerte. Wonach Testpersonen dann dem unteren Quartil zugewiesen werden, wenn deren mittleres Perzentil  $\leq 25\%$  erreichen und umgekehrt, gehören sie dem oberen Quartil dann an, wenn das mit dem Rohwert korrespondierende Perzentil 75% oder darüber hinaus erreicht.

In einigen Fällen ist jedoch zu erwarten, dass die derart definierten Gruppen tatsächlich von einem Anteil von 25% der Gesamtstichprobe abweichen. Dies hat seine Ursache in den zugrundeliegenden schiefen Rohwertverteilungen. Gerade in Bezug auf Variablen, die beispielsweise die Anzahl von Fehlreaktionen kodieren, kann durchaus angenommen werden, dass der weitaus größere Anteil der Gesamtstichprobe fehlerfrei bleibt. Dies führt in der Folge dazu, dass die Angehörigen des oberen Quartils ausschließlich aus Testpersonen mit Null Fehlreaktionen besteht und darüber hinaus einen größeren – als den vorgesehenen Anteil von 25% an der Gesamtstichprobe repräsentiert.

Die Deskription der so definierten Gruppen erfolgt auf der Grundlage von Alterskohorten. Zu erwarten sind hierbei sog. »Fading In/Out« Phänomene, d.h. graduelle Ab- oder Zunahmen von Testpersonen entlang des Altersquerschnitt entsprechend ihrer Zugehörigkeit zum unteren bzw. oberen Quartil. Ergänzt wird diese Betrachtung durch die gleichermaßen kohortenabhängige Darstellung der mittleren Ausbildungsdauer.



**Abbildung 25 – Berechnung des Altersgradienten auf der Basis von Normen.** Die Auflöser der Standard-Z Formel nach dem Rohwert führt zu einer Funktionsgleichung mit den Variablen Z, Alter, Ausbildung, Geschlecht. Wenn für Geschlecht und Ausbildung jeweils ein Wert festgelegt und  $Z = 0$  gewählt wird, ergibt sich der Altersgradient des geschätzten Median. Die Grafik zeigt den Gradient des geschätzten Median in einer Reaktionszeitaufgabe für Männer und Frauen mit jeweils unterschiedlicher Ausbildungsdauer (8, 12, 20 Jahre).

## **Resultate**

## Stichprobe (Normstichprobe)

*Tabelle 6 - Demographische Charakteristika der Normstichprobe*

N =	605
Geschlecht (männlich/weiblich)	334 / 271
Alter $\pm$ S (Jahre)	68.9 $\pm$ 7.8
Spannweite	50 – 88
Ausbildung $\pm$ S (Jahre)	12.3 $\pm$ 3.0
Spannweite	7 - 20

Die demographischen Charakteristika (siehe Tab. 6) der Normstichprobe sind sehr robust interkorreliert ( $r_{\text{SEX} \times \text{AGE}} = -0.164$ ;  $p < .001$ ;  $r_{\text{SEX} \times \text{EDU}} = -0.382$ ;  $p < .001$ ). Selbst der Zusammenhang zwischen Alter (AGE) und Ausbildung (EDU) verfehlt nur knapp die Signifikanzgrenze. Männer sind tendenziell besser ausgebildet und gehören eher einer höheren Altersgruppe an.

Dies kann als Ausdruck eines doppelten Effekts betrachtet werden.

Angehörige der in der Stichprobe enthaltenen Generation sind durch starke traditionelle Geschlechtsrollenstereotypen geprägt. In aller Regel war es den Männern vorbehalten das Familieneinkommen zu erwirtschaften und eine dafür geeignete Ausbildung anzustreben, während die Frauen jener Generation primär den Haushalt zu organisieren und aufrecht zu erhalten und nur in Ausnahmefällen die Gelegenheit für eine Berufsausbildung oder eine höhere Schulkarriere hatten (Kohorteneffekt). Frauen, die dieser letztgenannten Gruppe angehören sind insofern nicht-repräsentativ. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass im Zuge der Probandenrekrutierung von Angehörigen der in Basel ansässigen Pharmaindustrie (Basler-Studien I – III) eine nicht geringe Anzahl solcher Frauen auch in der Normstichprobe enthalten ist.

Ein weiterer Selektionseffekt muss durch die »Nachrekrutierung« von N = 204 Frauen in Rechnung gestellt werden (siehe Tabelle 7). Diese Frauen verfügen über einen niedrigeren Ausbildungsstand, der auch weniger stark streut. Darüber hinaus sind sie im Vergleich zum mittleren Alter der Gesamtstichprobe durchschnittlich um fast drei Jahre jünger. Insofern es sich bei diesen Frauen häufig um Ehefrauen von männlichen Studienteilnehmern handelt, ist

davon auszugehen, dass sie weitaus eher dem traditionellen Frauentypus zuzurechnen sind, als die weiblichen Teilnehmerinnen, die an der Basler- Studien teilgenommen haben.

*Tabelle 7 – Alters- und Ausbildungscharakteristika der Nachrekrutierten Frauen*

N =	153
Alter $\pm$ S (Jahre)	66.0 $\pm$ 8.2
Spannweite	51 – 86
Ausbildung $\pm$ S (Jahre)	11.2 $\pm$ 2.2
Spannweite	7 – 18

*Tabelle 8 – Anzahl der Probanden nach Alter und Geschlecht*

<b>Alterskohorte</b>	<b>Männer</b>	<b>Frauen</b>
50 – 54	5	12
55 – 59	19	41
60 – 64	45	44
65 – 69	96	57
70 – 74	81	59
75 – 79	52	45
80 – 84	24	9
85 – 89	12	4
<b>Total</b>	<b>334</b>	<b>271</b>

## Fehl- und Extremwerte

Tabelle 9 – Fehlende Werte nach Geschlecht, Alter, Ausbildung und Test

ID	Geschlecht	Alter	Ausbildung	Mittelwert Alter $\pm$ S	Mittelwert Ausbildung $\pm$ s
<b>Reaktionswechsel (N = 4)</b>					
6337	weiblich	66	16		
6401	männlich	75	12		
12177	weiblich	67	12	72.0 $\pm$ 5.8	12 $\pm$ 2.8
20013	weiblich	80	8		
<b>Geteilte Aufmerksamkeit (N = 13)</b>					
216	männlich	79	19		
1528	männlich	80	12		
2308	männlich	71	12		
3226	männlich	56	16		
3481	weiblich	85	13		
3942	männlich	79	15		
6040	männlich	78	11	69.5 $\pm$ 11.3	12.6 $\pm$ 3.1
6121	männlich	68	10		
6337	weiblich	66	16		
6518	weiblich	58	9		
14348	weiblich	53	10		
20013	weiblich	80	8		
20058	weiblich	51	13		
<b>TAS (N = 16)</b>					
1911	männlich	68	11		
2105	männlich	65	12		
2592	weiblich	87	10		
3975	männlich	69	20		
5676	männlich	62	16		
6121	männlich	68	10		
6265	weiblich	54	13		
6337	weiblich	66	16		
6622	männlich	62	8	65.3 $\pm$ 10.3	12.2 $\pm$ 3.0
9801	weiblich	57	13		
14348	weiblich	53	10		
20013	weiblich	80	8		
20038	weiblich	84	12		
20058	weiblich	51	13		
20063	weiblich	59	12		
20075	weiblich	60	11		
<b>CVLT (N = 1)</b>					
3710	männlich	72	16		

Die große Motivation der Untersuchungsteilnehmer führte zu einer sehr geringen Ausfallsquote (siehe Tabelle 9), obgleich mangelnder Vertrautheit mit rechnergestützten Untersuchungsmethoden. Die dennoch auftretenden Fehlwerte sind in der Regel durch seltenes technisches Versagen entweder seitens der Software oder des Versuchsleiters zurückzuführen. In einigen Fällen kam es auch zu Verweigerungen durch die Probanden. Die demographischen Charakteristika der Untersuchungsteilnehmer, deren Daten fehlen, lassen nicht auf eine Verzerrung der Gesamtdatenlage schließen. In aller Regel folgen die Verteilungskennwerte für Alter und Ausbildung jenen der Gesamtstichprobe.

Eine geringfügige Ausnahme davon stellen das mittlere Alter bzgl. Reaktionswechsel und TAS dar. Im ersten Fall lässt sich dies jedoch durch den Einschluss einer Probandin mit 80 Jahren erklären. Der zweite Fall beruht auf einem überdurchschnittlichen Einschluss von Frauen (N = 10) gegenüber Männern (N = 6), zumal Frauen gegenüber Männern hinsichtlich der Gesamtstichprobe ein geringeres durchschnittliches Alter aufweisen.

Die Identifikation von Extremwerten gestaltet sich schwieriger als angenommen. Ausreißer können nicht einfach auf der Basis der zugrundeliegenden Verteilung identifiziert werden, wenn nicht geklärt ist, welchen Einfluss das Altern auf die Ausprägung individueller Fälle haben kann. So ist durchaus vorstellbar, dass ein im Einzelfall erratisches Verhalten in Form von außergewöhnlich langen Reaktionszeiten oder ungewöhnlich vielen Fehlern die Folge kognitiven Alterns ist, zumal die Definition der Normstichprobe auf der Grundlage differenzierter Ein- und Ausschlusskriterien erfolgt.

Auch die retrospektive Prüfung des Instruktionsverständnisses aus der Untersuchungsdokumentation und die Betrachtung der Voruntersuchungen haben keine Ergebnisse erbracht, die einen Ausschluss individueller Fälle rechtfertigen könnten. Eine weitere Möglichkeit Ausschlusskriterien für Extremfälle zu definieren besteht in einem Vergleich der jeweiligen Rohwertverteilungen mit denen einer positiven Kontrollgruppe. Hierzu konnten Daten von N = 27 Patienten mit einer Demenz vom Alzheimerstyp gesichtet werden. Doch selbst hier war es nicht möglich kohärente Kriterien zu entwickeln, so dass einerseits eine sinnvolle Anzahl gesunder Untersuchungsteilnehmer als Ausreißer hätte klassifiziert werden können ohne dabei jedoch die Patientenverteilung zu verstümmeln. Mit Ausnahme eines einzigen Falles sind daher keine weiteren Ausschlüsse aus der Normstichprobe erfolgt. Hier handelt es sich um eine Probandin (ID = 20038, vgl. Tabelle 9), die in der Aufgabe TAS bei 16 korrekten Reaktionen, 87 FEHLREAKTIONEN und 71 antizipatorische Reaktionen produzierte. Der Median ihrer Reaktionszeit lag bei 100ms bei einer mittleren Reaktionszeit von 247ms. Obgleich erhebliche Zweifel am Instruktionsverständnis bestehen, kann hinsichtlich des Ausschlusses dieser Probandin eine gewisse Willkür nicht verleugnet werden.

### Rechenalgorithmus zur Entwicklung von z-Werten

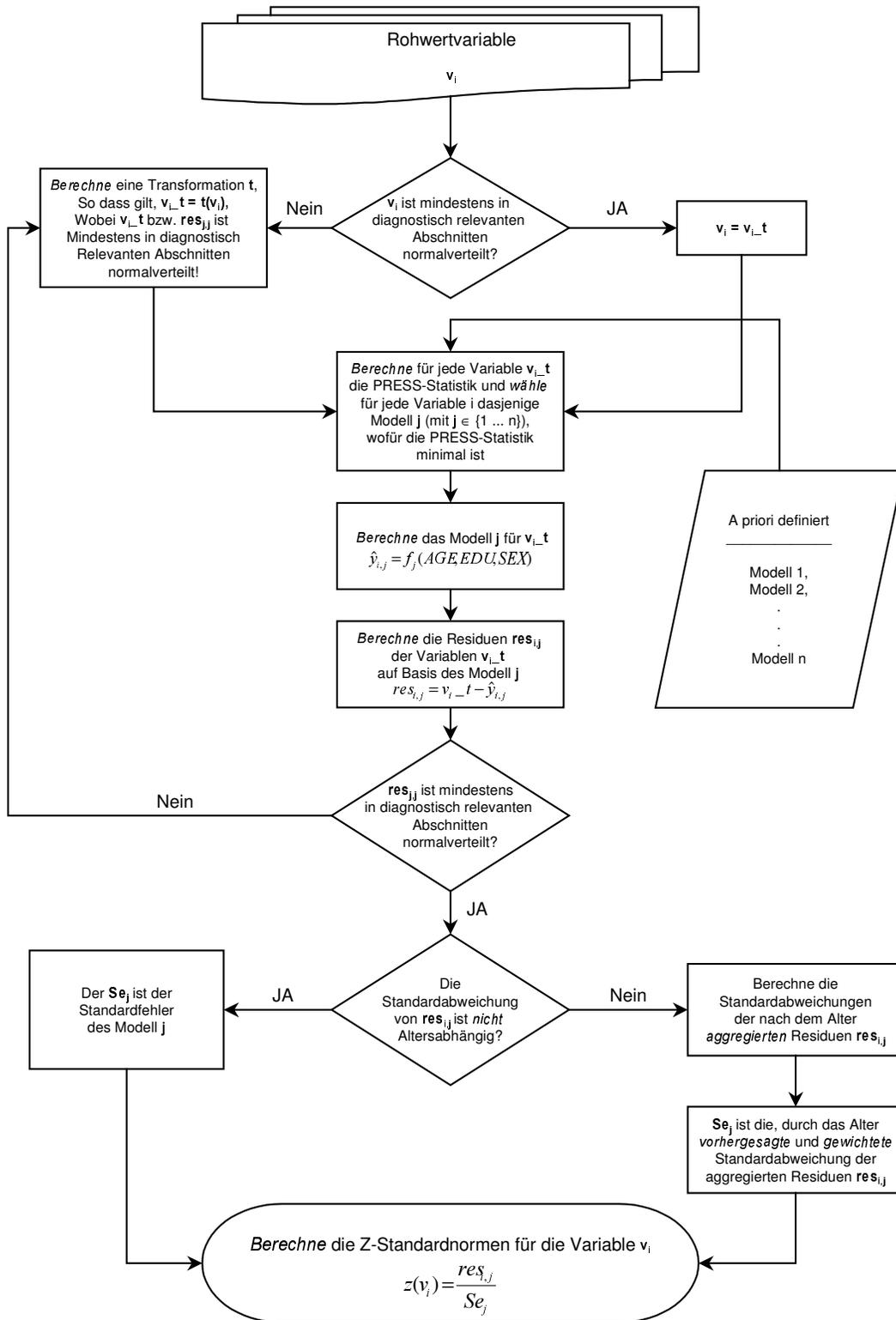


Abbildung 26 – Algorithmus zur Berechnung der Normen (z-Werte)

Die letzte Seite zeigt den prinzipiellen Rechenalgorithmus, dem zur Erstellung von Z-Standardnormen zu folgen ist. Im wesentlichen folgt er der Beschreibung auf Seite 100 des Methodenteils. Es muss darauf hingewiesen werden, dass einige der Boxen im Flussdiagramm selbst wiederum Algorithmen mit nicht unerheblicher Komplexität sind. Dies trifft beispielsweise auf die Berechnung und das Auffinden einer optimalen Transformation zu, die zu einer Normalverteilung mindestens für diagnostisch relevante Abschnitte der Residuenverteilung führt. Diese Kalkulation ist weitestgehend automatisiert durch das Rechenprogramm TransDat 1.0 ausführbar, das speziell für diesen Zweck entwickelt wurde. Das Programm implementiert hierfür einen Algorithmus, der im Kern auf dem Auffinden eines Parameters  $\lambda$  für die Box-Cox Transformation beruht (vgl. S. 104). Dabei wird folgende Funktion berechnet:

$$f_{\varepsilon}(\lambda) = \mathbf{S}(\mathbf{Q}_{\text{diff}} | \mathbf{Q}_{\text{obs}} \geq \varepsilon), \quad \text{wobei } \mathbf{Q}_{\text{diff}} = \mathbf{Q}_{\text{exp}} - \mathbf{Q}_{\text{obs}} \text{ und } \varepsilon \in \mathbf{R}$$

Dabei sind  $\mathbf{Q}_{\text{exp}}$  und  $\mathbf{Q}_{\text{obs}}$  standardisierte Quantile auf der Basis zum einen der erwarteten und zum anderen der tatsächlich beobachteten Verteilung. Die beobachteten Quantile  $\mathbf{Q}_{\text{obs}}$  beziehen sich auf die nach der Box-Cox Transformation erhaltenen Verteilung bei einem gegebenen  $\lambda$ . Die Quantilschätzung unter der Annahme einer Normalverteilung erfolgt auf der Basis eines Schätzverfahrens nach Blom (vgl. Bühl & Zöfel, 1998), das nach folgender Formel berechnet wird:

$$\Theta(\mathbf{x} | \mathbf{x} < \mathbf{r}) = (\mathbf{r} - 3/8) / (\mathbf{n} + 1/4) \quad \text{wobei } \mathbf{r} = \{1 \dots \mathbf{n}\} \text{ ist der mittlere Rang einer empirischen Beobachtung } \mathbf{x} \text{ und } \mathbf{n} \text{ ist die max. Anzahl der Beobachtungen}$$

Die Grenze  $\varepsilon$  dient zur Definition des diagnostisch relevanten Verteilungsbereiches, für den eine optimale Transformation gefunden werden soll. TransDat 1.0 berechnet nun einen Parameter  $\lambda = \lambda_{\text{min}}$ , für den gilt:

$$f_{\varepsilon}'(\lambda_{\text{min}}) = 0 \quad \text{wobei } f_{\varepsilon}''(\lambda_{\text{min}}) > 0$$

Damit ist  $f_{\varepsilon}(\lambda_{\text{min}})$  minimal und die somit gefundene Transformation die best mögliche Box-Cox Transformation für den definierten Datenbereich.

Die rechnerisch optimale Box-Cox Transformation muss jedoch nicht die beste aller möglichen Transformationen sein. Zumal bekannt ist, dass die Klasse der Box-Cox Transformationen gute Lösungen nur für offene Skalen erbringen. Für geschlossene Skalen sind hingegen Arkussinustransformationen die Methode der Wahl.

In einem nächsten Schritt wird daher untersucht, ob es eine Arkussinustransformation gibt, die eine bessere bzw. minimalere Lösung für die Funktion  $f_\varepsilon$  kennt.

Wenn folgende Bedingung erfüllt werden kann, fällt die Wahl auf eine Arcussinus-transformation:

$$f_\varepsilon(\lambda_{\min}) > f_\varepsilon(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c})$$

und  $f_\varepsilon(\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}) = \mathbf{S}(\mathbf{Q}'_{\text{diff}} | \mathbf{Q}'_{\text{obs}} > \varepsilon)$  wobei  $\mathbf{Q}'_{\text{diff}} = \mathbf{Q}_{\text{exp}} - \mathbf{Q}'_{\text{obs}}$  und  $\varepsilon \in \mathbf{R}$

Die beobachteten Quantile  $\mathbf{Q}'_{\text{obs}}$  beziehen nun auf die durch die Arkussinustransformation erhaltene Verteilung bei gegebenen Parametern  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$  und  $\mathbf{c}$ .

Dabei besteht die Schwierigkeit ein Zahlentripel  $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c} \in \mathbf{R}$  zu finden, so das die obenstehende Bedingung erfüllt werden kann (vgl. Seite 104).

Das beschriebene Normierungsverfahren einschließlich der Berechnung von Transformationen sind auf alle zur Analyse vorgesehenen Variablen angewendet, mit Ausnahme der beiden Parameter Antizipationen (ANTI) und Ausreißer (AU) der Aufgabe TAS g. Hier ist keine Variation in den Rohwerten zu beobachten, zumal nur wenige von Null unterschiedliche Ausprägungen vorliegen.

In Beziehung zu den Variablen RZ-MEDIAN und FEHLREAKTIONEN der Aufgabe *Reaktionswechsel* wird darüber hinaus untersucht inwiefern eine Interdependenz im Sinne eines *Speed-Accuracy Trade Off* vorliegt. Die Analyse des *Speed-Accuracy Trade Off* basiert jedoch auf untransformierten Rohwerten.

## Deskription der Testvariablen

*RZ-Median, FEHLREAKTIONEN und AUSLASSUNGEN - Rohwertverteilungen der TAP/TAS*

*Tabelle 10 – Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum der Rohwertverteilung von RZ-Median und der Anzahl der FEHLREAKTIONEN bzgl. der Aufgabe Reaktionswechsel (TAP)*

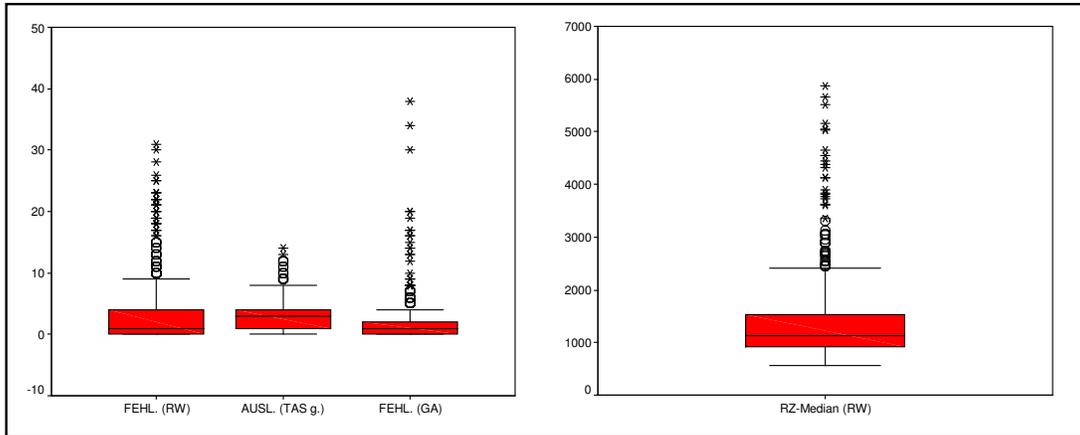
	<b>N</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
RZ-Median	601	1372,7	765,5	1141	568	5858
Fehlreaktionen	601	3,5	5,5	1	0	31

Reaktionszeiten und Fehlreaktionen sind naturgemäß rechtsschief Verteilt, wie man im Vergleich von Mittelwert und Median der beiden Variablen RZ-Median und FEHLREAKTIONEN erkennen kann (siehe Tab. 10). Innerhalb der RZ-Verteilung lässt sich eine vergleichsweise hohe Variabilität feststellen. Die höchste beobachtbare RZ liegt ca. 6 Standardabweichungen über dem Mittelwert, die höchst Anzahl von FEHLREAKTIONEN bei 5.5 Standardabweichungen vom Mittelwert.

*Tabelle 11 – Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum der Rohwertverteilung von FEHLREAKTIONEN (Geteilte Aufmerksamkeit) und AUSLASSUNGEN (TAS g.)*

	<b>N</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Median</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
FEHLREAKTIONEN (Geteilte Aufmerksamkeit)	592	2,0	3,6	1	0	38
AUSLASSUNGEN (TAS g.)	589	3,1	2,6	3	0	14

Die Verteilungen der FEHLREAKTIONEN (»Geteilte Aufmerksamkeit«) und der AUSLASSUNGEN (TAS g.) sind rechtsschief. Das beobachtete Maximum liegt hinsichtlich beider Variablen nahe an der absolut höchsten Anzahl von FEHLREAKTIONEN bzw. AUSLASSUNGEN (siehe Tab. 11 und Abb. 27). Die maximale Anzahl von FEHLREAKTIONEN liegt 10 Standardabweichungen über dem Mittelwert. Die Maximale Anzahl von AUSLASSUNGEN hingegen liegt etwas mehr als 4 Standardabweichungen vom Mittelwert entfernt.



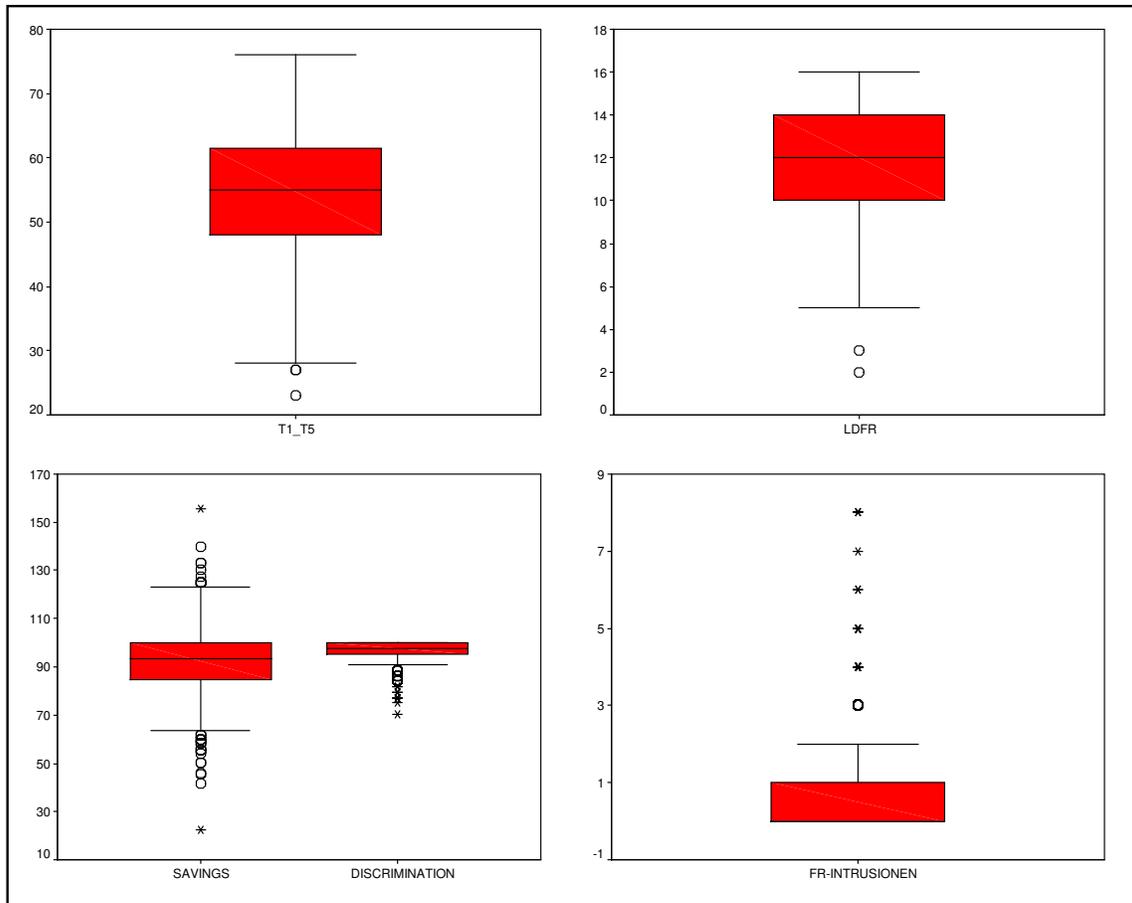
**Abbildung 27 – Box-Plot der Rohwertverteilung der TAP/TAS Variablen. Abgebildet sind die Variablen FEHLREAKTIONEN (Reaktionswechsel und »Geteilte Aufmerksamkeit« der TAP – FEHL. (RW) und FEHL. (GT)), AUSLASSUNGEN der TAS g. (AUSL.) und die Variable RZ-Median des Reaktionswechsel (RW). Ausreißer und Extremwerte können nicht eliminiert werden, zumal nicht bekannt ist, ob sie natürlicherweise infolge des Alterns auftreten (vgl. Abschnitt Fehl- und Extremwerte).**

*T1\_T5, LDFR, SAVINGS, DISKRIMINABILITÄT und FR-INTRUSIONEN – Rohwertverteilungen von CVLT*

*Tabelle 12 – Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum der variablen T1\_T5, LDFR, SAVINGS, DISKRIMINABILITÄT und FR-INTRUSIONEN des California Verbal Learning Test (CVLT)*

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Median	Minimum	Maximum
T1_T5	604	54,41	9,8	55	23	76
LDFR	604	12,0	2,8	12	2	16
SAVINGS	604	93,2	15,2	93,3	22,2	155,6
DISKRIMINABILITÄT	604	96,4	4,5	97,73	70,5	100
FR-INTRUSIONEN	604	0,9	1,4	0	0	8

Die Summe der korrekt wiedergegebenen Wörter über alle fünf Lerndurchgänge (T1\_T5) folgt näherungsweise einer Normalverteilung, während die verbleibenden Rohwertverteilungen links- (LDFR, DISKRIMINABILITÄT) oder rechtsschief (FR-INTRUSIONEN) sind oder überproportional besetzte Werte (SAVINGS = 100%) aufweisen. Ausreißer bzw. Extremwerte können auch hier nicht einfach eliminiert werden, wenn der Einfluss des Alters auf das Auftreten der Variablenausprägung ungeklärt ist.



**Abbildung 28 – Box-Plots der Rohwertverteilung der CVLT-Variablen. Die Abbildung zeigt die Variablen T1\_T5, LDFR, SAVINGS, DISKRIMINABILITÄT und FR-INTRUSIONEN.**

## Differentielles Altern der ausgewählten TAS/TAP und CVLT Variablen

### Reaktionswechsel – RZ und Fehlreaktionen

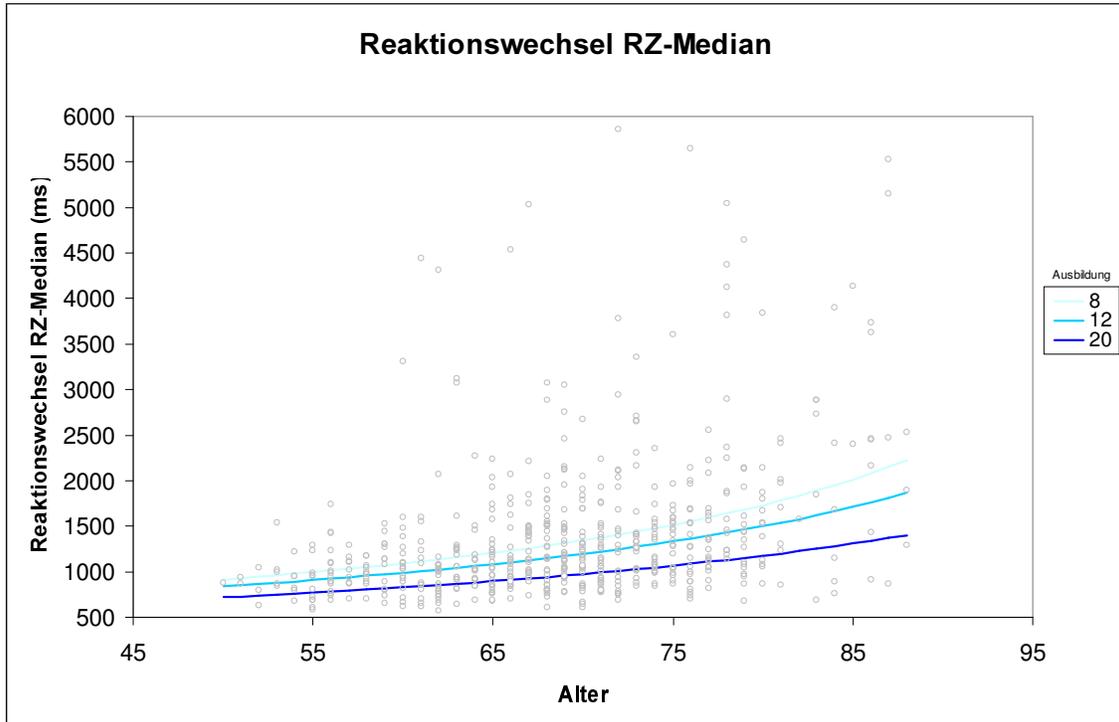
#### *Deskription der RZ*

Die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit (RZ-Median) mit der die Aufgabe Reaktionswechsel ausgeführt werden kann ist infolge der PRESS-Statistik am besten durch das Alter (standardisierter Koeffizient  $\beta = 0,43$ ;  $p < .001$ ) und der Ausbildung ( $\beta = -0,22$ ;  $p < .001$ ) vorhersagbar. Interaktionen liegen keine vor (siehe Abb. 29). Dem Alter kommt dabei ein größeres Gewicht zu. Um eine näherungsweise Normalverteilung der Daten zu erreichen, sind die Daten einer Box-Cox Transformation mit  $\lambda = -0.85$  unterzogen worden. Die Daten erzwingen eine optimale Anpassung der Geraden mittels einer starken Transformation, so dass ein nicht-linearer Altersgradient beobachtet wird. Die Betrachtung des Altersquerschnittes zeigt deutlich den Einfluss von Alter und Ausbildung auf die RZ. Während für 50jährige mit 8 Jahren Ausbildung ein RZ-Median um die 880ms erwartet wird, liegt die Reaktionsgeschwindigkeit der 88jährigen mit der selben Ausbildungsdauer bei einem um den Faktor 2.5 höheren Wert. Bei Personen mit 12 Jahren Ausbildung liegt das Ausgangsniveau (50 Lebensjahre) gleichermaßen bei 880ms, während nun aber die 88jährigen nur noch um einen Faktor 2.2 langsamer sind und für Personen mit 20 Jahren Ausbildung liegt schließlich das Ausgangsniveau bei 720ms und die Verlangsamung (bzgl. der 88jährigen) bei einem Faktor 1.9 (siehe Abb. 29). Betrachtet man die Verteilung der Probanden in den Quartilen über das Alter hinweg, so stellt man fest, daß der Anteil der älteren Probanden im unteren Quartil ( $RZ < 924,5$  ms) streng monoton ab- und ihr Anteil im oberer Quartil ( $RZ > 1520$  ms) streng monoton zunimmt (siehe Abb. 30).

Die Tabelle 13 zeigt, dass der sich Anteil der Personen des oberen Quartils, ausgehend von 43% aller Personen zwischen 50-59, pro Dekade im Mittel um 9,5% vermindert, während umgekehrt der Anteil an den Personen des unteren Quartils pro Dekade um 20% wächst, bei einem Anteil von lediglich 4% aller 50-59jährigen. Die hohe durchschnittliche Zunahme des unteren Quartils ist jedoch durch einen überproportionalen Zuwachs durch die ältesten Testteilnehmer in der 8. Lebensdekade verursacht.

Bemerkenswert ist aber auch, dass es unter den Hochbetagten immer noch eine Reihe von Personen gibt, die deutlich überdurchschnittliche Leistungen erbringen. So lässt sich beispielsweise ein 87jähriger männlicher Proband identifizieren, dessen RZ-Median bei 865ms und lediglich zwei FEHLREAKTIONEN liegt. Die in Tabelle 14 dargestellte durchschnittliche Ausbildungsdauer in Abhängigkeit unterschiedlicher Alterskohorten

reflektiert die in den Altersgradienten ebenfalls deutlich zum Ausdruck kommenden Ausbildungseffekte. Auffällig ist jedoch, dass selbst unter den Testteilnehmern, die unabhängig von Alter und Ausbildung, dem unteren Leistungsquartil angehören, die mittlere Ausbildungsdauer gleichermaßen zunimmt. Dass die Ausbildung einen wichtigen Erklärungswert besitzt, geht auch aus dem zuvor geschilderten Fallbeispiel hervor. Dieser ungewöhnlich leistungsstarke Herr verfügt immerhin über eine 16jährige formale Ausbildungsdauer.



**Abbildung 29 – Altersgradient (Median der individuellen RZ) der Aufgabe Reaktionswechsel in Abhängigkeit dreier unterschiedlicher Ausbildungsdauern (8, 12, 20 Jahre) vor dem Hintergrund individueller Datenpunkte der Gesamtstichprobe**

*Tabelle 13 – Absoluter und relativer Anteil der Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils bzgl. des Reaktionswechsels (RZ-Median) an der Gesamtstichprobe stratifiziert nach Alterskohorten.*

Altersgruppen		25% Beste	25% Schlechteste	Total
50-59	abs. Häufigkeit	33	3	77
	rel. Häufigkeit	43%	4%	100%
60-69	abs. Häufigkeit	67	45	240
	rel. Häufigkeit	28%	19%	100%
70-79	abs. Häufigkeit	42	71	236
	rel. Häufigkeit	18%	30%	100%
80-89	abs. Häufigkeit	7	32	48
	rel. Häufigkeit	15%	67%	100%
Total	abs. Häufigkeit	149	151	601
	rel. Häufigkeit	25%	25%	100%

Tabelle 14 – Mittlere Ausbildungsdauer von Testteilnehmern des unteren und oberen Quartils der Mediane der RZ im Test Reaktionswechsel stratifiziert nach Alterskohorten

Alterskohorte	oberes Quartil	unteres Quartil	Total
	mittlere Ausbildungsdauer		mittlere Ausbildungsdauer
50-54	12,22	9,00	11,82
55-59	11,92	8,00	11,68
60-64	11,94	10,91	11,83
65-69	13,32	11,12	12,44
70-74	13,37	10,87	12,45
75-79	13,25	11,82	12,92
80-84	11,00	11,90	12,13
85-89	16,00	11,25	11,63
<b>Total</b>	<b>12,68</b>	<b>11,29</b>	<b>12,30</b>

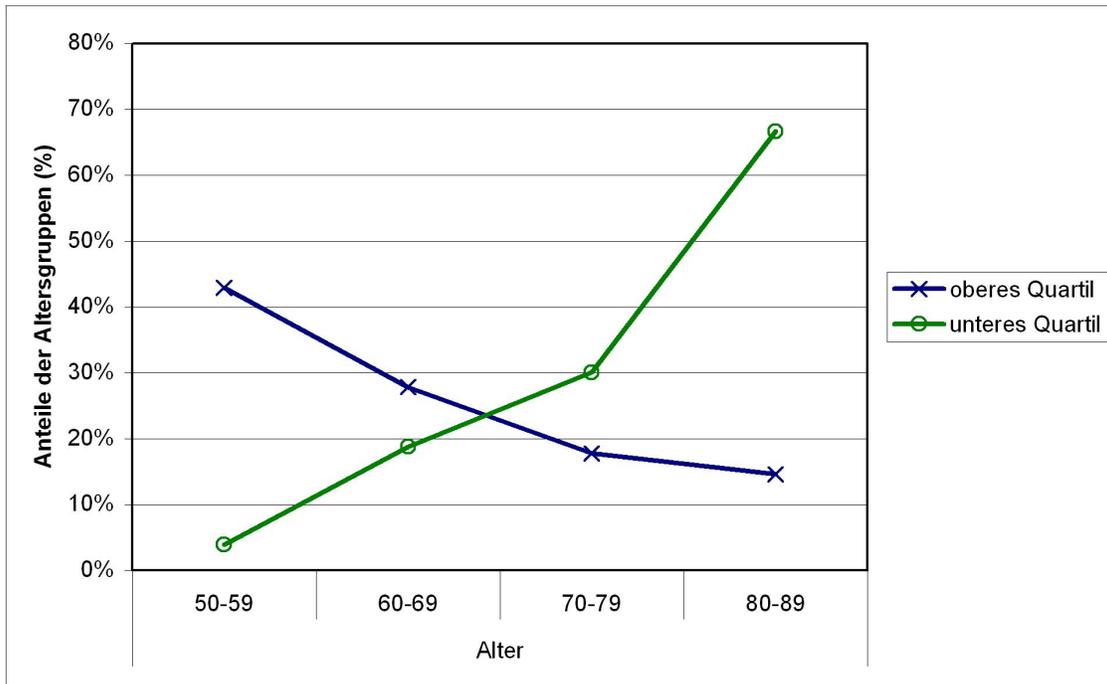


Abbildung 30 – Relativer Anteil von Probanden aus den verschiedenen Altersgruppen am unteren und oberen Quartil der Gesamtstichprobe der RZ im Test Reaktionswechsel.

### *Deskription der Fehlreaktionen*

Durch Erhebung von FEHLREAKTIONEN kann die Genauigkeit beurteilt werden, mit der die Aufgabe Reaktionswechsel und mithin eine flexible Reaktionsauswahl bewältigt wird. Eine hohe Fehlerrate indiziert eine eingeschränkte Leistungsfähigkeit des *Supervisory Attentional System*, das dem Konzept der willentlich-kontrollierten Handlungssteuerung zugrunde liegt. Zumal die Prüfung des Reaktionswechsels eine selbstkontrollierte Taktung ermöglicht, muss u.U. von einem Speed-Accuracy Trade-Off ausgegangen werden (vgl. unten). Die besten Leistungsprädiktoren im Zusammenhang mit demographischen Charakteristika der Stichprobe sind auch hier Alter ( $\beta = 0,24$ ;  $p < 0.001$ ) und Ausbildungsdauer ( $\beta = -0,24$ ;  $p < 0.001$ ). Im Unterschied zur Verarbeitungsgeschwindigkeit haben hier Alter und Ausbildungsniveau einen vergleichbaren Einfluß auf das Leistungsniveau. Auch hier mussten die Daten mittels einer Box-Cox Transformation ( $\lambda = 0.34$ ) an die Normalverteilung angenähert werden, womit eine beschleunigte Leistungsverminderung mit dem Alter sichtbar wird (siehe Abb. 31). Bei Personen mit 50 Lebensjahren werden in Abhängigkeit der Ausbildungsdauer von 8, 12, bzw. 20 Jahren im Mittel 0,6 bzw. 0 FEHLREAKTIONEN beobachtet. Bei 88jährigen Personen (mit entsprechenden Ausbildungsniveaus) beträgt der Median der FEHLREAKTIONEN 6.2; 3.9 bzw. 1.2.

Angehörige des oberen Quartils begehen 0 Fehler, während den Testpersonen im unteren Leistungsquartil zwischen 4 und 31 Fehler unterlaufen. Die außerordentlich rechtsschiefe Verteilung auf der Basis diskreter Daten führt zu einer Verzerrung der Gruppengröße, obgleich des einheitlich verwendeten Definitionskriteriums.

Wiederum ist eine Verminderung des Anteils der Personen im oberen Quartil und eine Zunahme von Personen im unteren Quartil mit fortschreitendem Alter beobachtbar.

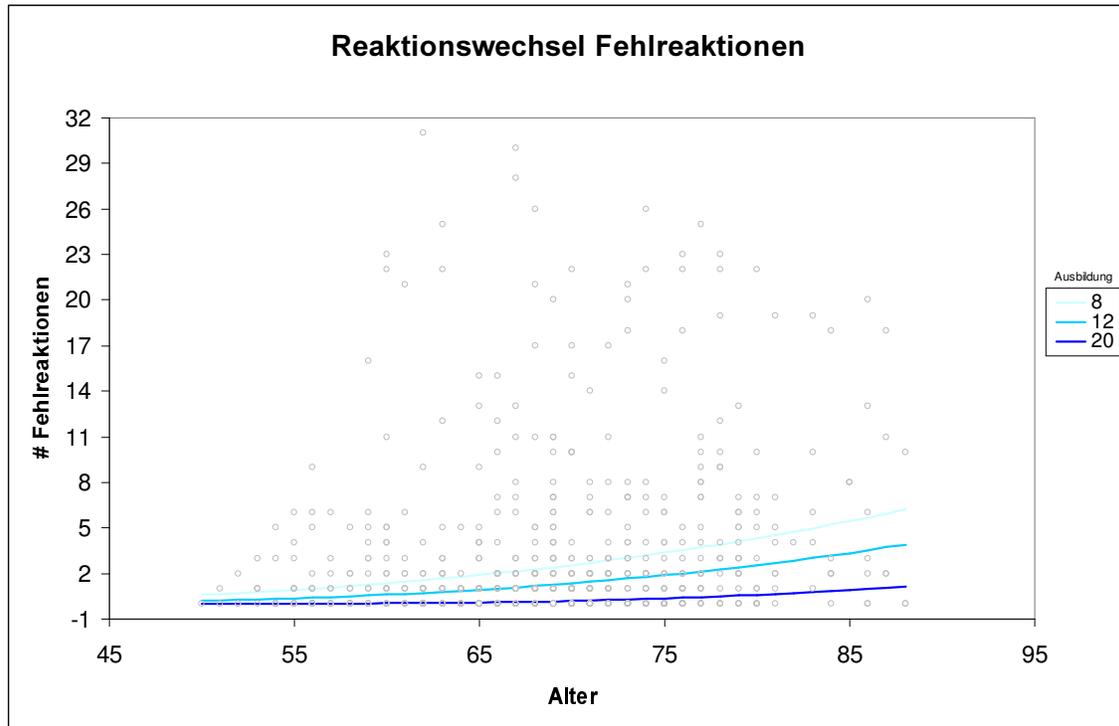
Bei einem Anteil von 48,1% aller 50-59jährigen am oberen Quartil, kann pro Dekade im Mittel eine Abnahme um 8,4% beobachtet werden. Gehören lediglich 15,6% aller 50-59jährigen dem unteren Quartil an, so steigt deren Anteil auf 47,9% bei den 80-89jährigen. Im Durchschnitt entspricht dies einer Zunahme um 10,2% pro Dekade.

Erneut ist festzustellen, dass sehr leistungsfähige Hochbetagte gefunden werden können (z.B. 88jähriger männlicher Proband mit Null FEHLREAKTIONEN und einem RZ-Median von 1894ms; Ausbildungsdauer: 15 Jahre; ID 2525).

Unter den Angehörigen des unteren Quartils ist entgegen jenen des oberen Quartils kein Trend in der mittleren Ausbildungsdauer zu erkennen (siehe Tab. 17).

Darin scheint sich einerseits auszudrücken, dass die Beobachtung einer altersbedingte Zunahme von leistungsschwachen Testteilnehmern, durch Veränderungen bedingt ist, die nicht durch das Ausbildungsniveau beeinflusst zu werden scheinen. Auf der anderen Seite

geht der Verbleib im oberen Leistungsquartil mit zunehmendem Alter immer stärker mit einer überdurchschnittlichen formalen Ausbildungsdauer einher.



**Abbildung 31 – Altersgradient (FEHLREAKTIONEN) der Aufgabe Reaktionswechsel in Abhängigkeit dreier unterschiedlicher Ausbildungsdauern (8, 12, 20 Jahre) vor dem Hintergrund individueller Datenpunkte der Gesamtstichprobe**

*Tabelle 16 – Absoluter und Relativer Anteil des oberen und unteren Quartils bzgl. des Reaktionswechsels (FEHLREAKTIONEN) an der Gesamtstichprobe stratifiziert nach Alterskohorten.*

Altersgruppen	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Total
50-59 abs. Häufigkeit	37	12	77
rel. Häufigkeit	48,10%	15,60%	100%
60-69 abs. Häufigkeit	75	59	240
rel. Häufigkeit	31,30%	24,60%	100%
70-79 abs. Häufigkeit	68	70	236
rel. Häufigkeit	28,80%	29,70%	100%
80-89 abs. Häufigkeit	10	23	48
rel. Häufigkeit	20,80%	47,90%	100%
Total abs. Häufigkeit	190	164	601
rel. Häufigkeit	31,60%	27,30%	100%

Tabelle 17 – Mittlere Ausbildungsdauer von Testteilnehmern des unteren und oberen Quartils bzgl. des Reaktionswechsels (FEHLREAKTIONEN) stratifiziert nach Alterskohorten

Alterskohorte	oberes Quartil	unteres Quartil	Total
	mittlere Ausbildungsdauer	mittlere Ausbildungsdauer	mittlere Ausbildungsdauer
50-54	12,44	13,00	11,82
55-59	11,61	11,09	11,68
60-64	12,06	10,35	11,83
65-69	13,05	11,69	12,44
70-74	13,51	10,18	12,45
75-79	14,20	11,49	12,92
80-84	12,67	12,47	12,13
85-89	13,00	10,88	11,63
<b>Total</b>	<b>12,86</b>	<b>11,20</b>	<b>12,30</b>

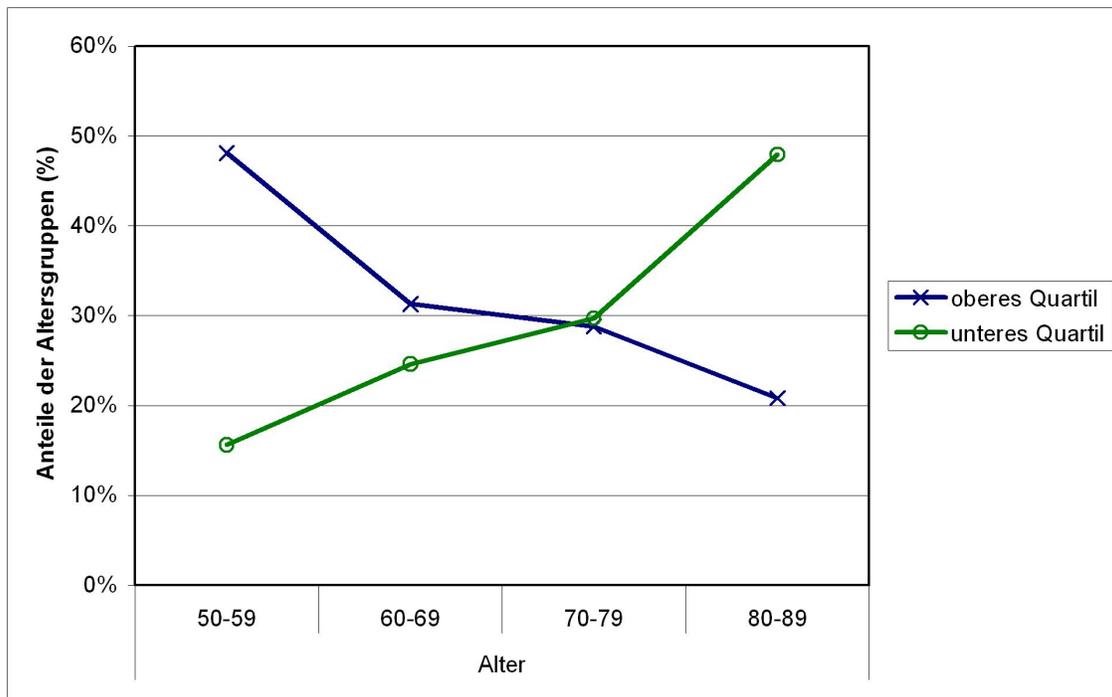


Abbildung 32 – Relativer Anteil der jeweiligen Altersgruppen an den absolut Leistungsstärksten (oberes Leistungsquartil) und –schwächsten (unteres Leistungsquartil) bzgl. der Aufgabe Reaktionswechsel (Fehlreaktionen)

### *Deskription des Speed-Accuracy Trade-Off*

Für die Einschätzung der Leistungen, die in der Aufgabe REAKTIONSWECHSEL erbracht werden, ist es erforderlich den Zusammenhang zwischen RZ-Median und der Anzahl der Fehlreaktionen zu untersuchen, zumal es auf der Hand liegt, dass bei einer derartigen Aufgabe individuelle Strategien nahe liegen, die entweder zu einer Minimierung der Fehlreaktionen auf Kosten der Reaktionszeit (konservative bzw. vorsichtige Strategie) oder zur Optimierung der Reaktionsgeschwindigkeit zu Ungunsten der Fehlerrate (risikoreiche Strategie) führen.

Eine solche Beziehung wird in der Terminologie der Informationstheorie mit *Speed-Accuracy Trade-Off* bezeichnet.

Die isolierte Betrachtung entweder der Reaktionszeit oder der Fehlerrate kann daher ein falsches Bild der Leistungsfähigkeit eines Probanden liefern. Insbesondere bei der Analyse von Altersverläufen kann dies zu falschen Schlüssen führen, wenn mit der Veränderung des Alters eine Veränderung der Strategie einhergeht. Darüber hinaus stellt sich auch die Fragen, inwiefern die Anwendung solcher Strategien von Merkmalen des Geschlechts und der Ausbildung abhängig ist.

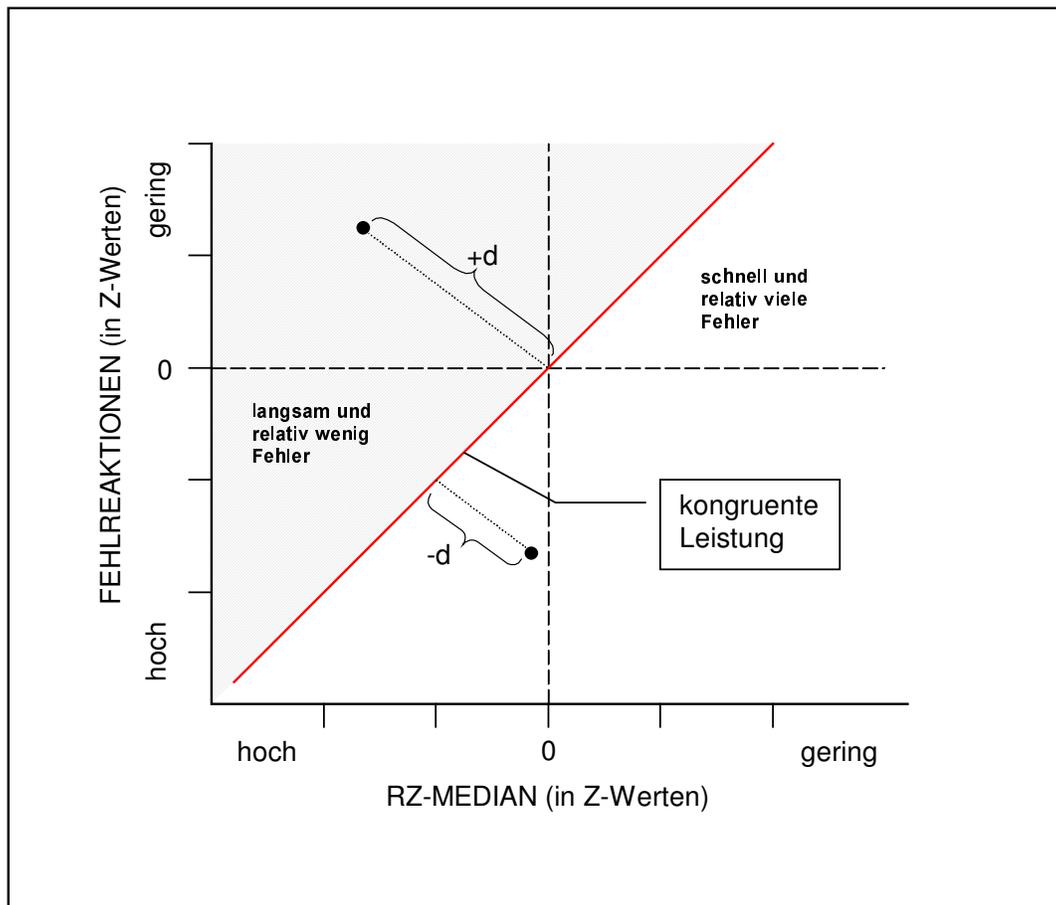
### *Analyse des strategischen Testverhaltens*

Die vorliegende Analyse geht vom Konzept des *kongruenten Leistungsverhalten* aus. d.h. die Leistungen von Testpersonen sind nur dann als leistungsschwach zu bewerten, wenn sie sowohl langsam als auch fehlerhaft reagieren, und sie sind dem gegenüber nur dann als leistungsstark einzustufen, wenn sie die Aufgabe gleichermaßen schnell und fehlerfrei bewältigen.

Alle Testpersonen, die von einer kongruenten Leistung zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Fehlerrate abweichen sind entweder langsam, aber arbeiten relativ fehlerarm oder sie sind schnell und begehen eine relativ große Anzahl von Fehlern.

Zur Beurteilung, inwiefern von den Probanden eine vorsichtige oder risikoreiche Strategie verfolgt wird, ist es notwendig einen entsprechenden Parameter zu entwickeln, der eine Aussage über die verfolgte Strategie erlaubt. Bei kongruenten Leistungen würde man bei einer gegebenen Reaktionszeit die entsprechende Fehlerrate, die durch eine hypothetische Regressionsgerade angegeben wird, erwarten. Ist die tatsächliche Fehleranzahl größer als die erwartete, wurde daher eher zu schnell reagiert bezogen auf die individuelle Leistungsfähigkeit, also eine eher risikoreiche Strategie verfolgt und entsprechend umgekehrt, wenn die Fehlerzahl unter der in Bezug auf die erwartete Reaktionszeit bleibt.

Ein entsprechendes Maß könnte die Distanz ( $d$ ) darstellen, die angibt, inwieweit ein Einzelpunkt von der gedachten Regressionsgeraden entfernt ist (siehe Abb. 33). Ist  $d$  Null oder nahe Null, entspricht die beobachtete Fehlerzahl der erwarteten, d.h. es kann eine kongruente Leistung zwischen Reaktionszeit und Fehlerrate angenommen werden. Ist  $d$  größer Null würde wäre eine vorsichtige Strategie anzunehmen, bei  $d$  kleiner Null hingegen eine risikoreiche Strategie.



**Abbildung 33 – Das Konzept der kongruenten Leistung.** Die Relativierung eines jeweiligen Einzeldatenpunkts an der rot gezeichneten Geraden lässt darauf schließen, inwiefern entweder eher eine Minimierung von Fehlreaktionen oder Reaktionszeiten stattgefunden hat. Eine positive Distanz (+ $d$ ) zur Kongruenzgeraden deutet eher auf eine vorsichtige Strategie (im Sinne der Fehlerminimierung), während eine negative Distanz (- $d$ ) eher auf eine risikoreiche Strategie hinweist.

Tabelle 18 enthält die Lagemaße der Verteilung von **d**.

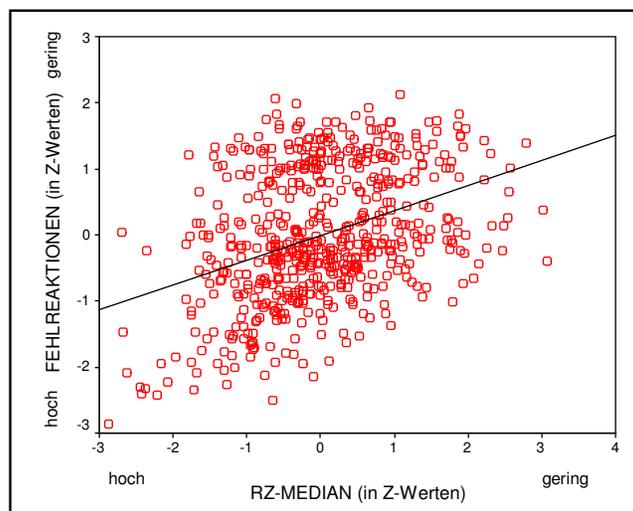
*Tabelle 18 – Verteilungskennwerte des Distanzmaßes d*

N	601
Mittelwert ( $\pm S$ )	0 ( $\pm 0,79$ )
Median	-0,07
Minimum	-2,45
Maximum	2,11

Das Distanzmaß ist relativ symmetrisch verteilt (vgl. Mittelwert und Median der Tab. 18) und zeigt nur eine geringe Streuung. Dieses deutet darauf hin, dass nur ein relativ geringer Teil der Stichprobe einer ausgeprägten risikoreichen oder vorsichtigen Strategie folgt.

Die vorsichtigsten bzw. risikoreichsten Untersuchungsteilnehmer sind etwa drei Standardabweichungen von einer kongruenten Leistung entfernt.

Vergleichbares kann auch einer direkten Korrelation von FEHLREAKTIONEN mit RZ-MEDIAN entnommen werden. Die positive Korrelation der beiden um demographische Einflüsse korrigierten Maße von  $r = 0,375$  ( $p < .001$ ) deutet darauf hin, dass die Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit der Aufgabe Reaktionswechsel weitaus eher durch *kongruente Leistungen*, denn durch das vorliegen ausgeprägter risikoreicher oder vorsichtiger Strategien geprägt ist (siehe Abb. 34).



**Abbildung 34 – Korrelativer Zusammenhang (Regression) zwischen Fehlerrate und Reaktionsgeschwindigkeit der Aufgabe Reaktionswechsel. Es kann eine positive Beziehung ( $r = 0.375$ ;  $p < .001$ ) beobachtet werden (neg. Z-Werte bedeuten hohe Reaktionsgeschwindigkeit und Fehlerrate)**

Die Betrachtung unkorrigierter Rohwerte zeigt gleichermaßen eine Beziehung, die in Richtung einer *kongruenten Leistung* interpretiert werden muss. Der korrelative Zusammenhang ist sogar deutlich stärker ( $r = 0,559$ ;  $p < .001$ ).

Die Frage, inwiefern das Geschlecht, die Ausbildungsdauer oder das Alter eine Rolle hinsichtlich der Verfolgung einer der jeweiligen Strategie spielen, kann mit einfachen Korrelationsanalysen untersucht werden.

Als Berechnungsgrundlage müssen jedoch unkorrigierte Werte herangezogen werden. Um auch bei den unkorrigierten Rohwerten Vergleichbarkeit zu erzielen, sind sie einer einfachen z-Transformation unterzogen worden, so dass nun jeweils nach der oben eingeführten Methode die Abweichungen von der *kongruenten Leistung* berechnet werden kann.

Tabelle 19 zeigt den korrelativen Zusammenhang zwischen dem Distanzmaß **d** und den Variablen Geschlecht, Alter und Ausbildungsdauer.

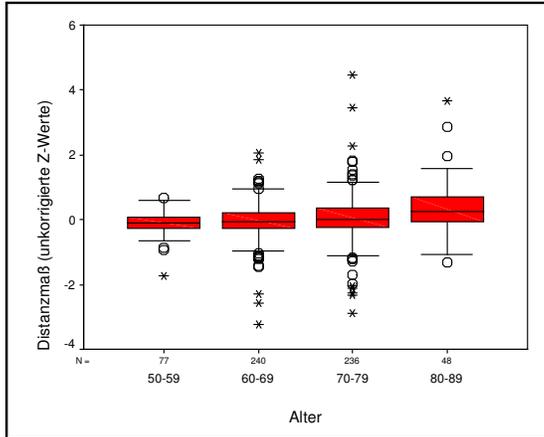
*Tabelle 19 – Korrelation des Distanzmaßes d mit demographischen Merkmalen der Testpersonen.*

<b>demographische Merkmale</b>	<b>Korrelation r (<math>\alpha</math>-Fehlerniveau bei zweiseitigem Test)</b>
Geschlecht	-0,05 ( $p = .232$ )
Alter <sup>1</sup>	0,22 ( $p < .001$ )
Ausbildung	0,02 ( $p = .589$ )

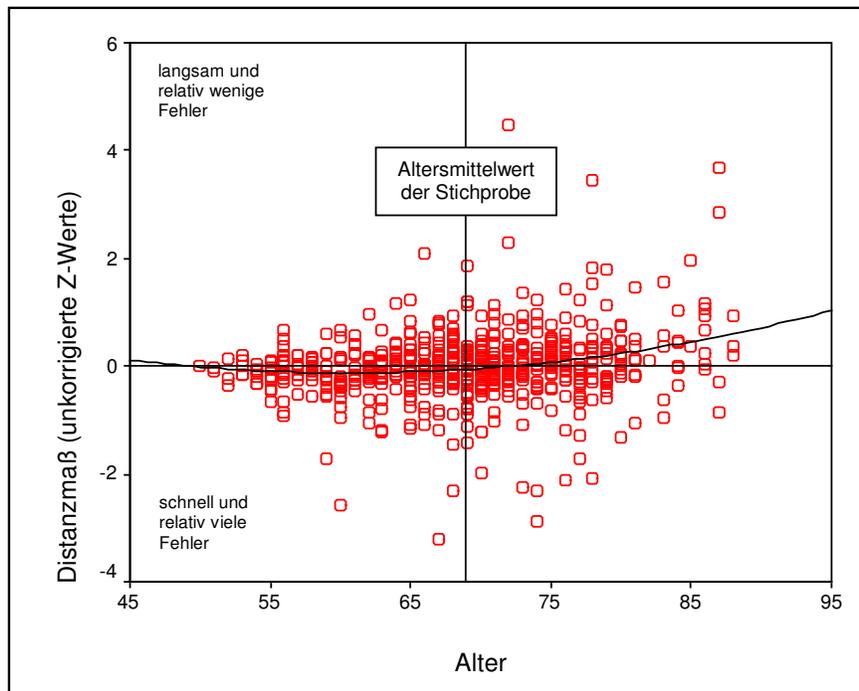
### *Der Einfluss des Alters auf vorsichtiges oder risikoreiches Testverhalten*

Entgegen dem Alter zeigen das Geschlecht und die Ausbildungsdauer keine statistisch abgesicherten Effekte. Die Produkt-Moment Korrelationen liegen dementsprechend nahe der Null. Das Alter hingegen steht mit dem Distanzmaß **d** in einer positiven Beziehung, d.h. je älter die Testpersonen sind, desto eher neigen sie dazu relativ wenige Fehler zulasten einer hohen Reaktionsgeschwindigkeit zu begehen während jüngere Testpersonen eher ein kongruentes Leistungsverhalten zeigen (siehe Abb. 36 und 37). Mit zunehmendem Alter neigen Testpersonen somit zu einem immer vorsichtigeren Vorgehen (4,8% der Varianz können durch das Alter erklärt werden).

<sup>1</sup> multiple Korrelation unter Einbezug eines quadratischen Altersterms



**Abbildung 35 – Box-Plot der Altersgruppen bzgl. der Ausprägung des Distanzmaßes. Extremwerte und Ausreißer sind in etwa proportional zur Stichprobengröße N. Die gegen Ausreißer unempfindlicheren Interquartilabstände zeigen eine altersbezogene Zunahme. Die Standardabweichung der 80-89jährigen ist durch Ausreißer geprägt, die ein positives Distanzmaß aufweisen und dementsprechend einer vorsichtigen Strategie folgen.**



**Abbildung 36 – Beziehung zwischen Alter und Distanzmaß d. Die quadratische Regression verdeutlicht, dass ältere Testpersonen (> 68 Jahre) gemessen an der Reaktionszeit (RZ-MEDIAN) eher überproportional wenige Fehler (FEHLREAKTIONEN) begehen.**

Abbildung 37 zeigt den Verlauf von Mittelwerten des Distanzmaßes in Abhängigkeit von vier Altersgruppen. Der Verlauf der Mittelwerte legt eine quadratische Beziehung zwischen Alter und  $d$  nahe. Darüber hinaus kann beobachtet werden, dass auch die Standardabweichungen mit den Altersgruppen zunehmen. D.h. mit zunehmendem Alter nimmt im Mittel die Bedeutung eines durch Vorsicht geprägten Vorgehens zu, während zugleich auch eine immer stärkere Akzentuierung der Strategien festzustellen ist (größere Kompensation der verminderten Leistungsfähigkeit durch ein noch langsames Vorgehen; siehe Abb. 37)

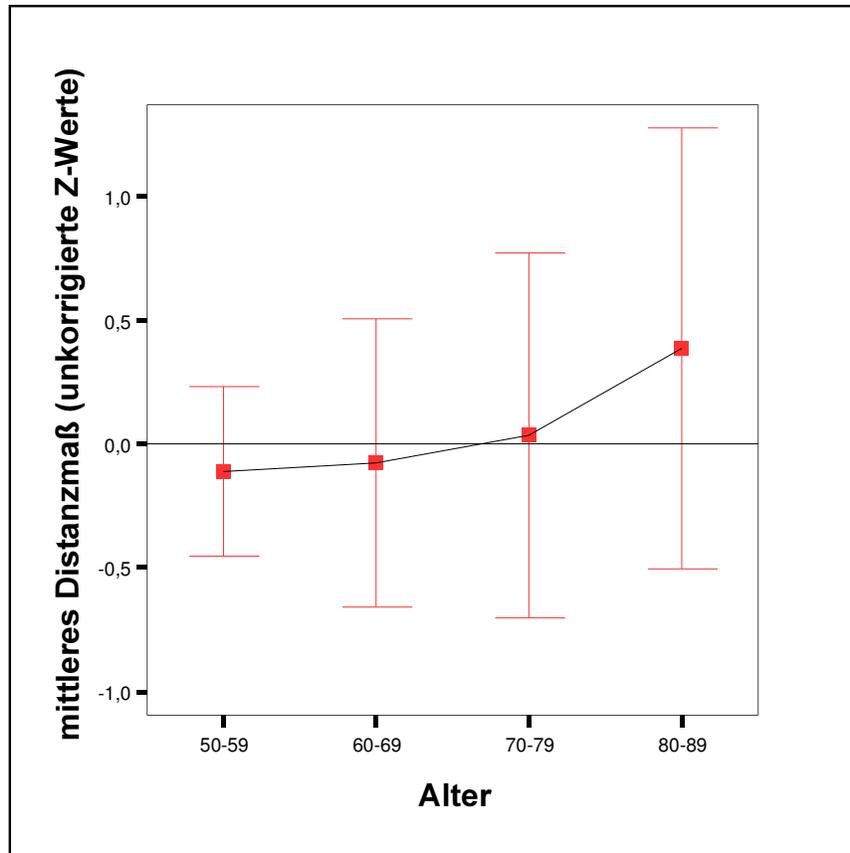


Abbildung 37 – mittleres Distanzmaß von Altersgruppen und die dazugehörige Standardabweichungen.

*Die Abwesenheit eines Ausbildungseffektes auf vorsichtiges bzw. risikoreiches Testverhalten*

Wie auf S. 120 und 123 dargestellt, spielt die Ausbildungsdauer zur Vorhersage der Reaktionszeiten und der Fehlerzahl eine bedeutende Rolle. Eine höhere formale Ausbildung ist dabei mit einer höheren Leistungsfähigkeit in den jeweiligen Bereichen assoziiert. Etwas unerwartet ist daher die Beobachtung, dass das strategische Testverhalten (vorsichtiges bzw. risikoreiches Vorgehen) davon unbeeinflusst bleibt.

Abbildung 139 zeigt die Mittelwerte des Distanzmaßes  $d$  und ihre Standardabweichung für vier Gruppen unterschiedlicher Ausbildungsdauer. Die Kategoriebreite entspricht näherungsweise den Quartilen der Ausbildungsverteilung. Es ist deutlich zu erkennen, dass eine höhere Ausbildung mit einer verminderten Standardabweichung assoziiert ist. Der Effekt der Ausbildungsdauer auf die Standardabweichungen ist sehr ausgeprägt ( $r = -0,714$ ;  $p = .004$ ). Die gegen Ausreißer robusteren Interquartilabstände bestätigen diese Beobachtung (siehe Abb. 38).

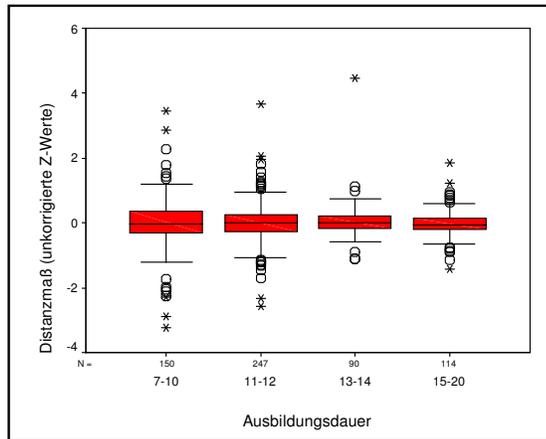


Abbildung 38 – Box-Plot von Gruppen unterschiedlicher Ausbildungsdauer bzgl. der Ausprägung des Distanzmaßes  $d$ . Die Gruppe der Testpersonen mit 15 – 20 Jahren Ausbildung ist durch die relativ meisten Ausreißer und Extremwerte hinsichtlich ihrer Gruppengröße  $N$  gekennzeichnet. Entgegen den Extremwerten im Kontext von Altersgruppen kann hier keine Präferenz zu einer vorsichtigen oder risikoreichen Strategie festgestellt werden.

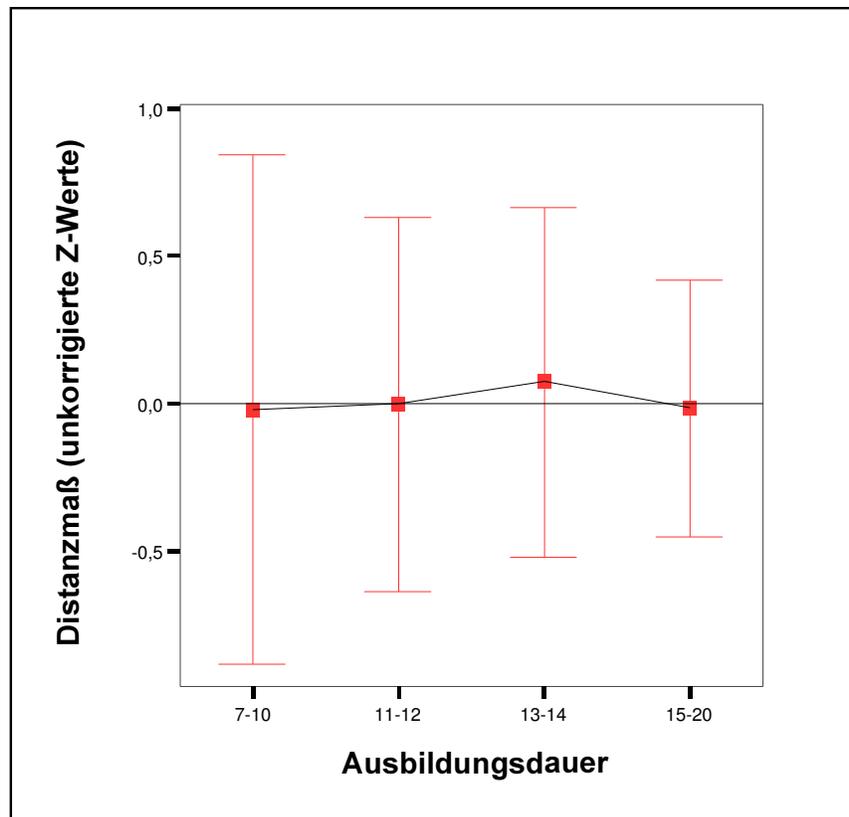


Abbildung 39 – Mittelwerte des Distanzmaßes  $d$  in Abhängigkeit von Ausbildungsdauer und deren Standardabweichungen. Eine hohe Ausbildungsdauer führt zu einer Verminderung der Standardabweichung von  $d$ .

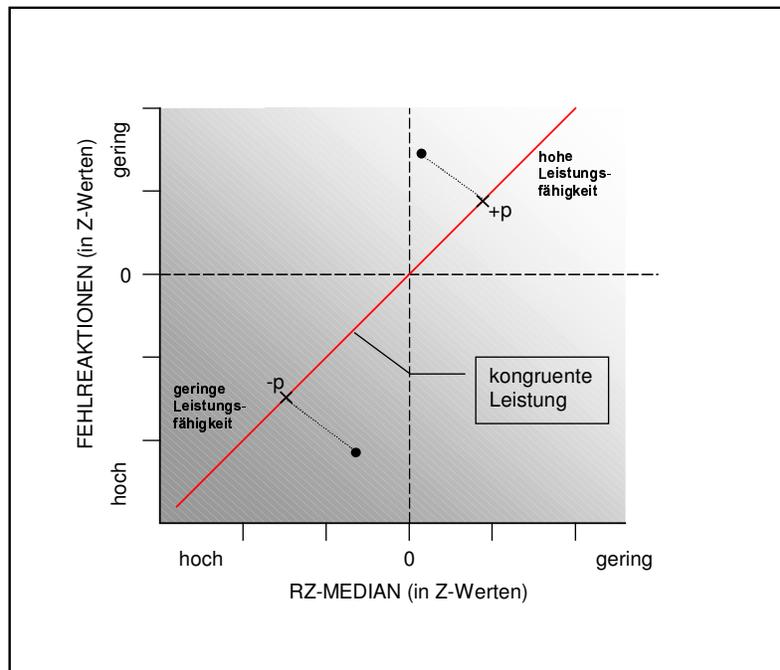
Insgesamt ist somit festzuhalten, dass alleine auf der Basis der Ausbildungsdauer kein eindeutiger Trend in Richtung einer vorsichtigen oder eher risikoreichen Strategie festzustellen ist. Offensichtlich ist aber die Beobachtung von Testteilnehmern, die ein akzentuiertes strategisches Testverhalten erkennen lassen, eher mit einer geringeren formalen Ausbildungsdauer assoziiert.

### Analyse der Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung des strategischen Testverhaltens

#### Analyse der kombinierten Leistungsfähigkeit

Es ist klar, dass die Verfolgung entweder einer risikoreichen oder vorsichtigen Strategie die Interpretation der Leistungsfähigkeit auf der Basis nur eines Parameters (Geschwindigkeit vs. Genauigkeit) erschwert. Daher kann die Leistungsfähigkeit nur dann hinreichend valide eingeschätzt werden, wenn sowohl die Reaktionszeit als auch die Fehlerrate zu gleichen Teilen in eine Beurteilung einfließen.

Diesen Zweck kann aber das Distanzmaß  $d$  nicht erfüllen, denn damit lassen sich lediglich Aussagen über das Vorliegen des strategischen Testverhaltens, nicht aber über die Leistungsfähigkeit tätigen, die entsprechend der angewandten Strategie bei der Aufgabe Reaktionswechsel erzielt wird.



**Abbildung 40 – Das Leistungsmaß  $p$  als Indikator für die tatsächliche Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung sowohl der Reaktionszeit als auch der Genauigkeit mit der die Aufgabe Reaktionswechsel bewältigt wird. Ist  $p$  kleiner Null ist die Leistungsfähigkeit gering, bei positivem  $p$  dagegen hoch.**

Während zur Beurteilung der Art der Strategie und der Intensität mit der sie verfolgt wurde die Abweichung von der kongruenten Leistung ein geeignetes Maß ist, muss im Zusammenhang mit der Beurteilung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit gefragt werden, in welchem »Bereich« oder Abschnitt dieser hypothetischen Regressionsgerade ein jeweiliger

individueller Datenpunkt aus Geschwindigkeit und Genauigkeit anzusiedeln ist. D.h. die Projektion eines Datenpunktes auf die hypothetische Regressionsgerade kann als Indikator für die Leistungsfähigkeit verstanden werden. Als ein geeignetes Maß kommt dafür der gewichtete Mittelwert zwischen Reaktionszeit (RZ-MEDIAN) und Genauigkeit (FEHLREAKTIONEN) infrage. Tabelle 20 zeigt die Lagemaße der Verteilung des Leistungsmaßes  $p$  (gewichtetes Mittel).

*Tabelle 20 – Verteilungskennwerte des Leistungsmaßes  $p$*

N	601
Mittelwert ( $\pm S$ )	0 ( $\pm 0,83$ )
Median	-0,01
Minimum	-2,87
Maximum	2,09

Mittelwert und Median deuten auf eine symmetrische Verteilung hin. Die relativ geringe Standardabweichung zeigt eine relativ hohe Leistungsfähigkeit der Gesamtstichprobe. Die schwächsten Testteilnehmer liegen etwa 3,5 die besten 2,5 Standardabweichungen von einer durchschnittlichen Leistung entfernt.

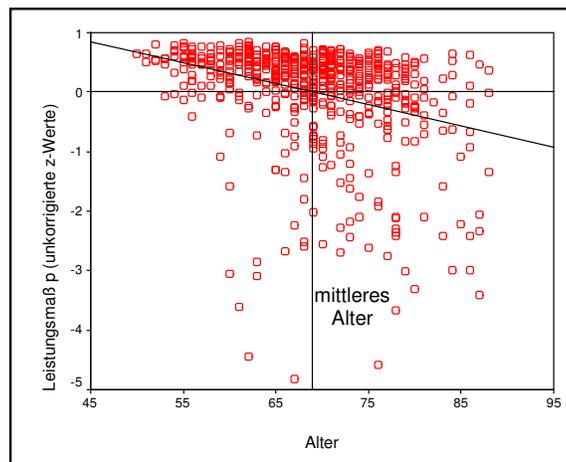
Der Einfluss der demographischen Charakteristika der Stichprobe muss hier erneut auf der Grundlage unkorrigierter Z-Werte analysiert werden. Dabei kann hinsichtlich zwei von drei demographischen Merkmale ein statistisch bedeutsamer Effekt beobachtet werden (siehe Tab. 21).

Tabelle 21 – Korrelation des Leistungsmaßes p mit demographischen Merkmalen der Testpersonen.

demographische Merkmale	Korrelation r ( $\alpha$ -Fehlerniveau bei zweiseitigem Test)
Geschlecht	-0,052 (p = .203)
Alter	-0,311 (p < .001)
Ausbildung <sup>2</sup>	0,336 (p < .001)

*Der Einfluss des Alters auf die Leistungsfähigkeit der Flexibilität*

Während auf der Basis einer Produkt-Moment Korrelation statistisch gegen den Zufall abgesicherte Effekte sowohl für das Alter, wie auch für die Ausbildungsdauer festgestellt werden können, lässt sich für den Einfluss des Geschlechts kein Effekt beobachten. Die Beziehung der Testleistung (Projektionsmaß p) mit dem Alter ist eine negative, d.h. je älter die Testpersonen, umso geringer ist die Leistungsfähigkeit bzgl. der Flexibilität (siehe Abb. 41).



**Abbildung 41 – Negative Korrelation (Regression) zwischen dem Leistungsmaß p und dem Alter (r = -0,311; p < .001). Mit zunehmendem Alter sinkt die Leistungsfähigkeit in der Aufgabe Reaktionswechsel. Das Streudiagramm ist in einem mittleren Altersbereich von einer erheblichen Variabilität in p gekennzeichnet**

<sup>2</sup> multiple Korrelation unter Einbezug eines quadratischen Ausbildungsterms

Zugleich kann auch ein Zusammenhang zwischen der Varianz und dem Alter festgestellt werden (siehe Abb. 42). Mit zunehmendem Alter wächst die Streuung der Leistungsfähigkeit unter den Testpersonen an. Dieser Effekt darf jedoch nicht nur durch eine geringe Stichprobengröße an den Rändern und die dadurch wachsende Bedeutung von Ausreißern auf die Standardabweichung interpretiert werden. Abbildung 43 zeigt die größte Anzahl von Ausreißern unter den mittleren Altersklassen und zwar ausschließlich in Richtung einer negativen Leistungsfähigkeit. Demzufolge muss angenommen werden, dass das Ausmaß der Standardabweichungen in Abbildung 42 hauptsächlich durch Testpersonen mit unterdurchschnittlicher Leistungsfähigkeit geprägt ist. Insgesamt weisen aber auch die gegen Ausreißer robusteren Interquartilabstände der jeweiligen Altersgruppen auf eine mit dem Alter zunehmende Streuung hin. Besonders deutlich wird dies für die 80-89jährigen Testpersonen.

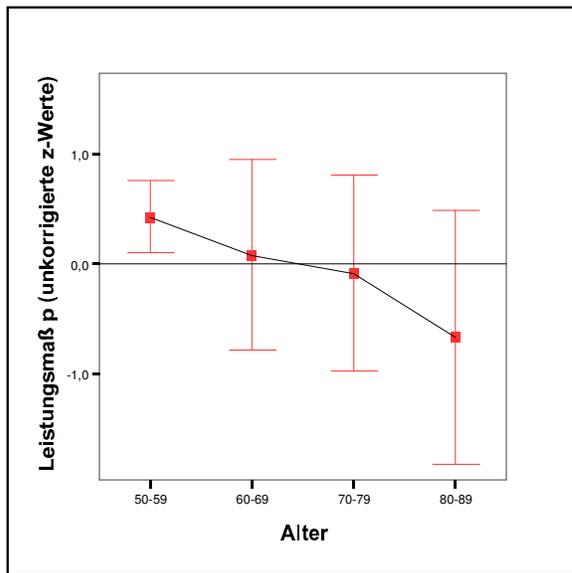


Abbildung 42 – Mittelwerte und Standardabweichungen des Leistungsmaßes p in Abhängigkeit von unterschiedlichen Altersgruppen. p und damit die tatsächliche Leistungsfähigkeit sinkt mit zunehmendem Alter ab. Zugleich nimmt die Streuung durch eine größer werdende Anzahl von leistungsschwachen Testpersonen relativ zum Gruppenmittelwert zu.

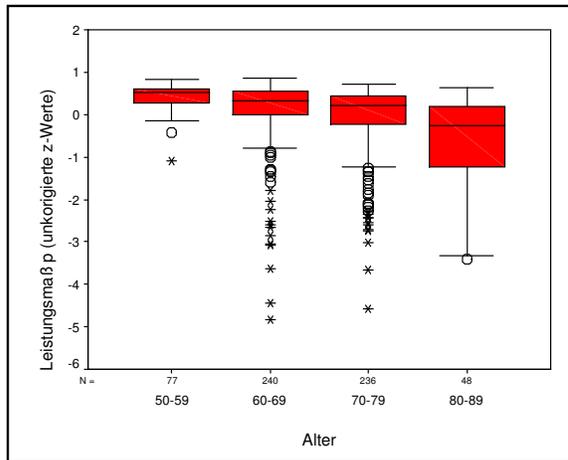
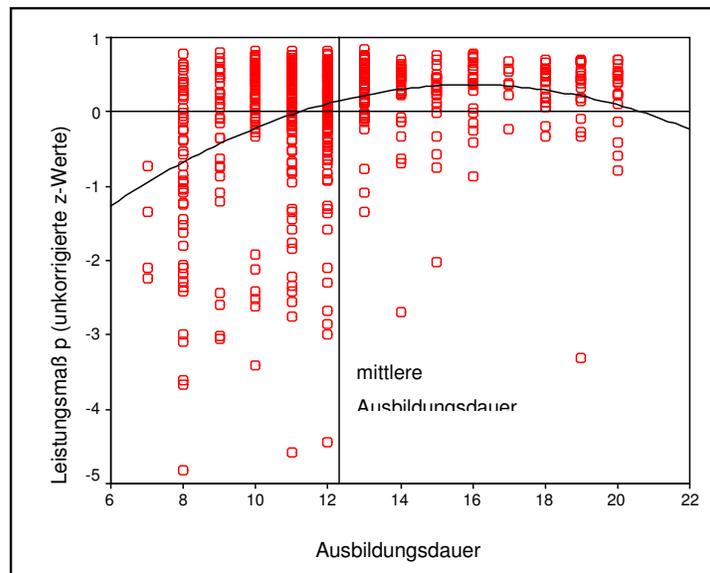


Abbildung 43 – Box-Plot des Leistungsmaßes p in Abhängigkeit verschiedener Altersgruppen. Die Ausreißer sind ausschließlich durch eine geringe Leistungsfähigkeit gekennzeichnet. Ihre Anzahl scheint proportional zur Gruppengröße N zu sein. Die altersabhängige Streuungszunahme kann auch durch die deutlich altersbezogenen Interquartilabstände bestätigt werden.

### *Einfluss der Ausbildungsdauer auf die Leistungsfähigkeit der Flexibilität*

Höher noch als das Alter korreliert die formale Ausbildungsdauer mit dem Leistungsmaß p (vgl. Tab. 21). Eine quadratische Regression vermag den Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit und der Ausbildungsdauer besser zu beschreiben als ein ausschließlich linearer Effekt (siehe Abb. 44). Dies ist jedoch hauptsächlich auf die vergleichsweise geringere Leistungsfähigkeit jener Testpersonen zurückzuführen, die im unteren Ausbildungsbereich angesiedelt sind.



**Abbildung 44 – Quadratischer Zusammenhang ( $r = 0,336$ ;  $p < .001$ ) zwischen der Ausbildungsdauer und dem Leistungsmaß p (Regression). Die tatsächliche Leistungsfähigkeit überdurchschnittlich ausgebildeter Testpersonen liegt über der von Testpersonen mit unterdurchschnittlicher Ausbildungsdauer.**

Abbildung 44 zeigt einen eindeutigen Kontrast in der Streuung des Leistungsmaßes p zwischen der Leistungsfähigkeit von Testpersonen mit unterdurchschnittlicher gegenüber überdurchschnittlicher Ausbildungsdauer. Diese Beobachtung zeigt sich noch deutlicher in der Abbildung 45. Den Box-Plot Darstellungen in der Abbildung 46 kann darüber hinaus entnommen werden, dass es sich bei der mit der Ausbildungsdauer assoziierten Varianzverminderung nicht nur um ein Phänomen handelt, das durch Ausreißer verursacht ist ( $r_{\text{Alter} \times S} = 0,52$ ;  $p = .001$ ). Auch die Interquartilabstände zeigen – wie in den Beobachtungen zuvor - eine Verminderung mit zunehmender Ausbildungsdauer. Der

Ausbildungsdauer kann demnach sowohl ein leistungssteigernder als auch variabilitätsvermindernder Effekt zugeschrieben werden.

Dabei steigt die Leistungsfähigkeit (gemessen an Gruppenmittelwerten, siehe Abb. 45) von Testpersonen mit formalen Ausbildungsdauern zwischen 7 und 14 Jahren scheinbar linear an und erreicht dann ein Plateau, auf dem sich weder die tatsächliche Leistungsfähigkeit noch die Variabilität bedeutend verändern.

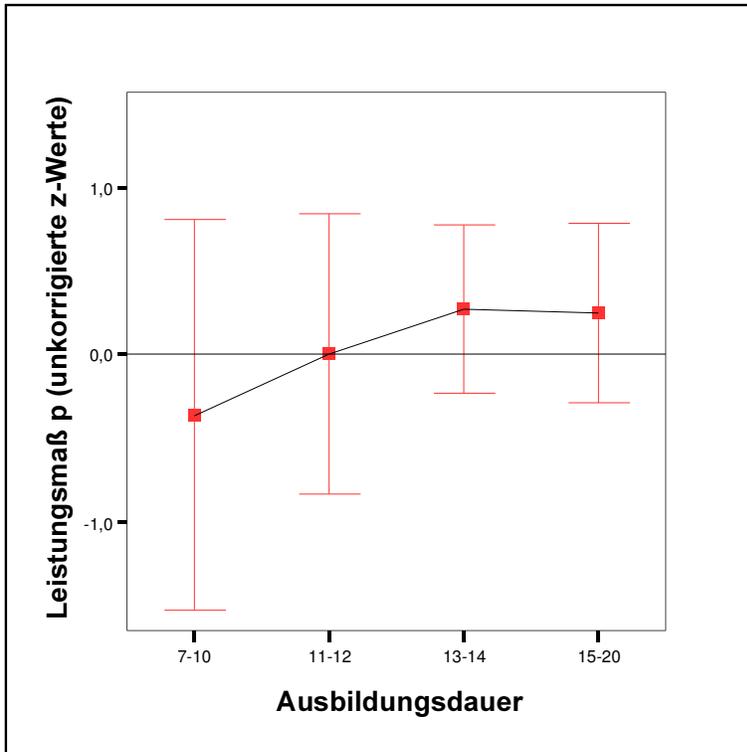


Abbildung 45 – Verlauf von Mittelwerten und Streuungen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Ausbildungsklassen. Die Mittelwerte nehmen bei gleichzeitiger Verminderungen der Streuungen zu. Zwischen 13 und 20 Jahren formaler Ausbildungsdauer stellt sich in beiden Maßen keine nennenswerte Veränderung mehr ein.

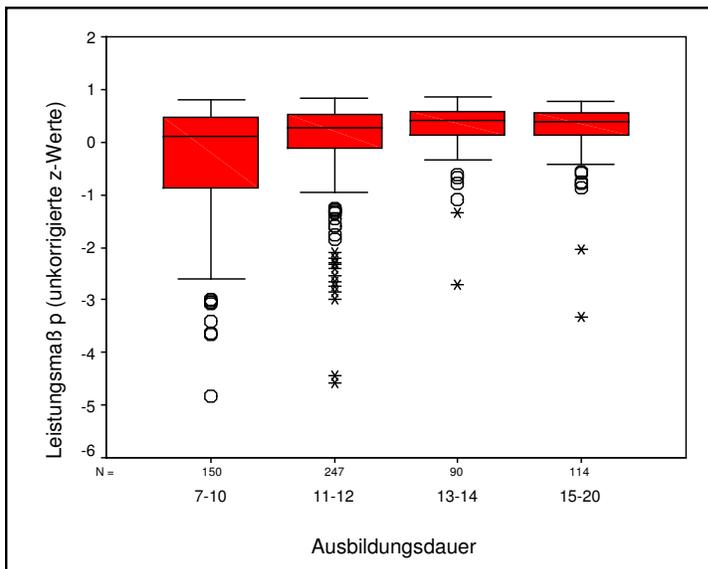


Abbildung 46 – Box-Plot des Leistungsmaßes p für verschiedene Klassen der formalen Ausbildungsdauer. Es können – wie zuvor im Zusammenhang mit dem Alter – eine Vielzahl von Ausreißern beobachtet werden, die sämtlich im negativen Bereich des Leistungsmaßes p liegen. Ihre Anzahl scheint proportional zur Gruppengröße N zu sein. Auch die Interquartilabstände zeigen einen Varianzvermindernden Effekt der Ausbildungsdauer.

### *Differentielles Altern der Flexibilität*

Die Aufgabe Reaktionswechsel fordert den flexiblen Wechsel zwischen zwei kognitiven Sets (Buchstabe vs. Zahl) und zwei Reaktionssets (rechter vs. linker Tastendruck). Insofern ist zu ihrer erfolgreichen Bewältigung ein permanenter »attentional shift« (Set-Shift) und die korrekten Auswahl damit kontingenter Handlungsschemata notwendig.

Wäre die serielle Position des Zielreizes (Buchstabe oder Zahl) vorhersagbar, entstünden »consistent mapping« Bedingungen, die nach kurzer Übung zu einer automatisierte Bewältigung der Aufgabe führen würden. Die Präsentation des Zielreizes wird jedoch in einer Pseudozufallsfolge vorgegeben, wodurch unter Aufbringung von mentaler Energie, bei einem kontinuierlicher Wechsel des Zielreizes im Arbeitsgedächtnis, die Aktualisierung des jeweils erforderlichen Handlungsschema erzwungen wird.

Dem hierfür kritischen selektiven Aufmerksamkeitsaspekt kommt dabei eine »Monitoring-Funktion« zur Sicherstellung eines korrekten Entscheidungs- und Initialisierungsprozess hinsichtlich einer der folgenden möglichen *Reiz-Handlungs Kontingenzen* zu:

<b>Set A*</b>	<b>Reaktion</b>
rechts	rechts
rechts	links
links	rechts
links	links

In kognitionspsychologischer Terminologie entspricht dies einer exekutiven Funktion, von der bekannt ist, dass ihr neuronales Substrat dem Frontalhirn zugerechnet werden muss. Zusammengefasst sind folgende empirische Befunde im Kontext des differentiellen Alterns kognitiver Flexibilitätsleistungen zu diskutieren:

1. Die demographischen Strukturgleichungen zur Vorhersage der Fehlerrate und der Reaktionszeit sind nur geringfügig komplex (Haupteffekte: Alter und Ausbildungsdauer)
2. Der Einfluss des Alters ist grundsätzlich mit einem beschleunigten Leistungsverlust und der der Ausbildungsdauer mit einer höheren durchschnittlichen Leistungsfähigkeit verbunden, wenn die beiden Testparameter jeweils gesondert betrachtet werden.
3. Die Analyse des *Speed-Accuracy Trade-Off* zeigt, dass es im Altersquerschnitt zu einer Veränderung der Strategie kommt: während jüngere Testteilnehmer ein

---

\* z.B. Buchstaben

- ausgeglichenes strategisches Vorgehen (kongruente Leistung) zeigen, tendieren Testpersonen höheren Alters zu einer immer vorsichtigeren Vorgehensweise.
4. Die kombinierte Leistungsfähigkeit – bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Reaktionsgeschwindigkeit und Genauigkeit – zeigt sowohl einen Alters- als auch Bildungseinfluss: je höher das Alter, desto geringer die Leistungsfähigkeit und je höher die Ausbildungsdauer, desto höher die Leistungsfähigkeit.
  5. Bildungseinflüsse sind nicht nur mit einer durchschnittlich höheren Leistungsfähigkeit assoziiert, eine hohe Ausbildungsdauer steht auch mit einer geringeren Variation sowohl der Leistungsfähigkeit als auch der Verhaltensstrategien in Zusammenhang. Sie ist gleichzeitig eng mit dem Verbleib im oberen Leistungsquartil (bzgl. der Fehlerraten) assoziiert. Unter den Testteilnehmern des unteren Leistungsquartils spielt sie jedoch keine Rolle.

Von der kognitiven Flexibilität muss angenommen werden, dass es sich um eine sehr »basale« kognitive Leistung handelt, die sowohl unterschiedliche sensorische Modalitäten, wie auch handlungsregulierende motorisch- exekutive Komponenten und Leistungen der Informationsflusssteuerung integriert. Insofern handelt es sich bei der Flexibilität aber auch um ein sehr komplexes Gefüge interagierender kognitiver Komponenten, woraus eine relativ hohe Vulnerabilität gegenüber einer Vielzahl unterschiedlicher Einflüsse erwächst.

Selbst wenn pathologische Einflüsse auf das neuronale Substrat der flexiblen Handlungsregulation ausgeschlossen sind, so bleiben doch eine Fülle internal-physiologischer als auch external-kumulativer altersassoziierter Prozesse bestehen, die auf die unterschiedlichsten kognitiven Ebenen einwirken und somit die Funktionalität der Flexibilität verändern können.

Sowohl der deutliche Einfluss des Alters auf die getrennte und die kombinierte Betrachtung der Leistungsfähigkeit einerseits als auch die Schlichtheit der Strukturmodelle zur Beschreibung dieser Leistungsfähigkeit andererseits, legen eine Charakterisierung der Flexibilität als ein funktionell basales aber komplex interagierendes System kognitiver Komponenten nahe.

Offensichtlich ist für die erfolgreiche Bewältigung der Aufgabe Reaktionswechsel eine geringe Distraktibilität erforderlich. Dies gilt im Übrigen für alle Leistungserfordernisse, für die eine Fokussierung der Aufmerksamkeit notwendig ist und damit der Selektivitätsaspekt der Informationsverarbeitung im Vordergrund steht. Der sukzessive Wechsel ein und desselben visuellen Reizes zum einen in einen Zielreiz, der eine adäquate Reaktion impliziert, und zum anderen in einen Distraktor, der die Hemmung eines der beiden möglichen Handlungsschemata notwendig macht, erfordert die Intaktheit inhibitorischer Informationsverarbeitungsprozesse, von denen angenommen wird, dass sie im Zuge des »frontalen« Alterns in

Mitleidenschaft gezogen werden (Hasher & Zacks, 1988). Die selektive Aufmerksamkeit zeigt demnach Alterseffekte, weil nicht mehr hinreichend genau zwischen relevanter und irrelevanter Information differenziert werden kann bzw. im Sinne der Flexibilität: weil nicht mehr schnell genug zwischen relevanter und irrelevanter Information umgeschaltet werden kann.

Am anderen Ende des Kontinuums, dessen einer Pol in der übermäßigen Ablenkbarkeit (Distraktibilität) endet, liegt das Beharrungsvermögen (Perseverationsneigung), das gleichermaßen zu Fehlleistungen hinsichtlich der Aufgabe Reaktionswechsel führt.

Es ist nicht einfach einzusehen, auf welcher kognitiven Ebene ausgeprägte Perseverationstendenzen zu Fehlleistungen führen müssen, da – wie oben beschrieben – eine Vielzahl mit dem Altern assoziierter Einflüsse denkbar sind. Ob sie nun durch das Festhalten am Zielreiz oder das beharren an rigiden Handlungsschema oder – wahrscheinlicher noch – durch beides manifestiert sind, kann ohne eine experimentelle Untersuchung nicht entschieden werden.

Die mit zunehmendem Alter größer werdende Neigung zur Perseveration und die altersbezogene Verminderung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit können jedoch als Ursachen für den beobachteten Strategiewechsel in Betracht gezogen werden, wonach jüngere Untersuchungsteilnehmer eine Strategie verfolgen, die durch ein eher ausgeglichenes Verhältnis von Geschwindigkeit und Genauigkeit gekennzeichnet ist, während ältere Untersuchungsteilnehmer eher vorsichtig oder konservativ vorgehen (der Genauigkeit zulasten der Geschwindigkeit den Vorzug geben). Dieses findet durchaus auch seine Entsprechung bei flexiblen Handlungserfordernissen des Alltags, wenn sich ältere Autofahrer beispielsweise langsamer im Straßenverkehr bewegen oder mehr Zeit beim Eintritt in das Verkehrsgeschehen lassen.

Dabei ist der Vollzug hin zu einer vorsichtigen Strategie bei älteren Menschen offenbar so universell, dass keiner der anderen Faktoren außer dem des Alters einen Einfluss auf den Strategiewechsel nimmt.

Der Bildungseinfluss scheint sich auf recht unterschiedliche Weise in den Aufgabenparametern niederzuschlagen (vgl. Punkt 5). Eine hohe Ausbildungsdauer gewährt durchschnittlich zunächst einmal einen gewissen Vorteil hinsichtlich der Leistungsfähigkeit. Testpersonen mit hoher formaler Ausbildungsdauer sind im Mittel sowohl schneller als auch genauer. Die kombinierten Betrachtung der Leistungsfähigkeit zeigt sogar einen beschleunigten Vorteil, der sich jedoch asymptotisch einer mittleren Maximalleistung nähert. Da auch hier keine Geschlechtseffekte sichtbar werden, kann angenommen werden, dass die Konfundierung der Ausbildungsdauer mit dem Geschlecht nur eine untergeordnete Rolle spielt. In der Regel hatten Männer dieser Generation eher den Zugang zu einer überdurchschnittlichen Ausbildung.

Wie können nun aber die beobachteten Bildungseffekte interpretiert werden?

Es muss davon ausgegangen werden, dass der Einfluss der Ausbildung sowohl direkt als auch indirekt erfolgen kann.

Es ist offensichtlich, dass ältere Testteilnehmer mit hoher formaler Ausbildung in der Vergangenheit weitaus eher in Beschäftigungsverhältnissen standen, die ein hohes Maß an kognitiven Kompetenzen voraussetzten, zumal es sich bei den Untersuchungsteilnehmern der Stichprobe fast ausnahmslos um ehemalige Angestellte der pharmazeutischen Industrie handelt. Der Anteil der Selbständigen ist dementsprechend verschwindend gering.

In Verbindung mit Berufen, die hohe kognitive Anforderungen stellen, kann einerseits auf ein intensives und andauerndes Training kognitiver Teilleistungen geschlossen werden, andererseits wurde gerade diese Gruppe auch am stärksten mit der Beschleunigung der technischen Innovationen vergangener Jahrzehnte konfrontiert, so dass eine stetige Auseinandersetzung mit veränderten Arbeitsbedingungen notwendig war. Dies gilt insbesondere auch für den Umgang mit digitalen Computern, die für große Teile der älteren Generation noch nicht zum alltäglichen Gebrauch gehörten, wenn sie nicht einer Berufsgruppe zuzurechnen waren, die den Gebrauch der Geräte erzwang.

Es sind demnach sowohl die direkten Einflüsse des andauernden kognitive Trainings einerseits als auch die eher indirekten motivationalen Faktoren, wie, Vertrautheit mit Rechnersystemen und Offenheit gegenüber neuen und unbekanntem Aufgaben andererseits, die mit der formalen Ausbildungsdauer assoziiert sind und einen kombinierten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit ausüben, die ältere Testteilnehmer bei der Aufgabe Reaktionswechsel zeigen.

## **Geteilte Aufmerksamkeit – Auslassungen**

### *Deskription der Auslassungen*

Die Anzahl der ausgelassenen Zielreize (visuell: Quadrat vs. auditiv: zwei aufeinanderfolgende Töne der selben Frequenz) ist am besten durch jeweils einen Haupteffekt des Alters ( $\beta = 0,319$ ;  $p < 0.001$ ) und der Ausbildungsdauer ( $\beta = -0,129$ ;  $p = 0.001$ ) vorhersagbar. Eine Box-Cox Transformation mit  $\lambda = 0,38$  führt zu einer optimalen Anpassung an die Normalverteilung.

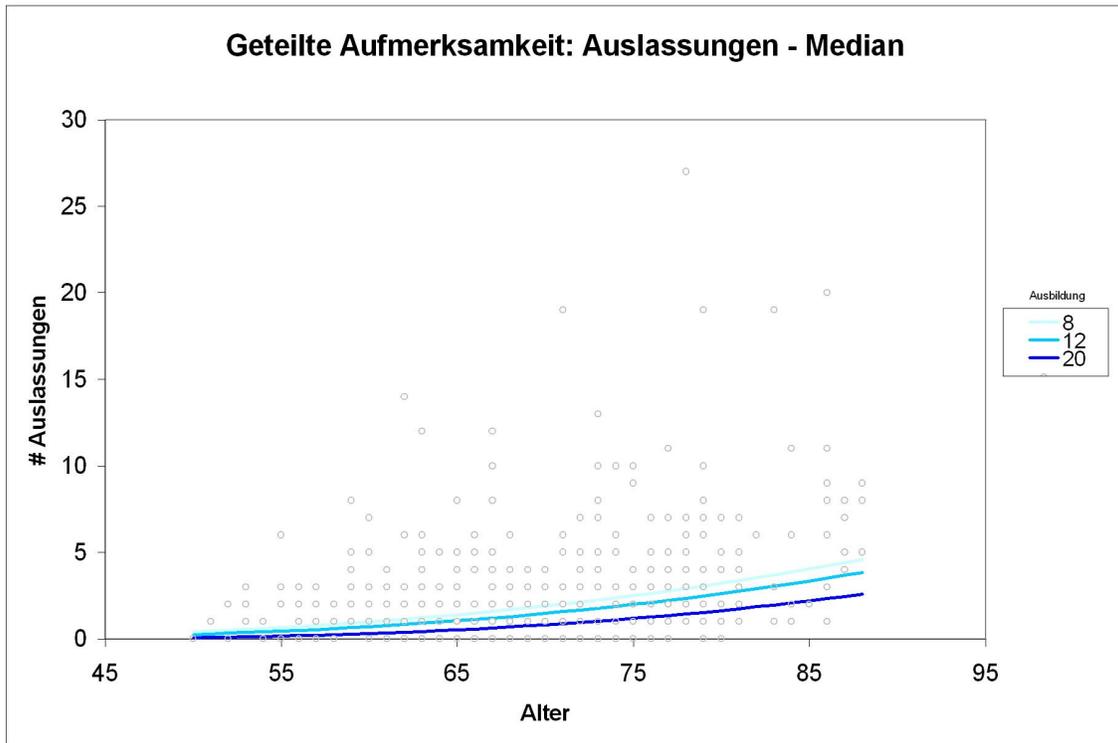
Generell führt der Altersprozess zu einer Verschlechterung der Performanz, während eine hohe Ausbildung – vergleichbar mit den Beobachtungen bzgl. des Reaktionswechsels – dem entgegenzuwirken in der Lage ist. Erneut spielt das Geschlecht keine Rolle bei der Vorhersage.

Zwischen dem 50. und 88. Lebensjahr ist – im Kontext einer Ausbildungsdauer von 8,12 und 20 Jahren – eine durchschnittliche Verschlechterung um rund 4.2, 3.6 und 2.5 Auslassungen zu beobachten. Dabei kann in Abhängigkeit der Ausbildungsjahre ein Ausgangsniveau (50 Jahre) von durchschnittlich 0.41, 0.25 und 0.07 Auslassungen erwartet werden. Der Einfluss der Ausbildung auf die Performanz in einer »Geteilten Aufmerksamkeit« - Aufgabe spiegelt sich auch in Tabelle 23 wider.

Zu den Angehörigen des oberen Quartils der Gesamtstichprobe werden ausschließlich Testteilnehmer mit 0 Auslassungen gerechnet. Hingegen werden alle Untersuchungsteilnehmer mit 4 und mehr Auslassungen dem unteren Quartil zugeordnet. Die relativen Häufigkeiten der beiden Gruppen weichen aufgrund der diskreten Daten von 25% ab. So befinden sich jeweils nur 20% bzw. 19% aller Testteilnehmer in einer von beiden Gruppen.

Unter den Angehörigen des oberen Quartils nimmt die Ausbildungsdauer pro Dekade um durchschnittlich 1,8 Monate zu, während die mittlere Zunahme der Ausbildungsdauer unter den Angehörigen des unteren Quartils lediglich 0,4 Monate/Dekade beträgt. D.h. mit zunehmendem Alter nimmt die Bedeutung der formalen Ausbildungsdauer zu, wenn man von einem Testteilnehmer erwartet, dass er die Aufgabe »Geteilte Aufmerksamkeit« ohne Auslassung bewältigt. Umgekehrt scheint die Ausbildung unter den Angehörigen des unteren Quartils keine große Rolle zu spielen (siehe Tab. 23). Trifft man eine Zuordnung zum unteren bzw. oberen Quartil hingegen alleine auf der Basis von Altersgruppen, so besteht bei 50-59jährigen noch eine 30% Wahrscheinlichkeit, dass sie sich unter jenen Testteilnehmern befinden, die die Aufgabe mit 0 Auslassungen bewältigen. Mit jeder Dekade nimmt diese Wahrscheinlichkeit jedoch um ca. 8% ab. Umgekehrt nimmt der Anteil derer, die dem unteren Quartil zuzurechnen sind pro Dekade um ca. 15% zu, so dass 52% aller

Testteilnehmer zwischen 80 und 89 Lebensjahren schließlich zwischen 4 und 27 Fehler aufweisen (vgl. Abb. 48).



**Abbildung 47 – Altersgradient (AUSLASSUNGEN) der Aufgabe »Geteilte Aufmerksamkeit« in Abhängigkeit dreier unterschiedlicher Ausbildungsdauern (8, 12, 20 Jahre) vor dem Hintergrund individueller Datenpunkte der Gesamtstichprobe**

*Tabelle 22 - Absoluter und Relativer Anteil des unteren und oberen Quartils bzgl. »Geteilten Aufmerksamkeit« (AUSLASSUNGEN) an der Gesamtstichprobe stratifiziert nach Alterskohorten.*

Altersgruppen		oberes Quartil	unteres Quartil	Total
50-59	abs. Häufigkeit	22	4	73
	rel. Häufigkeit	30%	6%	100%
60-69	abs. Häufigkeit	58	31	240
	rel. Häufigkeit	24%	13%	100%
70-79	abs. Häufigkeit	37	54	233
	rel. Häufigkeit	16%	23%	100%
80-89	abs. Häufigkeit	3	24	46
	rel. Häufigkeit	7%	52%	100%
Total	abs. Häufigkeit	120	113	592
	rel. Häufigkeit	20%	19%	100%

Tabelle 23 – Mittlere Ausbildungsdauer von Testteilnehmer des unteren bzw. oberen Quartils bzgl. der »Geteilten Aufmerksamkeit« (AUSLASSUNGEN) stratifiziert nach Alterskohorten

Alterskohorte	oberes Quartil	unteres Quartil	Total
	mittlere Ausbildungsdauer		mittlere Ausbildungsdauer
50-54	12,83	11,50	11,87
55-59	11,44	11,64	11,66
60-64	12,27	11,35	11,83
65-69	12,81	11,95	12,45
70-74	13,55	12,19	12,45
75-79	12,00	11,92	12,84
80-84	13,00	11,17	12,13
85-89	12,64	11,78	11,53
<b>Total</b>	<b>12,83</b>	<b>11,50</b>	<b>12,29</b>

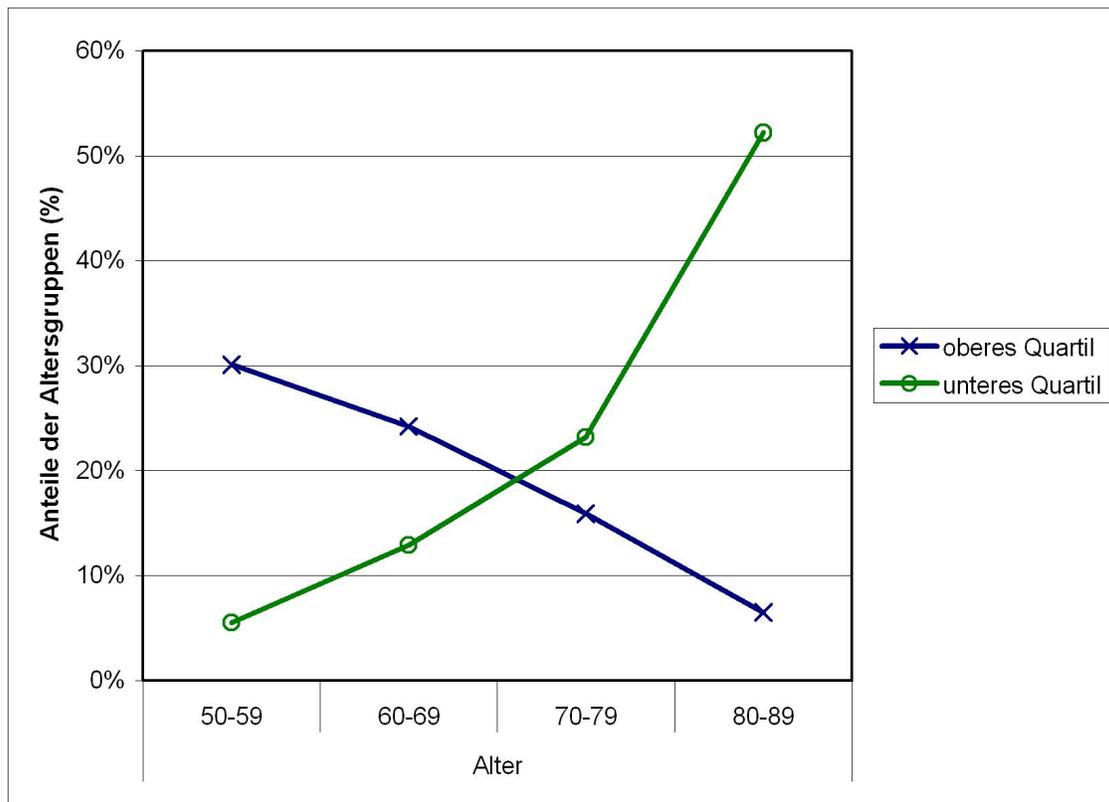


Abbildung 48 – Relativer Anteil der jeweiligen Altersgruppen am unteren und oberen Quartil der Aufgabe »Geteilte Aufmerksamkeit« (Auslassungen)

Wie zu erwarten, können auch hinsichtlich der »Geteilten Aufmerksamkeit« Testpersonen beobachtet werden, die, gemessen am Lebensalter, zu hervorragenden Leistungen fähig sind. So lassen sich beispielsweise zwei Männer (ID 597; ID 3219) und eine Frau (ID 878) identifizieren, die im fortgeschrittenen Alter von 80 Jahren die Aufgabe ohne jeden Fehler bewältigen. Dabei erstreckt sich deren formale Ausbildungsdauer beinahe über die gesamte Spannweite von 8 über 12 bis 19 Jahren.

### *Differentielles Altern der Geteilten Aufmerksamkeit*

Grundsätzlich zeigt die Verteilung der ausgelassenen Zielreize hinsichtlich der zugrundeliegenden Stichprobe folgende mittlere Charakteristika:

1. Sowohl Alter und Ausbildung sind kurvi-linear mit der Leistungsfähigkeit der zugrundeliegenden »Geteilten Aufmerksamkeitsaufgabe« assoziiert, wobei dem Faktor Alter ein mehr als doppelt so großes Gewicht gegenüber der Anzahl der formalen Ausbildungsjahre zukommt. Durchschnittlich hat das Alter einen umso größeren negativen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit, desto weniger Ausbildungsjahre die Testpersonen aufweisen (vgl. Abb. 47).
2. Es können weder Geschlechtseffekte noch Interaktionen festgestellt werden, d.h. das resultierende Modell weist eine schlichte Struktur auf. Wie der Varianzanteil des Modells von  $R^2 = 11,2\%$  an der Gesamtvariabilität jedoch zeigt, bleiben  $88,8\%$  der Varianz unaufgeklärt.
3. Die sichtbare Verteilung der Datenpunkte entlang des Altersquerschnitts beschreibt in Abb. 47 eine dreieckige Fläche mit der scheinbar geringsten Variabilität seitens der jüngsten Testteilnehmer und der größten Variabilität seitens der ältesten Testteilnehmer. Dass dieses Erscheinungsbild jedoch ein Artefakt aufgrund der diskreten Daten und einiger Ausreißer bzw. Extremwerte ist, zeigt der in der Verteilung beobachtbare Modus von 1 bzw. die Tatsache, dass  $78,7\%$  aller Testteilnehmer zwischen 0 und 2 Auslassungen unterlaufen. In der Tat ist eine altersabhängige Variabilität der Testkennwerte so gut wie ausgeschlossen ( $\beta = 0,002$ ;  $p = .991$ , vgl. Anhang A).  $\beta$  ist die gewichteten Korrelation zwischen Standardabweichungen adjustierter z-Werte der Alterskohorten mit dem jeweiligen Kohortendurchschnittsalter. Das Maß lässt sich analog der Produkt-Moment Korrelation interpretieren.

Der Vergleich von Angehörigen des oberen Quartils vs. des unteren Quartils lässt folgendes erkennen:

4. Oberhalb des 80. Lebensjahrs ist es keinem der Testteilnehmer möglich die Aufgabe mit 0 Auslassungen zu bewältigen.
5. Die Ausbildungsdauer ist für die Zugehörigkeit zum oberen Quartil bedeutend und nimmt mit dem Alter zu, während sie unter den Teilnehmern des unteren Quartils keine große Rolle spielt.
6. Die relative Häufigkeit der Testteilnehmer, die dem unteren Quartil zuzuordnen sind, wächst – verglichen mit der Abnahme des oberen Quartils – mit dem Alter nahezu doppelt so schnell an.

Aus den empirischen Beobachtungen folgt, dass die Leistungsfähigkeit hinsichtlich der zwei zugleich ausgeführten und strukturell interferenzfreien Aufgaben (Detektion von Quadraten – visuell, und Tonfolgen – auditiv; Dual Task) mit dem Alter durchschnittlich eine Verminderung erfährt. Das strukturell relativ einfache Modell und sein eher geringer Anteil an der Gesamtvarianz verdeutlichen u.U. den Basischarakter, der dieser kognitiven Funktion bei gesunden Personen zukommt (vgl. Punkt 1. und 2.).

Die durchschnittlich große Homogenität der Daten entlang des Altersquerschnitts (vgl. Punkt 3.) scheint in einem sonderbaren Widerspruch zur asymmetrischen Zu-/Abnahme der »Randstichproben« (oberes vs. unteres Quartil) zu stehen (vgl. Punkt 6.). In der Tat lässt sich aber die Asymmetrie alleine auf einen überproportionalen Zuwachs des unteren Quartils seitens der betagten Testpersonen in der 8. Lebensdekade zurückführen (vgl. Abb. 48). Die durchschnittliche altersbezogene Zunahme des unteren Quartils unter Auslassung jener hochbetagten Testpersonen (ca. 9%/Dekade) steht mit der Abnahme im oberen Quartil in einem ausgeglichenen Verhältnis (ca. 8%/Dekade). Dies lässt darauf schließen, dass sich im 8. Lebensjahrzehnt ein Leistungseinbruch vollzieht, der hauptsächlich zulasten des »mittleren« Leistungsbereiches geht.

Der eher geringe Stichprobenumfang des unteren Quartils (19% der Gesamtstichprobe) führt bei grundsätzlich jeder Analyse zu einer höheren Gewichtung der Ausreißer bzw.

Extremwerte. Somit reflektieren die Beobachtungen des unteren Quartils zu einem guten Teil den Einfluss jener Ausreißer und dies umso mehr das rechte Ende des Altersquerschnitts (Hochbetagte) erreicht wird. Der Begriff des Ausreißers ist jedoch ausschließlich technisch-statistischer Natur, und sagt nur etwas bzgl. eines Einzeldatenpunktes relativ zu den zentralen Verteilungskennwerten aus. Bewertet man diese Beobachtung jedoch als Resultat bestimmter altersabhängiger oder mindestens altersassoziiertes Prozesse, dann ergibt sich

in der Perspektive des differentiellen Alterns, dass mit zunehmend höherem Alter die Neigung weniger Testpersonen zu extremen Testresultaten steigt.

Die Ausbildungsdauer ist mit einer höheren Leistungsfähigkeit assoziiert. Durchschnittlich gilt: je höher die Anzahl formaler Ausbildungsjahre, desto geringer ist die Anzahl der Auslassungen (vgl. Punkt 1.). In Bezug auf die »Randgruppen« kann jedoch ein differentieller Effekt beobachtet werden. Hier ist die Ausbildung ausschließlich für den Verbleib im oberen Quartil bedeutsam, und das umso mehr, je älter die Testteilnehmer sind (vgl. Punkt 5.). Offenbar vollzieht sich entlang des Altersquerschnittes eine Selektion zugunsten von Testpersonen mit vergleichsweise hoher formaler Ausbildungsdauer (»Selektiver Drop-Down«).

## TAS- Auslassungen

### *Deskription der Auslassungen*

Die PRESS-Statistik wählt hinsichtlich der Variablen AUSLASSUNGEN ein Modell aus, das durch die Haupteffekte Alter ( $\beta = 0.30$ ;  $p < 0.001$ ), Geschlecht ( $\beta = -0.13$ ;  $p = 0.002$ ) und Ausbildung ( $\beta = -0.13$ ;  $p = 0.002$ ) gekennzeichnet ist. Dabei besitzt das Alter mehr als einen doppelt so großen Effekt, als die Prädiktoren Ausbildung und Geschlecht zusammen. Die Daten wurden mittels einer Box-Cox Transformation mit  $\lambda = 0.58$  an die Normalverteilung angenähert.

Die zusätzliche Berücksichtigung des Geschlechtsfaktors macht eine differenzierte Betrachtung sechs unterschiedlicher Medianverläufe bei der herkömmlichen dreistufigen Ausprägung des Faktors Ausbildungsdauer (8, 12, 20 Jahre) notwendig. Dabei kann zunächst einmal festgestellt werden, dass Frauen mit vergleichbarer Ausbildungsdauer den Männern grundsätzlich überlegen sind (siehe Abb. 49). Der Median der AUSLASSUNGEN entlang des Altersquerschnittes verhält sich in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildungsdauer wie aus Tabelle 24 zu entnehmen ist.

*Tabelle 24 – Veränderung des Auslassungsmedian in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildung entlang des Altersquerschnitt ( $M_{Alter}$  = Median der jeweiligen Alterskohorte)*

<b>Geschlecht</b>	<b>Ausbildungsdauer (Jahre)</b>	<b>Ausgangsniveau (<math>M_{50}</math>)</b>	<b>Querschnittsdifferenz (<math>M_{88}-M_{50}</math>)</b>
Frauen	8	1.0	3.9
	12	0.7	3.6
	20	0.3	3.0
Männer	8	1.5	4.3
	12	1.2	4.1
	20	0.6	3.5

Es ist demnach zu erwarten, dass sich Frauen zwischen dem 50. und 88. Lebensjahr im Querschnitt je nach Ausbildungsdauer um 3 bis 4 AUSLASSUNGEN verschlechtern, während bei Männern bzgl. der selben Altersspanne eine Verschlechterung zwischen 3.5 bis ca. 4.5 AUSLASSUNGEN beobachtet werden kann. Dabei zeigt sich im Mittel (Median) bei Frauen bereits mit 50. Lebensjahren eine Überlegenheit gegenüber den Männern. Aufgrund der rechtsschiefen Verteilung der diskreten AUSLASSUNGEN ergeben sich erneut Abweichungen von den Quartilen. Unter den Testpersonen, die dem oberen Quartil zuzurechnen sind (0 oder 1 Auslassung) befinden sich 31% der Gesamtstichprobe, während zu den Angehörigen des unteren Quartils (5 bis 14 AUSLASSUNGEN) gemäß dem Auswahlverfahren 24% der Testpersonen zugerechnet werden müssen.

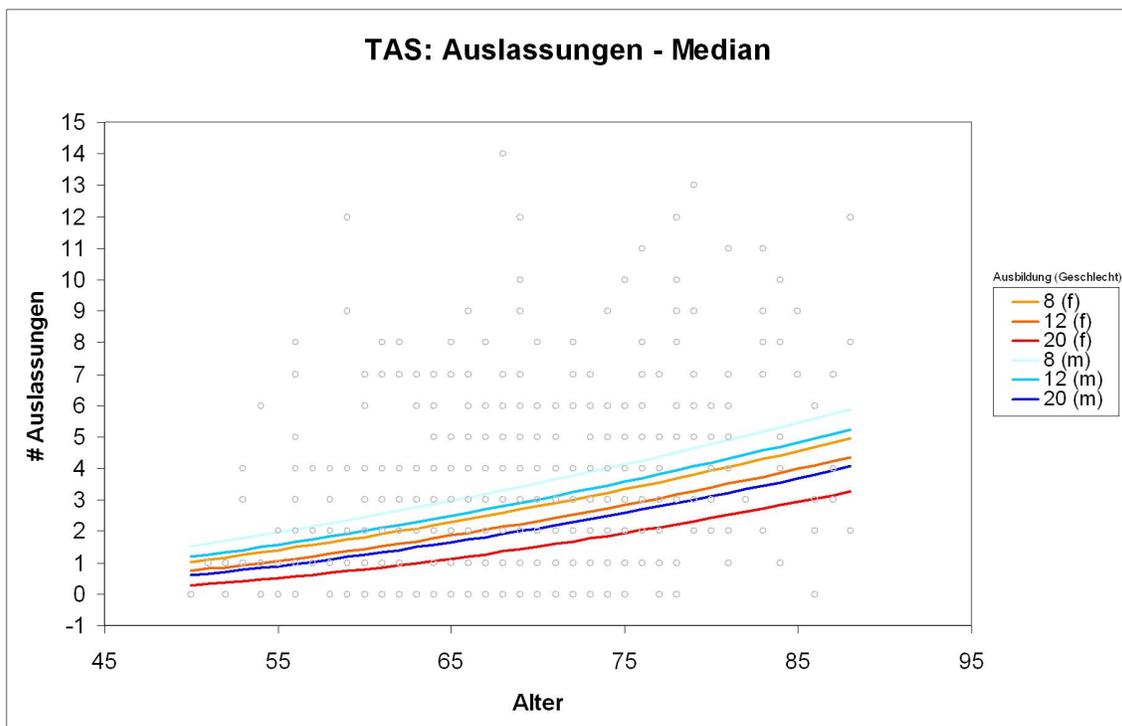
Der Anteil der Testpersonen des oberen Quartils schrumpft von Dekade zu Dekade um durchschnittlich 14,7%, so dass nur noch ein Anteil von 7% aller 80-89jährigen unter denjenigen Testpersonen verbleiben, die die Aufgabe entweder mit 0 oder 1 AUSLASSUNG bewältigen. Umgekehrt nimmt der Anteil unter den Angehörigen des unteren Quartils in etwa dem selben Ausmaß (13,8%) pro Dekade zu, so dass schließlich 52% aller 80-98jährigen dieser Gruppe zuzurechnen sind. Die altersassoziierte Leistungsverschlechterung scheint sich im Querschnitt demnach sehr gleichförmig zu vollziehen. In demselben Maß, wie Testpersonen aus der leistungsstarken Gruppe »herausfallen«, kommen andere Testpersonen zur Gruppe der Leistungsschwachen hinzu.

Aufgrund der durchweg höheren Leistungsfähigkeit der Frauen ist sogar anzunehmen, dass Frauen im Querschnitt eher verzögert und Männer eher beschleunigt leistungsbezogen »abgleiten«.

Die Ausbildungsdauer spielt hinsichtlich der Zuordnung zum oberen Leistungsquartil nur eine geringe Rolle; gleichsam belanglos ist sie für die Gruppe, die dem unteren Quartil zuzuordnen ist. Die durchschnittliche Ausbildungsdauer steigt unter den Angehörigen des oberen Quartils pro Dekade um ca. 2.5 Monate an, so dass zwischen den jüngsten und ältesten Testteilnehmern dieser Gruppe ein Bildungsgefälle von etwa einem Jahr zugunsten der Älteren herrscht. Der Einfluss der Bildung auf jene Testpersonen, die dem unteren Quartil zuzurechnen sind, ist demgegenüber um einen Faktor 10 geringer und damit defakto vernachlässigbar.

*Tabelle 25 - Absoluter und relativer Anteil des unteren und oberen Quartils bzgl. der Aufgabe TAS g. (AUSLASSUNGEN) an der Gesamtstichprobe stratifiziert nach Alterskohorten.*

Altersgruppen	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Total
50-59 abs. Häufigkeit	38	6	72
rel. Häufigkeit	53%	8%	100%
60-69 abs. Häufigkeit	79	48	234
rel. Häufigkeit	34%	21%	100%
70-79 abs. Häufigkeit	62	63	237
rel. Häufigkeit	26%	27%	100%
80-89 abs. Häufigkeit	3	24	46
rel. Häufigkeit	7%	52%	100%
Total abs. Häufigkeit	182	141	589
rel. Häufigkeit	31%	24%	100%



**Abbildung 49 – Altersgradient (AUSLASSUNGEN) der Aufgabe TAS g. in Abhängigkeit dreier unterschiedlicher Ausbildungsdauern (8, 12, 20 Jahre) und Geschlecht vor dem Hintergrund individueller Datenpunkte der Gesamtstichprobe**

Tabelle 26 – Mittlere Ausbildungsdauer von Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils bzgl. der Auslassungen in der Aufgabe TAS stratifiziert nach Alterskohorten

Alterskohorte	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Total
	mittlere Ausbildungsdauer		mittlere Ausbildungsdauer
50-54	12,09	13	11,79
55-59	11,59	11,2	11,66
60-64	12,03	11,13	11,84
65-69	12,47	11,7	12,41
70-74	12,77	11,97	12,45
75-79	13,4	12,65	12,91
80-84	14	11,63	12,13
85-89	11	11,88	11,73
<b>Total</b>	<b>12,41</b>	<b>11,91</b>	<b>12,3</b>

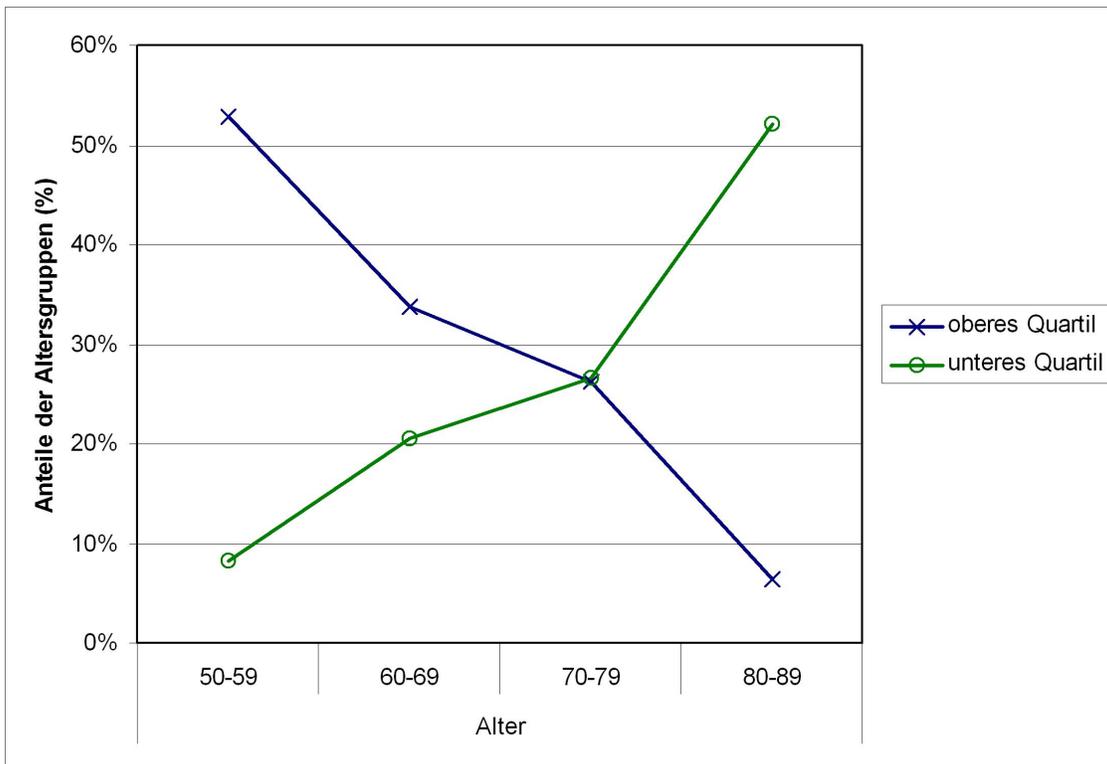


Abbildung 50 – Relativer Anteil der jeweiligen Altersgruppen am unteren und oberen Quartil der Aufgabe TAS g. (Auslassungen)

### *Differentielles Altern der Daueraufmerksamkeit*

Die Aufgabe TAS ist als Daueraufmerksamkeitsaufgabe mit mäßiger »Working Memory Load« charakterisierbar. Die Belastung des Arbeitsgedächtnis ist eine Folge der Erfordernis Farbe und Form der dargebotenen Symbole durchgangsübergreifend im Gedächtnis halten zu müssen. Die Anzahl der Zielreize ist dabei relativ selten gehalten, was für diese Art von Aufgaben typisch ist. Grundsätzlich sind bei der Beurteilung von Daueraufmerksamkeitsleistungen Vigilanzniveau und –dekrement von Interesse. Sie lassen sich am besten durch sog. »Lapses of Attention« (AUSLASSUNGEN) abbilden. Daueraufmerksamkeitsleistungen wurden in der Literatur zunächst uneinheitlich beurteilt. Giambra (1993) weist jedoch auf die Abhängigkeit der Alterseffekte von drei Aufgabenfaktoren hin: »Working Memory Load«, Darbietungsdauer und perzeptuelle Diskriminabilität.

Hinsichtlich der Gesamtverteilung der AUSLASSUNGEN sind folgende Beobachtungen festzuhalten:

1. Grundsätzlich gilt, dass Frauen gleichen Alters und Ausbildungsdauer Männern überlegen sind. Sie lassen weniger kritische Reize aus. Auch ist eine hohe Ausbildungsdauer – wie zuvor – mit einer besseren Leistung assoziiert. Demgegenüber ist der Einfluss des Alters zum einen negativ mit der Anzahl der Auslassungen korreliert – mit leicht kurvi-linearem Verlauf entlang des Querschnitts – und zum anderen ist sein Einfluss mehr als doppelt so stark, verglichen mit jenem des Geschlechts und der formalen Ausbildungsdauer.
2. Erneut ist das resultierende Modell frei von Interaktionen und weist lediglich Haupteffekte auf. Neu ist jedoch im Vergleich zum »Reaktionswechsel« und der »Geteilten Aufmerksamkeit«, dass ein Geschlechtseffekt beobachtet werden kann, demzufolge Frauen über eine höhere durchschnittliche Leistungsfähigkeit verfügen. Dennoch ist das Modell sehr einfach strukturiert und erklärt lediglich 11,7% der Gesamtvarianz.
3. Augenscheinlich scheint die Streuung der Auslassungen entlang des Altersquerschnittes zuzunehmen. Jüngere Testteilnehmer scheinen untereinander homogenere Leistungen zu erbringen als etwa Ältere. Kein Testteilnehmer unter 59 Jahren weist mehr als 8 Fehler auf, während eine Vielzahl von Testpersonen ab 68 bis zu 14 Auslassungen erreichen. Insgesamt erweist sich diese scheinbare altersbezogene Varianzzunahme jedoch als Trugschluss, zumal die altersbezogene Varianzveränderung vernachlässigbar ist ( $\beta = -.059$ ;  $p=.734$ ; vgl. Anhang A). Das Maß ergibt sich aus der gewichteten

Korrelation zwischen Standardabweichungen adjustierter z-Werte der Alterskohorten mit dem jeweiligen Kohortendurchschnittsalter.

Die Betrachtung der »Randgruppen« führt zu folgenden Feststellungen:

4. Oberhalb des 78. Lebensjahres erreicht lediglich eine Testperson mit 86 Lebensjahren ein Testresultat mit 0 AUSLASSUNGEN (ID 1544). Und Zwei weitere - jeweils im 81. (ID 5774) und 84. (ID 3207) Lebensjahr – beantworten lediglich einen Zielreiz nicht. Eine extrem hohe Anzahl an AUSLASSUNGEN kann dagegen häufiger beobachtet werden.
5. Erneut kann die Beobachtung gemacht werden, wonach der formalen Ausbildungsdauer lediglich hinsichtlich einer der beiden Gruppen eine Bedeutung im Altersquerschnitt zukommt. Offensichtlich findet – vergleichbar mit den Beobachtungen bzgl. der »Geteilten Aufmerksamkeit« - mit zunehmendem Alter ein *selektiver »Drop-Down«* bei den Angehörigen des oberen Leistungsquartils statt. So dass sich unter den Hochbetagten schließlich nur noch Testteilnehmer mit längerer formaler Ausbildungsdauer befinden, während geringer »Ausgebildete« schon früher ein deutlicheres Leistungsdekrement zeigen und damit aus der Gruppe der leistungsstarken Testteilnehmer herausfallen. Umgekehrt lässt sich jedoch ein vergleichbarer Effekt unter den Angehörigen des unteren Leistungsquartils nicht beobachten. Denn unter der Annahme derselben Prämissen müsste ein ähnlicher Effekt auch hinsichtlich dieser Gruppe beobachtbar sein. Vielmehr spielt hier die Ausbildungsdauer aber keine bedeutende Rolle.
6. Die altersbezogene Abnahme der Testteilnehmer im oberen Quartil entspricht in Etwa der altersbezogenen Zunahme der Testteilnehmer des unteren Quartils, so dass sich die altersbezogenen Veränderungen in beiden Gruppen ausbalancieren. Dies deutet darauf hin, dass sich die kognitiven Leistungsdekremente relativ gleichförmig über den Querschnitt entwickeln.

Unabhängig von Geschlecht und Ausbildungsdauer lässt die Leistungsfähigkeit bei Aufgaben mit langfristiger Aufmerksamkeitszuwendung im Zuge des Alterns nach, insbesondere dann, wenn die betreffende Aufgabe darüber hinaus mit einer Belastung des Arbeitsgedächtnisses verbunden ist (Vgl. Punkt 1.). Geschlecht und formale Ausbildungsdauer tragen zu differentiellen Effekten bei, indem Frauen grundsätzlich Männern überlegen sind und eine längere formale Ausbildungsdauer mit einer höheren Leistungsfähigkeit assoziiert ist. Die Tatsache, dass Frauen statistisch bedeutend bessere Resultate erzielen als Männer (vgl. Punkt 2.) kontrastiert mit den Beobachtungen hinsichtlich der kognitiven Flexibilität (KF, gemessen durch den Reaktionswechsel) und der »Geteilten Aufmerksamkeit« (GA).

Es bleibt zu überprüfen inwiefern folgende Hypothese berechtigt ist:

- *Annahme*: Bei Aufmerksamkeitsprozessen handelt es sich um Leistungen »fest verdrahteter« Netzwerke. Insofern eine funktionelle und geschlechtsspezifische neuromorphologische Differenzierung ausgeschlossen werden kann, sollten Aufgaben deren Leistungsvarianz zu großen Teilen auf die Tätigkeit dieser Netzwerke zurückzuführen ist, frei von Geschlechtseffekten sein.
- Bzgl. der Aufgabe TAS g. lassen sich nun deswegen Geschlechtseffekte beobachten, da die resultierende Leistungsvarianz maßgeblich von anderen, als nur den für die neuronale Verarbeitung aufmerksamkeitsregulierenden funktionellen Netzwerken abhängt und da diese Netzwerke zugleich geschlechtsspezifische Differenzen aufweisen. Diese möglicherweise geschlechtsspezifischen funktionellen Domänen können neben Aspekten der sensorischen Wahrnehmung andere, wie motivationale oder emotionale Einflussfaktoren umfassen, die für die Aufrechterhaltung und Ausrichtung des Aufmerksamkeitsfokus relevant sind.
- Dabei ist es gleichgültig, ob die auf diese zusätzlichen Netzwerke zurückzuführenden geschlechtsspezifischen Differenzen phylogenetisch determiniert (Genotyp) oder ontogenetisch in einer geschlechtsspezifischen Weise modifiziert (Phänotyp) sind.

Ähnlich den Beobachtungen zur »Geteilten Aufmerksamkeit« erweist sich die altersbezogene Varianzerweiterung auch hier im Mittel als nicht bedeutend. Es ist jedoch augenscheinlich erkennbar, dass sich jenseits des 65. Lebensjahres eine deutliche Zunahme extremer Werte beobachten lässt (vgl. 3) und sich oberhalb des 79. kaum noch Personen im oberen Leistungsquartil befinden (vgl. 4). Gleichwohl scheint es, als lasse sich entlang des Alterquerschnitts eine homogene Ab- bzw. Zunahme von Testpersonen im oberen bzw. unteren Quartil beobachten (vgl. Punkt 6). Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass das Ausmaß, mit dem der Anteil der Testpersonen im unteren Quartil wächst, aufgrund eines überproportionalen Einbruchs seitens der Hochbetagten (8. Dekade) überschätzt ist. Erneut (vgl. »Geteilte Aufmerksamkeit«, S. 145 und Reaktionswechsel Median, S. 122) kann eine *beschleunigte Leistungsverringering unter den Hochbetagten (80-89 Lebensjahre)* zulasten des »mittleren« Leistungsbereiches festgestellt werden. Die Auswirkungen, die diese Beschleunigung auf die altersabhängige Verteilung der Personen in den unteren und oberen Quartilen der Auslassungen hat stehen jedoch den Auswirkungen derselben Verteilung hinsichtlich der »Geteilten Aufmerksamkeit« diametral entgegen: dort kann nämlich zunächst einmal eine asymmetrische Veränderung der Altersgruppen zwischen den unteren und oberen Quartilen beobachtet werden. Erst die Berücksichtigung der 80-89jährigen zeigt, dass diese Asymmetrie ausschließlich infolge des beschleunigten Leistungseinbruchs auftritt

(in Bezug zur Aufgabe TAS g. zeigt sich dasselbe jedoch im Hinblick auf die scheinbare Veränderungssymmetrie!).

## **Abrufmaße im CVLT**

### *Deskription der Gesamtanzahl abgerufener Wörter über fünf Listendurchgänge (T1\_T5)*

Das durch die PRESS-Statistik ermittelte optimale Modell zur Vorhersage der Performanz bzgl. der CVLT-Variablen T1\_T5 basiert auf drei Haupteffekten und zwei Interaktionen. Alter ( $\beta = -0.32$ ;  $p < 0.001$ ), Geschlecht ( $\beta = 0.38$ ;  $p < 0.001$ ) und Ausbildung ( $\beta = 0,17$ ;  $p < 0.001$ ) gehen jeweils als Haupteffekte ein. Darüber hinaus kann jedoch eine Geschlecht×Ausbildung ( $\beta = 0,09$ ;  $p = 0.082$ ) und eine Ausbildung×Alter Interaktion ( $\beta = 0,09$ ;  $p = 0.075$ ) gefunden werden. Beide Interaktionen verfügen über eine vergleichsweise geringe Effektstärke und lassen sich hinsichtlich des  $\alpha$ -Fehlers nicht gegen den Zufall absichern. Dies ist – um es erneut in Erinnerung zu rufen – auch nicht vorrangig von Bedeutung. Schließlich werden die jeweiligen Modelle nach Ihrer prädiktiven Valenz und nicht, wie meist üblich, nach ihrem »Fit« (Optimum zwischen minimaler Anzahl von Parametern und größtmöglicher Varianzaufklärung) gewählt.

Die größte Vorhersagekraft kommt den Parametern Alter und Geschlecht zu. Die Ausbildung nimmt einen mittleren Rang hinsichtlich der Effektstärken der jeweiligen Parameter ein. Die Interkorrelation zwischen dem Geschlecht mit Ausbildung und Alter in der Stichprobe hat vermutlich maßgeblich zu der Modellwahl mit den beiden Interaktionstermen beigetragen. Insofern besteht hier die Gefahr eines Artefaktes. Andererseits kann jedoch nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, dass ein statistischer Zusammenhang zumindest zwischen Alter und Ausbildung Ausdruck eines fundamentalen Kohorteneffektes ist (vgl. S. 110). Die Rohwerte sind einer Arcussinus Transformation und einer vorweggegangenen linearen Transformation der Form  $(13 \cdot T1\_T5 - 511)/530$  unterzogen worden, um die Daten im diagnostisch relevanten Teil der Verteilung an eine Standardnormalverteilung anzunähern. Der Verlauf des Gradienten ist demzufolge näherungsweise linear, für Männer jedoch steiler als für Frauen.

Die Performanzdifferenz bzgl. der Altersspannweite von 50-88 Jahren ist bei Frauen gegenüber Männern geringer ausgeprägt (durchschnittlich halb so groß) und zeigt – entgegen der Daten für die Männer – eine geringfügige Abhängigkeit von der formalen Ausbildungsdauer (siehe Tab. 27), so dass Frauen mit der geringsten Ausbildungsdauer die größten Verluste zeigen.

Die Gegenüberstellung von Testpersonen, die dem oberen Quartil angehören (62 bis 76 korrekte Wiedergaben) und jenen, die dem unteren Quartil zuzurechnen sind (23 bis 47

korrekte Wiedergaben) zeigt einen annähernd gleichförmigen Alterseinfluss (siehe Tab. 28 und Abb. 52) auf die Zu- bzw. Abnahme der jeweiligen »Randgruppen« entlang des Altersquerschnitts. Die Veränderungen mit dem Alter sind deutlich: durchschnittlich kann pro Dekade eine Verringerung von Angehörigen des oberen Quartils um ca. 11% und eine Zunahme von Angehörigen des unteren Quartils um ca. 14,5% beobachtet werden, so dass über 50% der 80-89jährigen dem unteren Quartil und nur noch 4% dem oberen Quartil zugehören.

Dennoch lassen sich vereinzelt Personen beobachten, die obgleich hohen Alters über eine außergewöhnliche Leistungskraft verfügen. So erreicht ein 81jähriger Mann (ID 1788) mit 13 Jahren Ausbildungsdauer beispielsweise 75 von 80 möglichen korrekten Wiedergaben. Durchschnittlich sind die Angehörigen des oberen Leistungsquartils auch besser ausgebildet als die des unteren Quartils (vgl. Tab. 29). Entlang des Querschnitts ergibt sich eine divergierende Entwicklung in der Bedeutung der Ausbildungsdauer für die Zugehörigkeit zum unteren respektive oberen Quartil. Pro Dekade kann eine durchschnittliche Zunahme der Ausbildungsdauer um ca. 2 Monate seitens Angehöriger des oberen Quartils festgestellt werden, während das Ausbildungsniveau von Angehörigen des unteren Quartils um ca. 4,5 Monate/Dekade abfällt.

*Tabelle 27 – Veränderung der Variable T1\_T5 in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildung entlang des Altersquerschnitt ( $M_{Alter}$  = Median der jeweiligen Alterskohorte) in Rohwerten.*

<b>Geschlecht</b>	<b>Ausbildungsdauer (Jahre)</b>	<b>Ausgangsniveau (M<sub>50</sub>)</b>	<b>Querschnittsdifferenz (M<sub>50</sub>-M<sub>88</sub>)</b>
Frauen	8	59	9
	12	63	8
	20	70	7
Männer	8	57	16
	12	59	16
	20	64	16

Tabelle 28 - Absoluter und relativer Anteil von Testpersonen am unteren und oberen Quartil bzgl. der Gesamtanzahl abgerufener Wörter über fünf Listendurchgänge (CVLT) stratifiziert nach Alterskohorten.

Altersgruppen		Oberes Quartil	Unteres Quartil	Total
50-59	abs. Häufigkeit	30	7	77
	rel. Häufigkeit	39%	9%	100%
60-69	abs. Häufigkeit	67	45	242
	rel. Häufigkeit	28%	19%	100%
70-79	abs. Häufigkeit	52	68	237
	rel. Häufigkeit	22%	29%	100%
80-89	abs. Häufigkeit	2	26	48
	rel. Häufigkeit	4%	54%	100%
Total	abs. Häufigkeit	151	146	604
	rel. Häufigkeit	25%	24%	100%

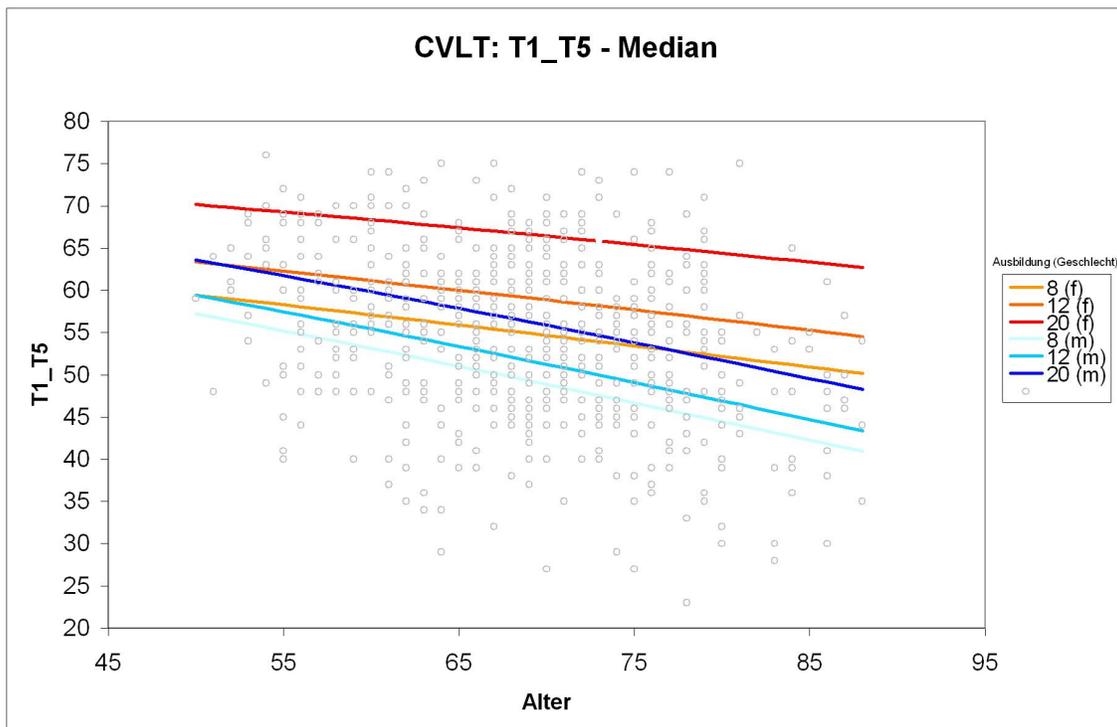


Abbildung 51 – Altersgradient der (korrekt) abgerufenen Wörter über alle fünf Listendurchgänge von CVLT in Abhängigkeit der Ausbildungsdauer (8, 12, 20 Jahre) und dem Geschlecht vor dem Hintergrund individueller Datenpunkte der Gesamtstichprobe

Tabelle 29 – Mittlere Ausbildungsdauer von Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils bzgl. der Gesamtanzahl abgerufener Wörter über fünf Listendurchgänge (CVLT) stratifiziert nach Alterskohorten

Alterskohorte	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Total
	mittlere Ausbildungsdauer		mittlere Ausbildungsdauer
50-54	12	-	11,82
55-59	12,05	12,29	11,68
60-64	12,23	11,59	11,83
65-69	13,12	11,89	12,46
70-74	12,79	11,67	12,42
75-79	12,17	12,59	12,86
80-84	12,5	11,72	12,13
85-89	-	10,25	11,63
<b>Total</b>	<b>12,56</b>	<b>11,86</b>	<b>12,29</b>

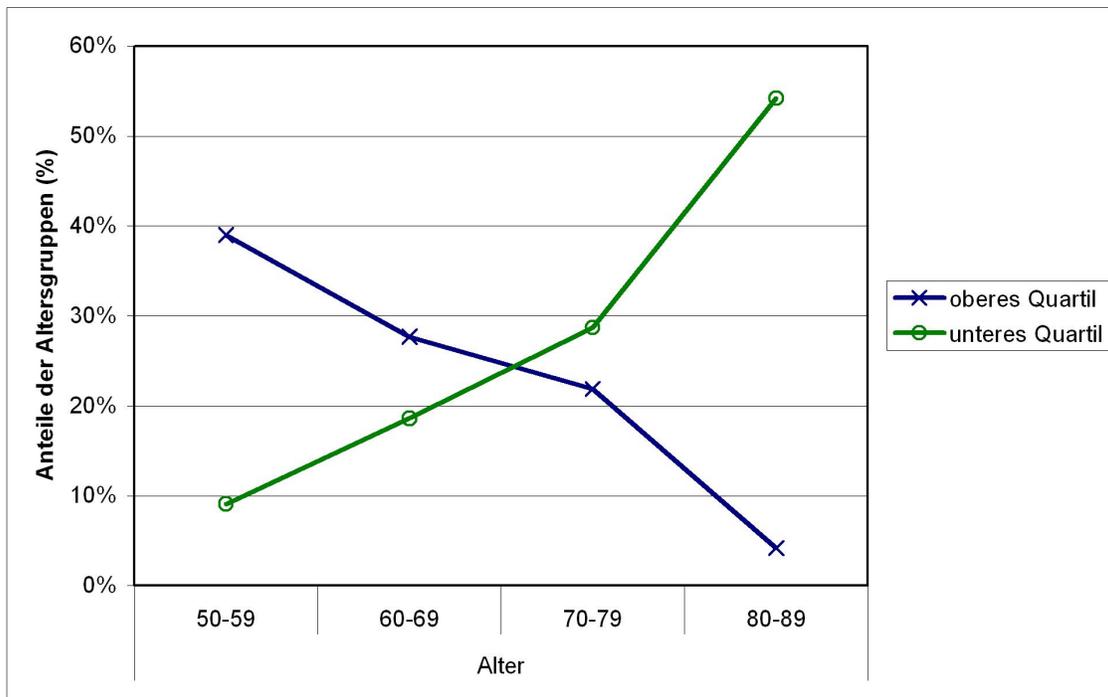


Abbildung 52 – Relativer Anteil der jeweiligen Altersgruppen am unteren und oberen Quartil der Gesamtanzahl abgerufener Wörter über fünf Listendurchgänge (CVLT)

### *Deskription des Langfristig Verzögerten Freien Abrufs (Long Delay Free Recall, LDFR)*

Gleich der Variablen T1\_T5 wurde auch für die Variable LDFR ein Modell mit drei Haupteffekten und zwei Interaktionen durch die PRESS-Statistik gewählt. Dabei gilt erneut, dass die Haupteffekte Alter ( $\beta = -0.30$ ,  $p < 0.001$ ), Ausbildungsdauer ( $\beta = 0.14$ ,  $p = 0.003$ ) und Geschlecht ( $\beta = 0.39$ ,  $p < 0.001$ ) gegenüber den Interaktionen Ausbildungsdauer×Geschlecht ( $\beta = 0.08$ ,  $p = 0.089$ ) und Alter×Geschlecht ( $\beta = 0.1$ ,  $p = 0.063$ ) von größerer Bedeutung für die Vorhersage des langfristig verzögerten freien Abrufs sind. Erneut ist auch beobachtbar, dass der Geschlechtseffekt den Alterseffekt übersteigt und dass die Ausbildungsdauer einen mittleren Rang unter den Effektstärken der Modellparameter einnimmt. Es besteht offensichtlich eine Ähnlichkeit in der funktionellen Struktur zwischen den Variablen T1\_T5 und LDFR. Dies wird auch durch die hohen Korrelationen der Rohwerte ( $r_{T1\_T5 \times LDFR} = 0.81$ ;  $p < 0.01$ ) einerseits und der, um die Vorhersage des Modells korrigierten, Z-Werte ( $r_{ZT1\_T5 \times ZLDFR} = 0.76$ ;  $p < 0.01$ ) andererseits bestätigt. Darüber hinaus ist auch die Art der optimalen Transformation identisch, die auf die Daten zum Zweck der Annäherung an die Normalverteilung angewendet wurde [ARCSIN((25\*LDFR – 148)/280)].

Die strukturelle Ähnlichkeit erstreckt sich sowohl auf die relative Lage der unterschiedlichen Gradienten (gekennzeichnet durch Ausbildung und Geschlecht) zueinander als auch auf das quantitative Ausmaß der jeweiligen demographischen Effekte. So ist von Frauen des 50. Lebensjahres zu erwarten, dass sie längerfristig je nach Ausbildungsdauer zwischen 13 und 16 Wörter frei abzurufen in der Lage sind. Männer gleichen Alters und mit vergleichbar langer Ausbildungsdauer nennen hingegen 13 bis 14 Wörter der aus 16 Items bestehenden Liste A. Über den Querschnitt betrachtet vermindert sich diese Leistung bei Frauen um durchschnittlich 2 und bei Männern um durchschnittlich 4 bis 5 Wörter (vgl. Tab. 30).

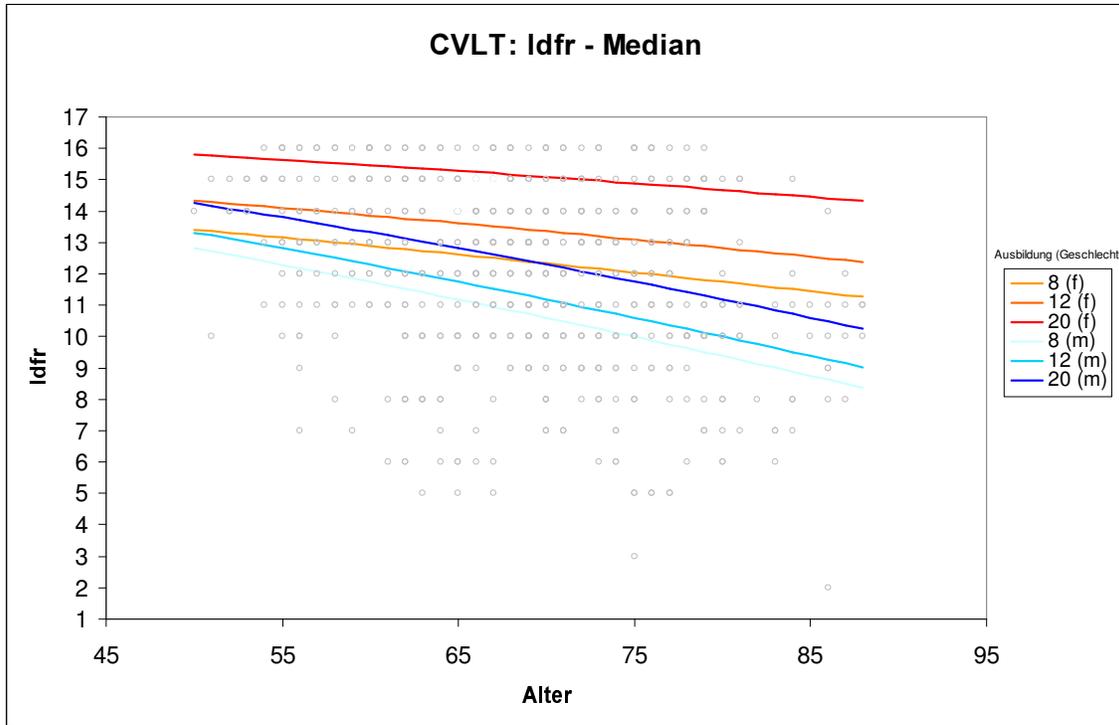
Die relative Häufigkeit mit der unterschiedliche Altersgruppen am oberen bzw. unteren Leistungsquartil beteiligt sind zeigt jedoch gegenüber T1\_T5 einen interessanten Unterschied. Während hinsichtlich der Lernleistung über fünf Listenpräsentationen ein nahezu gleichförmiger Alterseinfluss auf die beiden Extremgruppen beobachtet werden konnte, ist hinsichtlich des längerfristigen freien Abrufs im Vergleich zur altersabhängigen Verminderung der leistungsstarken Teilstichprobe (15 oder 16 Wörter) ein beinahe doppelt so schnelles Anwachsen des leistungsschwächeren Anteils der Stichprobe (2 bis 10 Wörter) pro Dekade zu beobachten.

Über 35% der 50-59jährigen gehören dem oberen und nur ca. 12% dem unteren Quartil zu. Von den 80-89jährigen verbleiben jedoch nur noch 8,3% im oberen Quartil, während 54,3% dieser Altersgruppe dem unteren Quartil zuzurechnen ist

Tabelle 30 – Veränderung der Variable LDFR in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildung entlang des Altersquerschnitt ( $M_{Alter}$  = Median der jeweiligen Alterskohorte)

<b>Geschlecht</b>	<b>Ausbildungsdauer (Jahre)</b>	<b>Ausgangsniveau (<math>M_{50}</math>)</b>	<b>Querschnittsdifferenz (<math>M_{50}-M_{88}</math>)</b>
Frauen	8	13	2
	12	14	2
	20	16	2
Männer	8	13	5
	12	13	4
	20	14	4

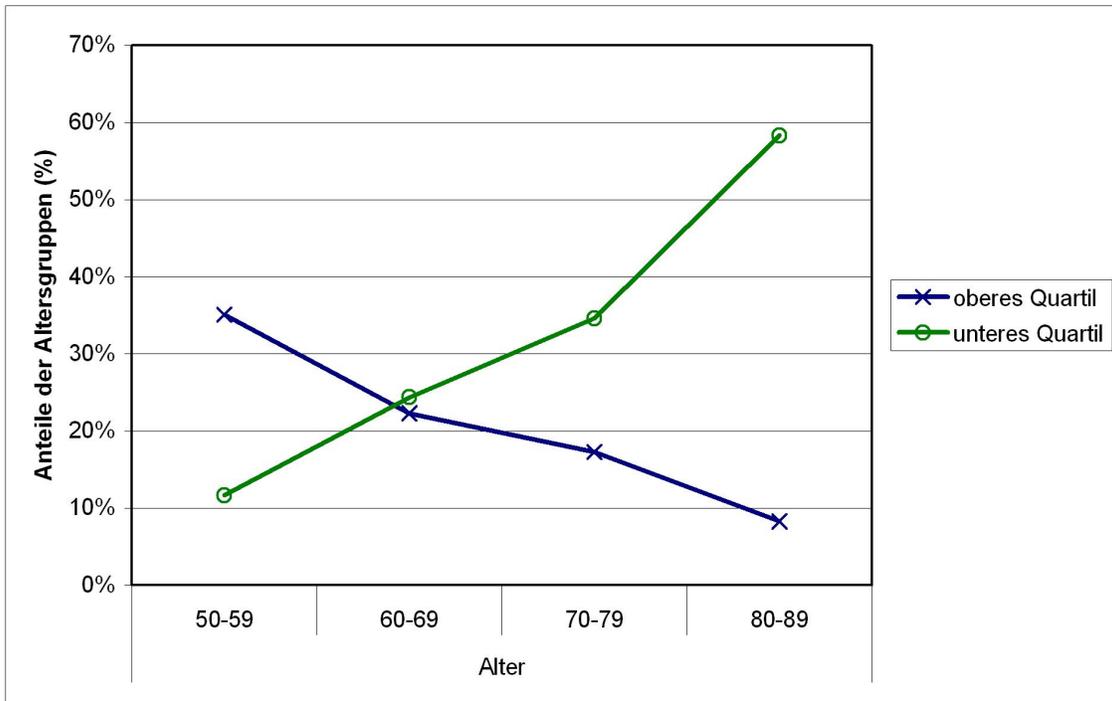
Dieses entspricht einer durchschnittlichen Zunahme um 15% pro Dekade auf Seiten der Angehörigen des unteren Quartils und einer durchschnittlichen Abnahme um 8,5% pro Dekade auf Seiten der Angehörigen des oberen Quartils. Die Gruppe der Testpersonen, die dem unteren Leistungsquartil angehören, wächst entlang des Altersquerschnitts schneller als die Gruppe jener, die dem oberen Quartil zugehören, abnimmt (vgl. Tab. 31 und Abb. 54). Offensichtlich ist diese Entwicklung eng mit der durchschnittlichen Ausbildungsdauer assoziiert. Angehörige des oberen Quartils weisen von Dekade zu Dekade ein um 5 Monate höheres Bildungsniveau auf, während die durchschnittliche Ausbildungsdauer von Angehörigen des unteren Quartils um etwa dieselbe Größenordnung abnimmt (siehe Tab. 32). Dass es sich bei den beschriebenen altersbezogenen Leistungsveränderungen jedoch nur um zentrale Trends handelt, illustriert die außerordentlich hohe Leistungsfähigkeit einer 79jährigen Dame (ID 20079) mit 12 Jahren Ausbildung, die auch nach einem längerfristigen Verzögerungsintervall noch in der Lage war, alle 16 einmal gelernten Wörter vollständig wiederzugeben.



**Abbildung 53 – Altersgradient (Anzahl korrekt erinnerter Wörter) des Langfristig Verzögerten Freien Abrufs (LDFR) von CVLT in Abhängigkeit der Ausbildungsdauer (8, 12, 20 Jahre) und dem Geschlecht vor dem Hintergrund individueller Datenpunkte der Gesamtstichprobe**

*Tabelle 31 - Absoluter und relativer Anteil von Testpersonen am unteren und oberen Quartil bzgl. LDFR des CLVT stratifiziert nach Alterskohorten.*

Altersgruppen		Oberes Quartil	Unteres Quartil	Total
50-59	abs. Häufigkeit	27	9	77
	rel. Häufigkeit	35,10%	11,70%	100%
60-69	abs. Häufigkeit	54	59	242
	rel. Häufigkeit	22,30%	24,40%	100%
70-79	abs. Häufigkeit	41	82	237
	rel. Häufigkeit	17,30%	34,60%	100%
80-89	abs. Häufigkeit	4	28	48
	rel. Häufigkeit	8,30%	58,30%	100%
Total	abs. Häufigkeit	126	178	604
	rel. Häufigkeit	20,90%	29,50%	100%



**Abbildung 54 – Relativer Anteil der jeweiligen Altersgruppen am unteren und oberen Leistungsquartil von LDFR des CVLT.**

*Tabelle 32 – Mittlere Ausbildungsdauer der Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils bzgl. LDFR des CVLT stratifiziert nach Alterskohorten*

Alterskohorte	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Total
	mittlere Ausbildungsdauer		mittlere Ausbildungsdauer
50-54	12,12	13	11,82
55-59	11,84	11,88	11,68
60-64	12,46	11,7	11,83
65-69	12,36	12,14	12,46
70-74	13,48	12,41	12,42
75-79	12,65	12,67	12,86
80-84	13	11,42	12,13
85-89	-	10,44	11,63
<b>Total</b>	<b>12,54</b>	<b>12,09</b>	<b>12,29</b>

### *Deskription der Relativen Behaltensleistung (SAVINGS)*

Die Wahl der PRESS-Statistik fällt auf ein Modell mit drei Haupteffekten und einer Interaktion. Die Ausbildungsdauer ( $\beta = 0.02$ ;  $p = 0.640$ ) zeigt einen sehr geringen Effekt und ist daher praktisch vernachlässigbar. Sowohl der Alters- ( $\beta = -0.18$ ;  $p = 0.003$ ) und Geschlechtshaupteffekt ( $\beta = 0.19$ ;  $p < 0.001$ ) als auch die Alter $\times$ Geschlecht ( $\beta = 0.11$ ;  $p = 0.064$ ) Interaktion tragen maßgeblich zur Vorhersage der relativen Behaltensleistung bei. Aus der Wahl des Modells folgt, dass die Alter $\times$ Geschlecht Interaktion von kritischer Bedeutung für die Vorhersage der relativen Behaltensleistung ist.

Wiederum übertrifft der Geschlechts- den Alterseffekt. Er kompensiert geradezu den bei Männern beobachtbaren Alterseffekt, so dass Frauen hinsichtlich ihrer relativen Behaltensleistung kaum zu altern scheinen (siehe Abb. 55).

Der Wunsch nach optimaler Genauigkeit und Erwartungstreue der Schätzfunktion in diagnostisch relevanten Bereichen der Verteilung hat eine relativ komplexe Transformation der Daten erforderlich gemacht. Zunächst wurden die Daten mittels  $t(x) = 500 \cdot x / 3889$  linear transformiert und im Anschluss einer Box-Cox Transformation mit  $\lambda = 1.6$  unterzogen.

Die Lücke zwischen 100% - 107% im Streudiagramm (siehe Abb. 55) ist ein Artefakt und ergibt sich aus der Konstruktion der Variablen SAVINGS, die durch den Quotienten aus  $LDFR/T5 \cdot 100$  (T5 Anzahl korrekter Wiedergaben auf Basis des fünften Lerndurchganges) ermittelt wird. Zumal sowohl LDFR als auch T5 maximal 16 betragen können und außerdem Werte über 100% ausschließlich durch eine Überlegenheit der Variablen LDFR gegenüber T5 zustande kommen, ist der kleinst mögliche Wert über 100% durch  $16/15 \cdot 100\% \approx 107\%$  gegeben.

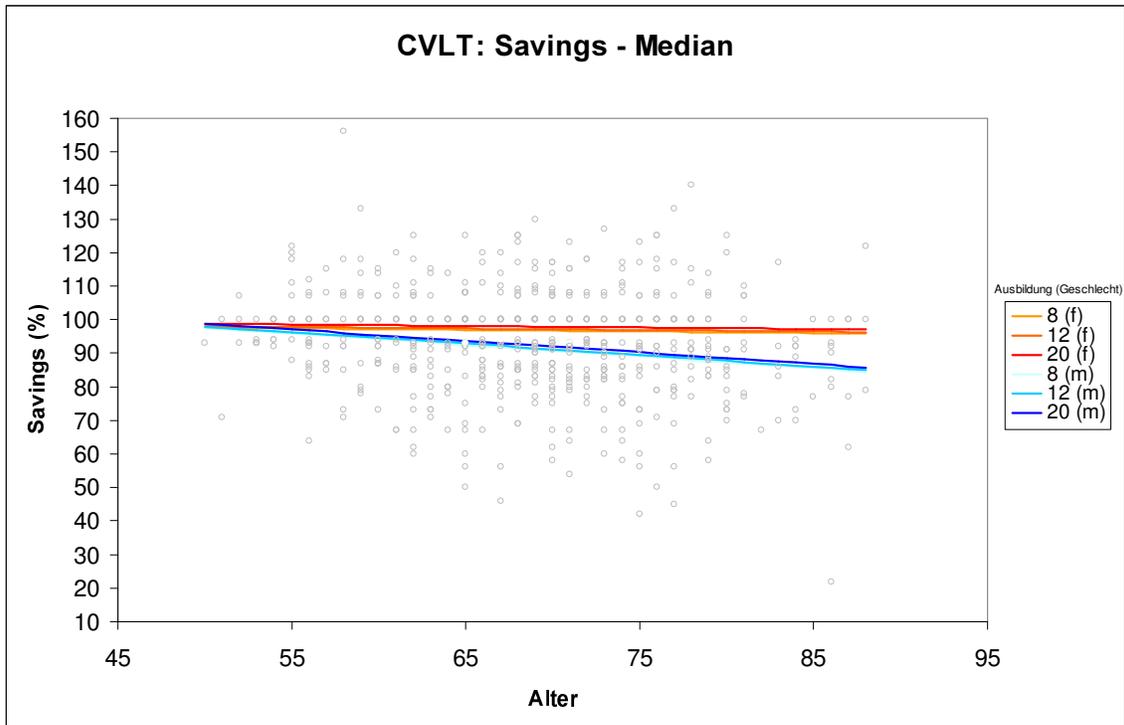
Das Ausgangsniveau ( $M_{50}$ ) in der Behaltensleistung (SAVINGS) ist für Männer und Frauen vergleichbar hoch und nahe 100%. Wie eingangs schon bemerkt, spielt das Ausbildungsniveau eine nur marginale Rolle. Dies gilt sowohl für das Ausgangsniveau als auch für den Verlust im Querschnitt. Der deutlichste Effekt verzeichnet der Verlust im Querschnitt (Querschnittsdifferenz) in Abhängigkeit des Geschlechts. Während Frauen unabhängig von der Ausbildungsdauer 1.8%-Punkte Leistung einbüßen, liegt der Verlust bei den Männern bei 13%-Punkten und ist damit um einen Faktor  $> 7$  von dem der Frauen verschieden (siehe Tab. 33). Die unterschiedlichen Alterseffekte bei Frauen im Vergleich von LDFR und SAVINGS zeigt einen interessanten Zusammenhang auf. Während sich Lernleistung und verzögerte Abrufleistung sowohl bei Männern als auch bei Frauen über den Altersquerschnitt verringern, liegt bei Frauen ein ausgeglichenes Verhältnis vor, wobei bei Männern die Behaltensleistung gemessen an der Lernleistung offensichtlich überproportional abnimmt.

Erneut gelingt eine Einteilung zweier vergleichbar stark besetzter Leistungsgruppen in Abhängigkeit des oberen und unteren Leistungsquartils nur näherungsweise. 19,4% der Gesamtstichprobe sind dem oberen Quartil (107% - 156%) und 26,7% dem unteren Quartil (22% - 85%) zuzuordnen. Mehr als die Hälfte der Stichprobe bewegen sich demzufolge zwischen 86% und 100% relativer Behaltensleistung. 14,3% der 50-59jährigen befinden sich unter den Testpersonen des unteren und etwa einviertel unter den Testpersonen des oberen Quartils. Die relativen Anteile am oberen bzw. unteren Quartil verändern sich über den Querschnitt nur langsam. Während der Anteil der leistungsschwachen pro Dekade durchschnittlich um 9,5% wächst nimmt der Anteil der Leistungsstarken durchschnittlich um einen Faktor 3 langsamer ab (3,4%/Dekade). Gemessen an den 50-59jährigen hat sich der Anteil der 80-89jährigen am oberen Quartil nahezu halbiert (14,6%), während der Anteil derselben Gruppe am unteren Quartil etwa um das 3fache angewachsen ist (43,8%) (siehe Tab. 34 und Abb. 56).

*Tabelle 33 – Veränderung der relativen Behaltensleistung (SAVINGS) in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildung entlang des Altersquerschnitt ( $M_{Alter}$  = Median der jeweiligen Alterskohorte)*

<b>Geschlecht</b>	<b>Ausbildungsdauer (Jahre)</b>	<b>Ausgangsniveau (<math>M_{50}</math>)</b>	<b>Querschnittsdifferenz (<math>M_{50}-M_{88}</math>)</b>
Frauen	8	97.7%	1.8%
	12	98.1%	1.8%
	20	98.9%	1.8%
Männer	8	97.5%	13%
	12	97.9%	13%
	20	98.7%	12.9%

Die Ausbildungsdauer spielt auch hinsichtlich Angehöriger des oberen und unteren Quartils nur eine untergeordnete Rolle. Die durchschnittliche Ausbildungsdauer aller Angehörigen des unteren Quartils unterscheidet sich nicht von der durchschnittlichen Ausbildungsdauer des Gesamtstichprobe, während die Ausbildungsdauer der Angehörigen des oberen Quartils sogar leicht unter dem Gesamtmittelwert liegt. Durchschnittlich ist für beide Gruppen ein leichter Rückgang der Ausbildungsdauer über den Querschnitt feststellbar. Beide Beobachtungen dürfte aber nicht gegen den Zufall abzusichern sein (siehe Tab. 35).



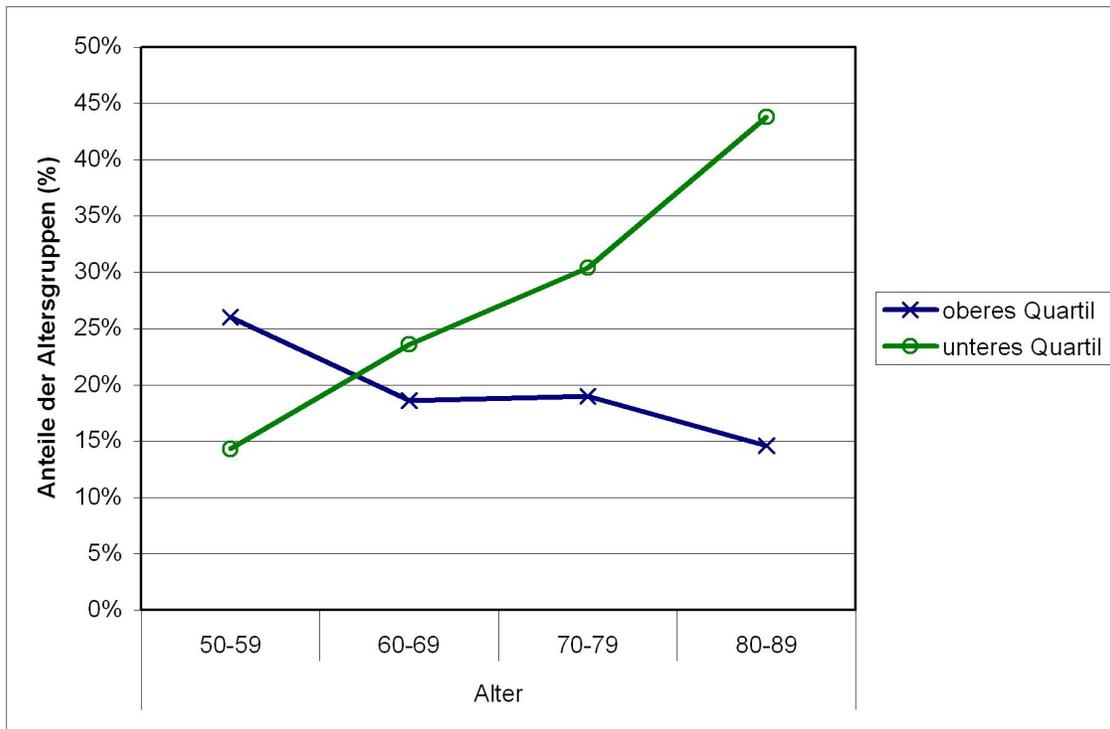
**Abbildung 55 – Altersgradient der relativen Behaltensleistung SAVINGS des CVLT in Abhängigkeit der Ausbildungsdauer (8, 12, 20 Jahre) und dem Geschlecht vor dem Hintergrund individueller Datenpunkte der Gesamtstichprobe**

*Tabelle 34 - Absoluter und relativer Anteil von Testpersonen am unteren und oberen Quartil bzgl. der relativen Behaltensleistung (SAVINGS) des CVLT stratifiziert nach Alterskohorten.*

Altersgruppen		Unteres Quartil	Oberes Quartil	Total
50-59	abs. Häufigkeit	20	11	77
	rel. Häufigkeit	26,00%	14,30%	100%
60-69	abs. Häufigkeit	45	57	242
	rel. Häufigkeit	18,60%	23,60%	100%
70-79	abs. Häufigkeit	45	72	237
	rel. Häufigkeit	19,00%	30,40%	100%
80-89	abs. Häufigkeit	7	21	48
	rel. Häufigkeit	14,60%	43,80%	100%
Total	abs. Häufigkeit	117	161	604
	rel. Häufigkeit	19,40%	26,70%	100%

*Tabelle 35 – Mittlere Ausbildungsdauer von Testpersonen des unteren bzw. oberen Quartils bzgl. der SAVINGS des CVLT stratifiziert nach Alterskohorten*

Alterskohorte	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Total
	mittlere Ausbildungsdauer	mittlere Ausbildungsdauer	mittlere Ausbildungsdauer
50-54	12	13	11,82
55-59	10,79	11,5	11,68
60-64	11,94	11,87	11,83
65-69	11,61	12,21	12,46
70-74	11,92	12,4	12,42
75-79	12,16	13,41	12,86
80-84	13,17	12,14	12,13
85-89	10	11	11,63
<b>Total</b>	<b>11,75</b>	<b>12,32</b>	<b>12,29</b>



**Abbildung 56 – Relativer Anteil der jeweiligen Altersgruppen am unteren und oberen Quartil der SAVINGS des CVLT.**

### *Differentielles Altern der Enkodierung und des Abrufs episodischer Gedächtnisinhalte*

Die Abrufleistung über fünf Wortlistendurchgänge der Liste A reflektiert die Summe des unmittelbaren Abrufs gelernter Wörter über fünf Durchgänge der 16 Wörter enthaltenden Wortliste hinweg. Die Ausprägung der Variablen ist dann maximal, wenn die individuelle Lernkurve (*potentieller* Zuwachs an neu gelernten Wörtern pro Lerndurchgang) steil und das Ausgangsniveau abgerufener Wörter auf Basis des ersten Listendurchgangs hoch ist. Somit ist sie ein Ausdruck des individuellen Lernpotentials einer Person.

Der langfristig verzögerte freie Abruf reflektiert die Anzahl der Wörter, die ein jeweiliger Proband nach einem längerfristigen Verzögerungsintervall frei abzurufen in der Lage ist. Dabei werden grundsätzlich dieselben (vgl. Abrufleistungen über fünf Wortlistendurchgänge) funktionellen Prozesse erfasst, nur dass zuzüglich mit Vergessensprozessen auf Grundlage von Zerfalls- oder Interferenzvorgängen zu rechnen ist. Die Anfälligkeit für Vergessensprozesse steht wiederum mit der Konsolidierungs- bzw. Enkodierungseffektivität im Verlauf des Lernprozesses in Zusammenhang. Grundsätzlich ist damit das Gefüge beteiligter kognitiver Komponenten in höherem Maße transaktiv und komplexer, wodurch zu erwarten ist, dass die Vulnerabilität für Leistungsbeeinträchtigungen zunehmen sollte (vgl. Tulving & Thomson (1973), siehe S. 37). Beispielweise konnten Bondi et al. (1995) den Nachweis erbringen, dass sich Träger des  $\epsilon 4$  Allels des Apolipoprotein E, das mit subtilsten kognitiven Beeinträchtigungen assoziiert ist, von Trägern des Non- $\epsilon 4$  Allels auf der Basis der LDFR-Variablen des CVLT gut diskriminieren lassen. Der längerfristig verzögerte freie Abruf ist demzufolge eine der bedeutensten, weil für geringste kognitive Störungen sensitivste Variable.

Die Variable SAVINGS reflektiert die Behaltensleistung hinsichtlich eines langfristig verzögerten freien Abrufs relativiert an der maximalen Anzahl erlernter Wörter im letzten (fünften) Lerndurchgang. Insofern stellt sie ein relatives Behaltensmaß dar.

Dabei können auch Werte über 100% auftreten, wenn die langfristig verzögerte freie Abrufleistung (gemessen in Anzahl korrekter Wortnennungen) die Leistung des letzten der fünf Lerndurchgänge übersteigt. Hierdurch tritt auch eine Verkürzung des Konzepts zutage, weil nämlich SAVINGS ohne Berücksichtigung ausschließlich korrespondierender Wörter nicht wirklich eine Ersparnis des initialen Lernprozesses darstellen.

Verschiedentlich führen somit - durch den Test nicht zu kontrollierenden - Inkubationseffekte zu einer höheren Anzahl wiedergegebener Wörter in LDFR gegenüber T5. Aber wie Bondi et al. (1995) zeigen hat auch sie hinsichtlich der kritischen ApoE Allele eine gute diskriminative Power.

T1\_T5, LDFR und SAVINGS werden im Testhandbuch des CVLT in der Kategorie Abrufmaße zusammengefasst. Sie stellen explizite Leistungsgrößen des Lernerfolgs (Abruf) und implizite Maße für den zugrundeliegenden Lernprozess (Enkodierung) dar.

Bei grundsätzlicher Betrachtung lassen sich folgende zentralen Charakteristika beschreiben:

1. Sowohl hinsichtlich des langfristig verzögerten freien Abrufs (LDFR) als auch der totalen Anzahl gelernter Wörter über alle fünf Listendurchgänge (T1\_T5) lässt sich eine Verminderung der Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter erkennen. Die altersbezogene Leistungsverminderung hängt mit dem Geschlecht zusammen. Es gilt: Frauen zeigen die geringsten Altersveränderungen. Männer hingegen zeigen maximale altersassoziierte Veränderungen. Unabhängig vom jeweiligen Lebensalter erzielen Frauen bessere Leistungen als Männer und Testpersonen mit einer langen formalen Ausbildungsdauer sind wiederum Testpersonen mit weniger formalen Ausbildungsdauer überlegen. Die Effektstärken sind dabei jedoch nur mäßig bis gering. Der Einfluss der Ausbildungsdauer ist halb so groß, wie der des Geschlechts und des Lebensalters und der Geschlechtseffekt übersteigt gar den des Alters. Die Interaktionen sind sehr schwach ausgeprägt. Sie sind jedoch aus Gründen der Vorhersagegenauigkeit in die jeweiligen Modelle mitaufgenommen. Die demographischen Einflüsse auf die relative Behaltensleistung (SAVINGS) sind davon deutlich verschieden. Die altersbezogenen Leistungsveränderungen bei den Männern sind gegenüber den der Frauen um einen Faktor 2,6 größer. In der Tat zeigen Frauen entlang des Querschnitts kaum Alterseffekte, während die Männer einen deutlichen Leistungsverlust zeigen. Das Ausmaß der formalen Ausbildungsdauer spielt eine vernachlässigbare Rolle. Der Effekt ist ausschließlich aufgrund des Einschlusses der Geschlecht×Alter Interaktion mitaufgenommen.
2. Insgesamt zeigt sich bzgl. der Abrufmaße T1\_T5 und LDFR die komplexest mögliche Modellstruktur. Darüber hinaus sind jedoch noch weitere Gemeinsamkeiten beobachtbar: so ist das Verhältnis der Effektstärken untereinander nahezu identisch, der Anteil der durch die Modelle aufgeklärten Varianz beträgt jeweils 20% bzw. 21% und die Korrelation der beiden Leistungsmaße liegt für Rohwerte bei  $r = .808$  ( $p < .001$ ). Selbst bei Berücksichtigung der Effekte (z-Werte) kann noch eine Korrelation von  $r = .758$  ( $p < .001$ ) beobachtet werden. Dem entgegen erklärt das Modell für die relative Behaltensleistung (SAVINGS) einen um das vierfache geringeren Anteil an der Gesamtvarianz ( $R^2 \approx 5\%$ ) und zeigt darüber hinaus auch in seiner Struktur einen geringeren Grad an Komplexität aufgrund der de-facto Vernachlässigbarkeit des Ausbildungseffektes und einer – gegenüber T1\_T5 und LDFR – fehlenden Ausbildung×Alter Interaktion.

3. Die Streudiagramme (Abb. 51 und Abb. 53) zeigen eine näherungsweise ovale Form. D.h. es lassen sich bis zum 60. Lebensjahr keine Testpersonen beobachten, die weniger als 40 Wörter über fünf Durchgänge erreichen bzw. weniger als 7 Wörter im langfristigen und freien Abruf erreichen. Andererseits erreichen jenseits des 80. Lebensjahrs lediglich 6 Testpersonen 58 und mehr Wörter über alle fünf Lerndurchgänge, maximal jedoch 75 (eine Testperson mit 81 Jahren). Neun Testpersonen – ebenfalls in der 8. Dekade – können 12 und mehr Wörter im verzögerten und freien Abruf (maximal aber 15) korrekt benennen. Hinsichtlich der relativen Behaltensleistung weist lediglich eine Testperson unterhalb des 60. Lebensjahrs einen geringeren Wert als 70% auf. Dagegen erreichen lediglich 7 über 80jährige Werte über 100%. Bei keinem der Abrufmaße lässt sich ein statistisch bedeutsamer Zusammenhang zwischen der Streuung und dem Lebensalter beobachten ( $\beta = -.019$  mit  $p=.911$  für T1\_T5;  $\beta = .050$  mit  $p=.770$  für LDFR), hinsichtlich der relativen Behaltensleistung lässt sich aber zumindest von einem Trend sprechen ( $\beta = .277$  mit  $p=.097$ ).

Folgende Veränderungen lassen sich im Zuge höheren Lebensalters den »Randgruppen« entnehmen:

4. Bzgl. der Lernleistung über alle Durchgänge (T1\_T5) und des langfristig verzögerten freien Abrufs (LDFR) lassen sich entlang des Altersquerschnitts jeweils im unteren und oberen Quartil deutliche Ausbildungseffekte feststellen. In beiden Fällen ist eine durchschnittliche altersbezogene Abnahme im unteren Quartil und eine altersbezogene Zunahme im oberen Quartil zu beobachten. Und zwar in jeweils etwa vergleichbarem Ausmaß von durchschnittlich 4 Monaten/Dekade. Eine Ausnahme hiervon ist die altersbezogene Zunahme der durchschnittlichen Ausbildungsdauer im oberen Quartil bzgl. T1\_T5. Hier beträgt der Ausbildungseffekt 2 Monate/Dekade. Bzgl. der relativen Behaltensleistung (SAVINGS) ist die altersbezogene Veränderung der Ausbildungsdauer – wie auch im Kontext der Gesamtstichprobe - vernachlässigbar.
5. Die altersbezogene Veränderung der Anteile, die die Testpersonen an den jeweiligen Quartilen haben, weist einige Besonderheiten auf. Über alle Abrufmaße hinweg übertrifft die Zunahme im unteren Quartil jeweils die Abnahme im oberen Quartil dabei kontrastiert die absolute Behaltensleistung (T1\_T5 bzw. LDFR) mit der relativen Behaltensleistung, wo sich die Zunahme im unteren Quartil deutlich langsamer über den Querschnitt entwickelt. Während bzgl. T1\_T5 noch eine näherungsweise Symmetrie in den Anteilsveränderungen der jeweiligen Quartile festgestellt werden kann (-11%/Dekade

oberes Quartil vs. +14%/Dekade unteres Quartil – Asymmetrieindex<sup>\*</sup>: 1,3), nimmt hingegen die Asymmetrie zum langfristig verzögerten und freien Abruf (LDFR) zu (Asymmetrieindex: 1,8) und lässt schließlich ein Maximum hinsichtlich der relativen Behaltensleistung (SAVINGS) erkennen (Asymmetrieindex: 2,8).

Enkodierungs- und Abrufleistungen auf der Basis auditiven und verbalen Materials sind – entgegen der zuvor betrachteten Aufmerksamkeitsleistungen – von deutlichen Geschlechtsunterschieden geprägt (vgl. Punkt 1.). Im Kontext differentieller Alterserscheinungen verdient dieser Umstand zweifellos eine besondere Würdigung. Von vorrangigem Bedeutung ist die Frage, inwiefern die beobachteten Unterschiede grundsätzlich einen früher einsetzenden aber mit gleichen Veränderungen verbundenen Altersprozess der Männer reflektieren. Oder, ob die altersbezogenen kognitiven Veränderungen bei den Frauen geringer beschleunigt verlaufen aber ontogenetisch zu einem vergleichbaren Zeitpunkt einsetzen.

Zunächst einmal ist festzuhalten, dass eine grundsätzliche Überlegenheit verbaler Gedächtnisleistungen von Frauen im Vergleich zu denen der Männer eine empirisch kaum in Zweifel zu ziehende Tatsache ist.

Z.B. können Herlitz und Yonker (2002) auf der Basis einer Stichprobe gesunder 20-40jähriger einen Geschlechtsunterschied in einer verbalen episodischen Gedächtnisaufgabe zugunsten von Frauen nachweisen. Auch Wiens et al. (1994) finden auf der Grundlage des CVLT Geschlechtseffekte, die in dieselbe Richtung weisen.

Haupteffekte lassen sich also schon unter jungen Erwachsenen bis zu Erwachsenen mittleren Alters nachweisen. Es ist demzufolge wenig erstaunlich, Geschlechtsunterschiede auch in unserer Stichprobe zu finden. Interessanter ist hingegen die Beobachtung, wonach die Geschlechtseffekte den Einfluss des Alters übersteigen und dass darüber hinaus auch Interaktionen vorliegen, die bewirken, dass altersbezogene Veränderungen bei Männern jene der Frauen übertreffen.

Einschränkend muss jedoch hinzugefügt werden, dass die größere Beschleunigung alterbezogener Veränderungen seitens der Männer hinsichtlich der absoluten Behaltensleistung (T1\_T5 bzw. LDFR) aufgrund einer geringen Effektstärke der Geschlecht×Alter Wechselwirkung eher vernachlässigbar ist. Einen deutlichen Einfluss zeigt sich jedoch in Bezug auf die relative Behaltensleistung (SAVINGS). Der Nettoeffekt des Alters von Frauen ist aufgrund der Interaktion nahe Null ( $\beta_{\text{net}} = -0.07$ ). Letztlich ist es schwer zu beurteilen, ob der Altersprozess bei Männern nun früher einsetzt oder aber ontogenetisch zu einem vergleichbaren Zeitpunkt dafür aber beschleunigt. Es sieht vielmehr danach aus, als ob der relative Unterschied bzgl. absoluter Behaltensleistungen zwischen Männern und

---

<sup>\*</sup> Der Asymmetrieindex ist das Verhältnis der Anteilsveränderungen in den jeweiligen Quartilen

Frauen im Alter erhalten bleibt. Offensichtlich ist aber, dass das *Lernpotential* für verbales Material seitens der Frauen besser mit der *längerfristigen Abrufleistung* korrespondiert, da das, was einmal gelernt ist, auch erhalten bleibt.

Die strukturellen Ähnlichkeiten (vgl. Punkt 2.) der Maße für die absolute Enkodierungs- und Behaltensleistung (T1\_T5 bzw. LDFR) weichen funktionellen Unterschieden hinsichtlich des »pathologischen Alterns«. Beispielweise konnten Bondi et al. (1995) den Nachweis erbringen, dass sich Träger des  $\epsilon 4$  Allels des Apolipoprotein E, das als Risikofaktor für DAT gilt, von Trägern des Non- $\epsilon 4$  Allels auf der Basis der langfristig verzögerten freien Abrufleistung (LDFR) des CVLT gut differenzieren lassen, nicht jedoch auf der Basis der gelernten Wörter über alle fünf Listendurchgänge (T1\_T5). Prospektiv entwickelten 6 von 14 Trägern des fraglichen Allels eine wahrscheinliche Demenz des Alzheimerstyps. Erst nach Einsetzen pathologischer Prozesse dissoziieren LDFR und T1\_T5.

Im Lichte der strukturellen Ähnlichkeit zwischen LDFR und T1\_T5 wird darüber hinaus auch deutlich, warum die Merkmale der relative Behaltensleistungen davon so verschieden sind. Der auffälligste Umstand ist der geradezu komplette Bedeutungsverlust der formalen Ausbildung hinsichtlich der Leistungsvariation (vgl. Punkt 2.), obgleich mäßiger aber statistisch bedeutsamer Effekte der zugrunde liegenden Variablen (LDFR/ T5\*100). Sieht man jedoch von der formalen Betrachtung ab und wendet sich einer inhaltlichen Beurteilung zu, dann sind die beobachteten Differenzen weit weniger erstaunlich.

Die Beobachtung, wonach eine längere formale Ausbildung zu einer überlegenen Lern- und Abrufleistung führt ist nicht mehr länger relevant, wenn die Abrufleistung am Lernmaximum (Abrufleistung bei Durchgang 5 der Liste A) relativiert wird. Ob nun eine Testperson mit hoher formaler Ausbildungsdauer ein Lernmaximum von 16 Wörtern (komplette Liste) erreicht und daraufhin in der Lage ist, die 16 Wörter erneut abzurufen, oder ob eine andere Testperson mit geringer formaler Ausbildungsdauer abschließend lediglich 12 Wörter lernt und daraufhin alle 12 gelernten Wörter während des langfristigen und freien Abrufs wiedergibt, beide Testpersonen haben damit unabhängig von ihrer Ausbildungsdauer und der absoluten Testleistung 100% relative Behaltensleistung erzielt. Aus der engen Beziehung zwischen Lernprozess und Abrufleistung geht letztlich zwingend hervor, dass die relative Behaltensleistung von der formalen Ausbildungsdauer unbeeinflusst bleiben sollte, zumal unabhängig von der absoluten Leistungsfähigkeit Abruf und Lernprozess erwartungsgemäß vergleichbar gut sind, so dass eine konstante relative Behaltensleistung die Folge ist. Wenn nun die formale Ausbildungsdauer lediglich mit der absoluten Leistungshöhe (Anzahl der korrekt erinnerten Wörter) korreliert, dann ist unmittelbar evident, dass sie für die relative Behaltensleistung keine Rolle spielen kann.

Daraus folgt ein weiteres: Nicht nur die Ausbildungsdauer, sondern eine Vielzahl weiterer struktureller Einflussfaktoren (auch solche die in den zugrundeliegenden Modelle nicht

erfasst sind) sollten damit eliminiert sein. D.h. das differentielle Alterseinflüsse auf die relative Behaltensleistung gegenüber den zugrundeliegenden Variablen (langfristiger Abruf und Abrufleistung im 5. Durchgang) geringer ausgeprägt sein sollten, sofern sie stochastisch unabhängig voneinander sind und einen vergleichbaren Einfluss aufweisen. Da man von den Alters- und Geschlechtseinflüssen selbst wiederum annehmen muss, dass sie von unterschiedlichen grundlegenden Faktoren determiniert sind, ist auch für diese Effekte gewissermaßen eine »Bereinigung« zu erwarten und damit eine Verminderung ihrer Effektstärken (was de-fakto auch beobachtet werden kann, siehe S. 165). Beispielsweise ist es denkbar, dass konfundierende Einflüsse, wie Motivation, Tagesform oder Testzeitpunkteffekte herausfallen.

Die asymmetrische Veränderung der relativen Anteile, die die jeweiligen Altersgruppen am unteren bzw. oberen Quartil entlang des Querschnitts aufweisen spiegelt die hohe Variabilität kognitiver Leistungen im Alter wieder (vgl. Punkt 5 – Asymmetrieindex). Selbst unter Berücksichtigung der überproportionalen Zunahme der Testpersonen in der 8. Dekade am jeweils unteren Quartil, bleibt die Asymmetrie bestehen. D.h. mit zunehmendem Alter findet eine Ausdünnung des mittleren Bereiches in Bezug auf Abrufleistungen statt. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass sich hinsichtlich der Leistungsfähigkeit im Enkodieren und Abrufen verbalen auditiven Lernmaterials eine Polarisierung vollzieht. Im Zuge des Alterns lassen sich zunehmend mehr Personen beobachten, die entweder zu erstaunlich hervorragenden oder aber sehr schwachen Gedächtnisleistungen neigen. Bei dieser Beobachtung spielt offensichtlich die formale Ausbildungsdauer eine nicht unerhebliche Rolle (vgl. Punkt 4.).

## Wiedererkennensmaße des CVLT – Diskriminabilität

### *Deskription der Diskriminabilität*

Diskriminabilitätsleistungen auf der Basis eines Wiedererkennenstests wird am besten durch die Haupteffekte Alter ( $\beta = -0.36$ ,  $p < 0.001$ ), Ausbildung ( $\beta = 0.21$ ,  $p < 0.001$ ), Geschlecht ( $\beta = 0.30$ ,  $p < 0.001$ ) und durch eine Interaktion Alter×Geschlecht ( $\beta = 0.19$ ,  $p = 0.001$ ) beschrieben. Dabei tragen Alter und Geschlecht den größten Anteil an der Vorhersage bei. Erneut ist zu beobachten, dass die Alter×Geschlechtsinteraktion zu einer weitgehenden Kompensation des Altereffektes bei Frauen führt (vgl. Abschnitt SAVINGS) (siehe Abb. 57). Die Variable DISKRIMINABILITÄT ist ein Maß für die Wiedererkennensleistung auf Grundlage der verbalen Darbietung 44 konkreter Substantive unter denen auch die 16 Wörter der Liste A des CVLT enthalten sind. Dabei können folgende Antworten bei den Probanden registriert werden: (1) Treffer (Hit), (2) Falscher Alarm (False Alarm) – beide sind infolge der Zustimmungen eines Probanden zu einem präsentierten Wort möglich – (3) Auslassung (Missing), (4) Korrekte Zurückweisung (Correct Rejection) – beide können nur infolge einer Ablehnung hinsichtlich eines präsentierten Wortes registriert werden. Der Diskriminabilitätsindex (DISKRIMINABILITÄT) ist rechnerisch das Komplement zur relativen Häufigkeit falscher Zustimmungen und Ablehnungen jeweils präsentierter Wörter bzw. die relative Häufigkeit korrekter Zustimmungen und Ablehnungen ( $\text{DISKRIMINABILITÄT} = (1 - [(2) + (3)]/44) * 100$ ).

Damit steht ein Index zur Verfügung, der die Behaltensleistung der erlernten Wortliste auf der Grundlage des Wiedererkennens abbildet. Die Annäherung der Daten an die Normalverteilung erfolgte mittels einer linearen Transformation der Form  $(11 * \text{DISKRIMINABILITÄT} - 450) / 650$  gefolgt von einer Arcussinustransformation. Sie wirkt sich auf die Medianverläufe der Männer stärker als auf die der Frauen aus, so dass die Altersgradienten der Frauen nahezu linear und die der Männer kurvi-linear verlaufen. Während die 50jährigen Testpersonen unabhängig von Ausbildungsdauer und Geschlecht im Mittel noch nahe bei einander liegen, zeigen sich dann über den Querschnitt erhebliche Differenzen mit besonderer Akzentuierung bei den Männern. Frauen büßen durchschnittlich und in Abhängigkeit der Ausbildungsdauer zwischen 0,3% und 1,6% ein. Männer verlieren demgegenüber zwischen 4,5% und 9,3% (siehe Tab. 36). Damit variieren die Altersverluste zwischen Männern und Frauen um das durchschnittlich ca. 6 – 15fache zulasten der Männer.

Das obere Quartil wird ausschließlich durch die 38,6% jener Testpersonen definiert, die 100% der vorgegebenen Wörter zu diskriminieren vermögen. Die untere Leistungsgruppe

umfasst jene 22,5% der Testteilnehmer, deren Diskriminationsvermögen zwischen 70,5% und 93,2% liegt. Von den 50-59jährigen befinden sich ca. 52% unter den Testpersonen der oberen Quartils und 10,4% unter jenen des unteren Quartils. Hinsichtlich der Gruppe der 80-89jährigen, kehrt sich das Bild um. Hier befinden sich 45,8% der Altersgruppe im unteren und 16,7% unter im oberen Quartil. Durchschnittlich nimmt der Anteil der Testpersonen am oberen Quartils um ca. 11,4% pro Dekade ab. Deren Anteil am unteren Quartil hingegen wächst um einen vergleichbaren Anteil an (12,1%/Dekade), so dass der Einfluss des Alters relativ gleichförmig auf beide Gruppen einwirkt.

Hinsichtlich der Ausbildungsdauer kann in den jeweiligen Quartilen ein klarer Trend festgestellt werden. Während die durchschnittliche Ausbildungsdauer um ca. 5 Monate pro Dekade unter den Testpersonen des oberen Quartils zunimmt, kann ein komplementärer Trend einer Verringerung von 4 Monaten pro Dekade unter den Testpersonen des unteren Quartils beobachtet werden. Auch hier scheint sich die formale Ausbildungsdauer relativ gleichförmig in beiden Quartilen entlang des Querschnitts zu verändern.

*Tabelle 36 – Veränderung der Variable DISKRIMINABILITÄT in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildung entlang des Altersquerschnitt ( $M_{\text{Alter}}$  = Median der jeweiligen Alterskohorte)*

<b>Geschlecht</b>	<b>Ausbildungsdauer (Jahre)</b>	<b>Ausgangsniveau (<math>M_{50}</math>)</b>	<b>Querschnittsdifferenz (<math>M_{50}-M_{88}</math>)</b>
Frauen	8	98.9%	1.6%
	12	99.5%	1.1%
	20	100.0%	0.3%
Männer	8	99.0%	9.3%
	12	99.6%	7.7%
	20	100.0%	4.5%

Tabelle 37 - Absoluter und relativer Anteil des unteren und oberen Quartils bzgl. der Diskriminabilität von Wörtern der Liste A (CVLT) an der Gesamtstichprobe stratifiziert nach Alterskohorten.

Altersgruppen		Oberes Quartil	Unteres Quartil	Total
50-59	abs. Häufigkeit	40	8	77
	rel. Häufigkeit	51,90%	10,40%	100%
60-69	abs. Häufigkeit	103	36	242
	rel. Häufigkeit	42,60%	14,90%	100%
70-79	abs. Häufigkeit	82	70	237
	rel. Häufigkeit	34,60%	29,50%	100%
80-89	abs. Häufigkeit	8	22	48
	rel. Häufigkeit	16,70%	45,80%	100%
Total	abs. Häufigkeit	233	136	604
	rel. Häufigkeit	38,60%	22,50%	100%

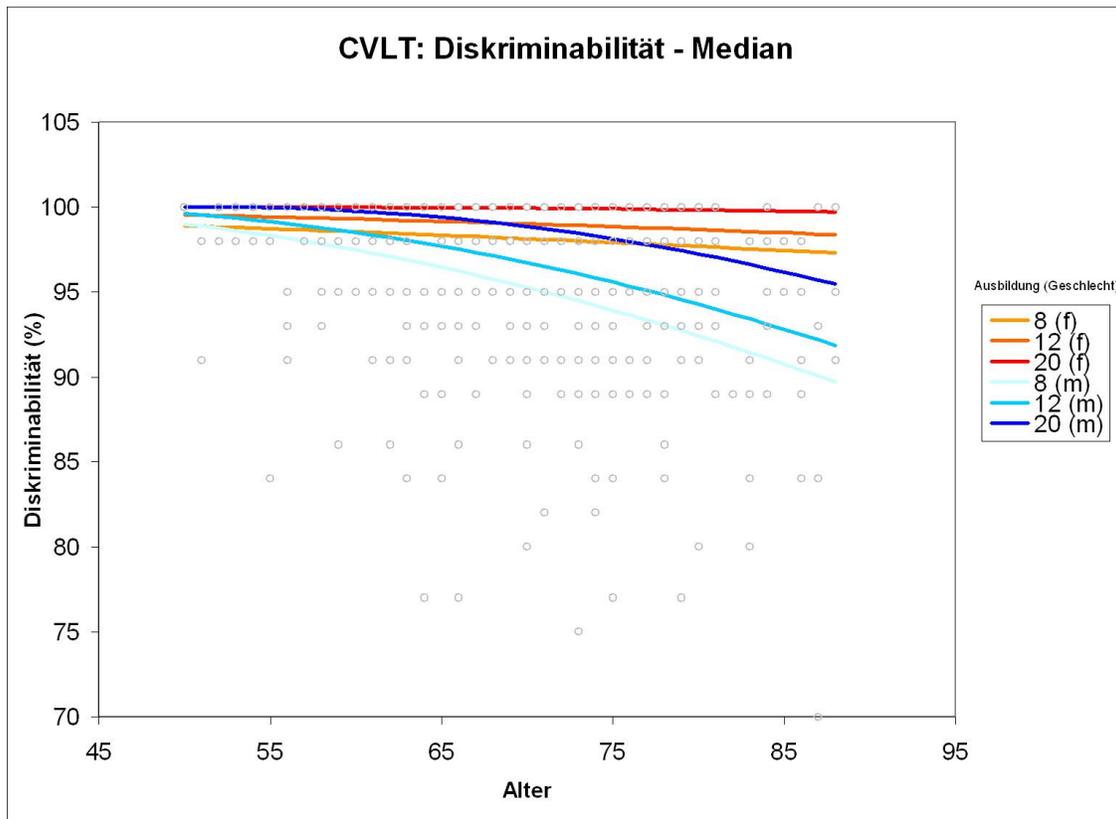


Abbildung 57 – Altersgradient der Diskriminabilität von Wörtern der Liste A (CVLT) in Abhängigkeit dreier unterschiedlicher Ausbildungsdauern (8, 12, 20 Jahre) und Geschlecht vor dem Hintergrund individueller Datenpunkte der Gesamtstichprobe

Tabelle 38 – Mittlere Ausbildungsdauer der Testpersonen des oberen bzw. unteren Quartils bzgl. der Diskriminabilität der Wortliste A (CVLT) stratifiziert nach Alterskohorten

Alterskohorte	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Total
	mittlere Ausbildungsdauer		mittlere Ausbildungsdauer
50-54	11,78	13	11,82
55-59	11,94	11,43	11,68
60-64	12,07	11,92	11,83
65-69	12,63	12	12,46
70-74	12,87	12,13	12,42
75-79	13,3	13,06	12,86
80-84	12,17	11,14	12,13
85-89	13,5	10,63	11,63
<b>Total</b>	<b>12,55</b>	<b>12,08</b>	<b>12,29</b>

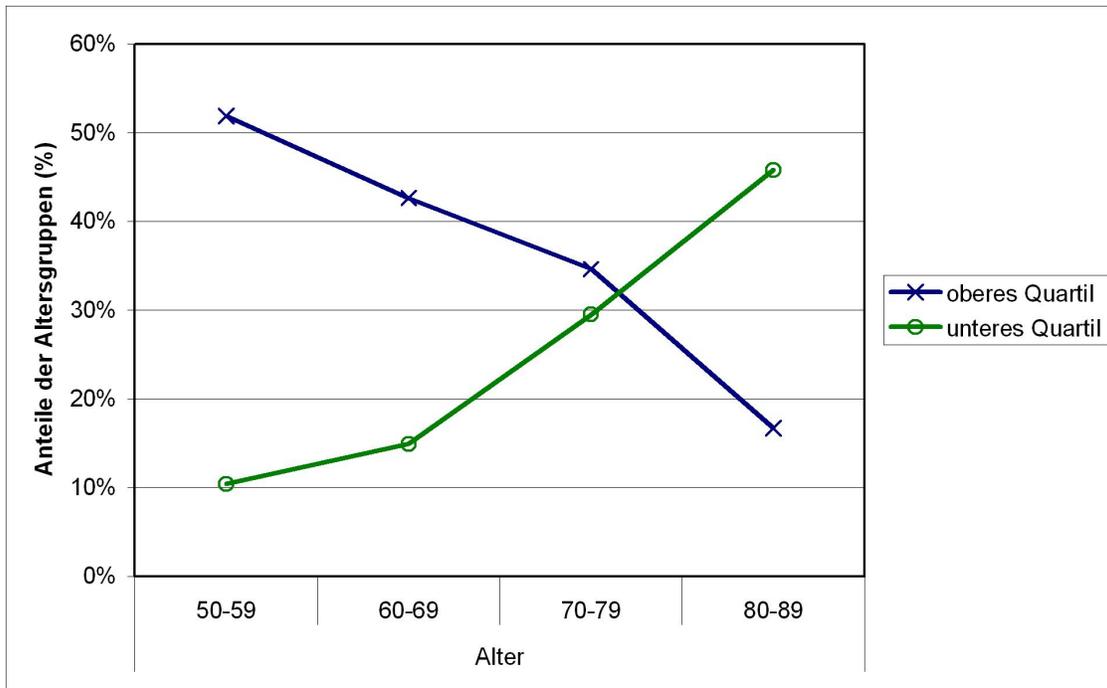


Abbildung 58 – Relativer Anteil der jeweiligen Altersgruppen am unteren und oberen Quartil der Diskriminabilität der Wortliste A (CVLT)

### *Differentielles Altern der Diskriminabilität*

Wie aus zurückliegenden empirischen Beobachtungen bekannt ist (Shepard, 1967), übertreffen Gedächtnisleistungen auf der Basis von Wiedererkennenstest jene des freien Abrufs. Es wird angenommen, dass die Komplexität und die Anzahl der beteiligten kognitiven Prozesse reduziert ist. D.h. die Traversalion der, den Gedächtnisinhalten zugrundeliegenden propositionalen bzw. semantischen Netzwerke und deren Regulation durch das Arbeitsgedächtnis entfällt.

Diese Verminderung beteiligter kognitiver Komponenten führt schließlich zur Überlegenheit der Gedächtnisleistung bei Wiedererkennenstests.

Damit ist es nun möglich Engramme zu inspizieren, die einem freien Abruf aufgrund von wie auch immer gearteten Problemen nicht länger zugänglich sind oder waren. Im klinischen Kontext liefert die ergänzende Applikation des Wiedererkennenstest demzufolge wichtige zusätzliche Informationen darüber, ob es sich bei dem Vorliegen beeinträchtigter Gedächtnisleistungen eher um Enkodierungs- oder aber Abrufdefizite handelt.

Abrufschwierigkeiten unterscheiden sich von Enkodierungsproblemen darin, dass gleichwohl einer geringen freien Abrufleistung, die Diskriminabilität unverändert hoch bleibt, während im umgekehrten Fall sowohl der freie Abruf als auch die Diskriminabilität beeinträchtigt sind.

Hinsichtlich der Entwicklung der Diskriminabilität entlang des Altersquerschnitts können nun folgende Beobachtungen gemacht werden:

1. Der Verlauf des Altergradienten offenbart einen qualitativen Unterschied zwischen Männern und Frauen. Der kurvi-lineare Verlauf wirkt sich bei Männern ( $\beta_{\text{net}} = -0.36$ ) aufgrund ihres gegenüber den Frauen größeren Altersnettoeffekts stärker aus. Die Alter×Geschlecht Interaktion reduziert den Alterseffekt der Frauen auf  $\beta_{\text{net}} = -0.17$ . Daraus folgt, dass der altersbezogenen Verlust der Diskriminabilität seitens der Männer quantitativ größer ist und qualitativ beschleunigt verläuft. Während Frauen eine geringere altersbezogene Verminderung aufweisen, die sich im Querschnitt nahezu linear verhält. Darüber hinaus weisen die formale Ausbildungsdauer und das Geschlecht unabhängig davon einen vergleichbar großen Einfluss auf die Diskriminabilitätsleistung aus. Der Einfluss des Geschlechts übertrifft dabei den der Ausbildungsdauer.
2. Das Modell und damit die Altergradienten tragen qualitative Merkmale, die denen der relativen Behaltensleistung ähnlich sind. Die Struktur des Modells ist identisch und Frauen zeigen, im Vergleich zu den Männern, kaum eine altersbezogene Leistungsverminderung. Es können jedoch auch Unterschiede beobachtet werden.

So spielt die Ausbildungsdauer hinsichtlich der Diskriminabilität eine wesentlich bedeutendere Rolle und der Alterseffekt ist insgesamt deutlich ausgeprägter. Darüber hinaus erklärt das Modell auch einen wesentlich größeren Anteil an der Variabilität. Konnte hinsichtlich der relativen Behaltensleistung lediglich ein Anteil von  $R^2 \approx 5\%$  festgestellt werden, so erklärt das Modell bzgl. der Diskriminabilität einen Varianzanteil von  $R^2 \approx 16,2\%$ . D.h. 83,8% der Varianz bleiben unaufgeklärt.

3. Die Einzeldatenpunkte des Streudiagramms beschreiben – ähnlich den Beobachtungen bzgl. der Geteilten Aufmerksamkeit – eine dreieckige Fläche mit der scheinbar geringsten Streuung am unteren Ende des Querschnitts und einer maximalen Streuung im mittleren Bereich. In der Tat lässt sich auch eine statistisch bedeutsame altersbezogene Varianzerweiterung hinsichtlich der nach Alters-, Geschlechts- und Ausbildungseffekten bereinigten z-Werten beobachten ( $\beta = .336$ ;  $p = .042$ ). So dass man annehmen muss, dass das Alter unter den unkorrigierten Rohwerten einen noch weiterreichenden Einfluss auf die Streuung nimmt. Dies muss als Ausdruck prägnanter differentieller Alterseinflüsse gewertet werden.

Der Vergleich von Angehörigen des oberen Quartils vs. des unteren Quartils lässt Folgendes erkennen:

4. Selbst die ältesten Testteilnehmer können noch einen Wert von 100% Diskriminabilität erreichen. Den in der Stichprobe geringsten Wert erreicht jedoch ebenfalls einer der ältesten Testteilnehmer (mit 70%). Unter den jüngeren Testteilnehmern können hingegen kaum Ausreißer identifiziert werden.
5. Hinsichtlich der Ausbildungsdauer kann in den jeweiligen Quartilen eine näherungsweise symmetrische Entwicklung festgestellt werden.
6. Gleichermaßen eine Symmetrie zeigt auch die altersbezogene Veränderung der Stichprobenanteile in beiden Quartilen. Bei genauerer Betrachtung der Daten offenbart sich jedoch ein überproportionaler Einbruch in der 8. Dekade des oberen Quartils. Wird dieser Einbruch berücksichtigt, ergeben sich asymmetrische Veränderungswerte, wonach der Zunahme um 12,1%/Dekade im unteren Quartil eine Abnahme von nun 8,7% im oberen Quartil gegenübersteht.

Offensichtlich ist eine hohe Wiedererkennensleistung auch noch in höchstem Alter möglich (vgl. Punkt 4), so dass Gedächtnisinhalte auf der Basis des Wiedererkennens nicht nur besonders robust gegenüber Vergessensprozessen im Allgemeinen sondern auch gegenüber kognitiven Veränderungen im Alter sind. Somit scheinen altersbezogene Leistungsdekremete der Merkfähigkeit bei gesunden Personen weitaus eher die Folge einer

verminderten Abruffähigkeit, denn einer Enkodierungsschwäche zu sein. Dies trifft auf Frauen jedoch weitaus eher zu als auf Männer (vgl. Punkt 1). Ähnlichen Schlussfolgerungen können auch hinsichtlich der relativen Behaltensleistungen (siehe S. 173) gezogen werden.

Der Einsatz von Mnemotechniken und subjektiven Organisationsstrategien kann die Abrufleistung verbessern und wird wahrscheinlich weitaus eher unter Personen mit hoher Schulbildung verbreitet sein. So dass die subjektive Verfügbarkeit solcher Strategien eine Moderatorvariable zwischen der Anzahl der formalen Ausbildungsjahre und der Diskriminabilität ist (vgl. Punkt 1. und Punkt 5.).

Wie aus dem Befund einer altersbezogenen Varianzerweiterung (vgl. Punkt 3.) zu ersehen ist, birgt die Diskriminabilität ein Potential für außerordentliche differentielle Alterserscheinungen. Offensichtlich wird dies bei den jeweils unterschiedlichen Altersgradienten für Frauen einerseits und Männer andererseits. Die Alter×Geschlecht Interaktion dürfte demzufolge einen nicht unerheblichen Anteil an der altersbezogenen Varianzerweiterung haben. Darüber hinaus sind in einem mittleren bis höheren Altersbereich auch eine Vielzahl von Personen beobachtbar, deren Werte für die Diskriminabilität extrem von den mittleren Altergradienten abweichen. Dies scheint darauf hinzudeuten, dass sich unter den älteren Testteilnehmern ein geringer Anteil an Personen befindet, der weniger unter Abrufproblemen leidet, als vielmehr mit der Enkodierung des Gedächtnismaterials Schwierigkeiten hat. Inwiefern dieser Personenkreis einer besonderen Gruppe zugehört, die nicht mehr alterentsprechende Leistungen erbringt und sich vielleicht in einem Prodromalstadium eines dementiellen Prozesses befindet, lässt sich zu diesem Zeitpunkt nicht beurteilen. Genauso gut kann angenommen werden, dass ein geringer Anteil älterer Personen mit Enkodierungsproblemen zum natürlichen Phänotyp des älteren Menschen gehört.

## Abruffehler im CVLT – Anzahl der Intrusionen im Zuge des freien Abrufs

### *Deskription der Intrusionen*

Das durch die PRESS-Statistik gewählte optimale Modell stimmt mit dem der DISKRIMINABILITÄT und den SAVINGS überein. Es enthält jeweils einen Alters- ( $\beta = 0.18$ ,  $p = 0.005$ ), Geschlechts- ( $\beta = -0.20$ ,  $p = 0.002$ ) und Ausbildungshaupteffekt ( $\beta = -0.13$ ,  $p = 0.004$ ) und eine Alter $\times$ Geschlecht Interaktion ( $\beta = -0.13$ ,  $p = 0.023$ ). Zum wiederholten Mal wird der Alterseffekt der Frauen durch die Alter $\times$ Geschlecht Interaktion kompensiert (siehe Abb. 59). Die Rohdaten sind durch eine Box-Cox Transformation mit  $\lambda = 0.43$  an die Normalverteilung angenähert.

Bezogen auf die Gruppe der 50jährigen, neigen Frauen – im Vergleich mit Männern – zu einer in der Tendenz leicht erhöhten Anzahl an Intrusionen. Über den Querschnitt sind jedoch keinerlei Verluste festzustellen, während Männern eine altersbezogene Zunahme der Intrusionen zeigen (siehe Tab. 40 und Abb. 59).

Die Verteilung der Variablen Abruffehler ist außerordentlich rechtsschief (Deckeneffekt). Zusammen mit der Diskretheit der Daten führt dies dazu, dass sehr ungleichgroße Gruppen von Leistungsstarken (0 Intrusionen) und –schwachen (2 bis 8 Intrusionen) definiert werden. Über die Hälfte aller Probanden nennen überhaupt keine Intrusionen und sind somit dem oberen Leistungsquartil zuzurechnen. Die Alterseffekte sind auch bezüglich des oberen bzw. unteren Quartils nicht sehr ausgeprägt und wirken sich im Querschnitt sehr gleichförmig auf beiden Gruppen aus. So vermindert sich der altersbezogen Anteil der Testteilnehmer des oberen Quartils um 9,5% pro Dekade, während der Anteil der Personen im unteren Quartil um einen vergleichbaren Anteil von 8,2% pro Dekade zunimmt. Unter den 80-89jährigen befinden sich somit immer noch 35,4% der Altersgruppe unter jenen Testpersonen, die überhaupt keine Intrusionen zeigen, gegenüber einem Anteil von 43,8% derselben Altersgruppe, bei den nunmehr zwischen zwei und acht Intrusionen beobachtet werden können.

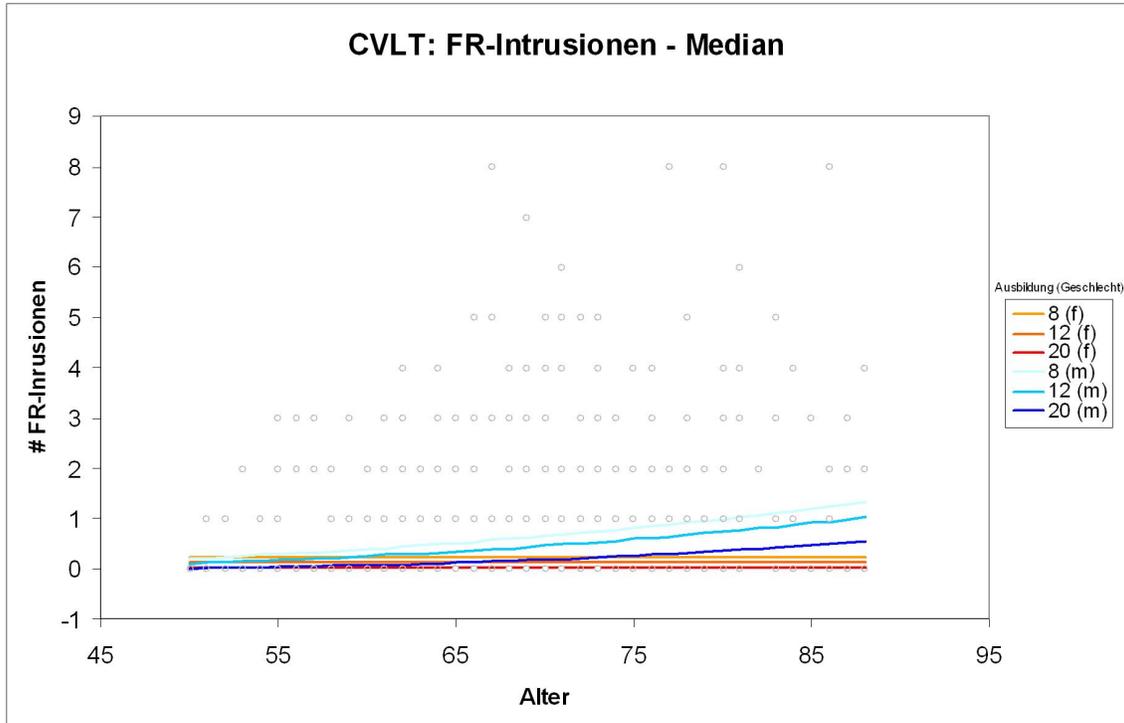
Die Veränderung der Ausbildungsdauer über den Querschnitt ist für beide »Randgruppen« vergleichbar und liegt zwischen 5,2 – 6,7 Monaten/Dekade. Durchschnittlich ist die Ausbildungsdauer der Testteilnehmer des obern Quartils von der der Testteilnehmer des unteren Quartils um 1,2 Jahre höher. Es ist jedoch zu vermuten, dass es sich dabei weitestgehend um ein Artefakt handelt, dass infolge der extrem geringen durchschnittlichen Anzahl von Ausbildungsjahren seitens der jüngsten und ältesten Gruppe im unteren Quartil zu beobachten ist (siehe Tab. 41).

*Tabelle 39 - Absoluter und relativer Anteil des unteren und oberen Quartils bzgl. der Intrusionen des freien Abrufs (CVLT) an der Gesamtstichprobe stratifiziert nach Alterskohorten.*

<b>Altersgruppen</b>		<b>Oberes Quartil</b>	<b>Unteres Quartil</b>	<b>Total</b>
50-59	abs. Häufigkeit	53	12	77
	rel. Häufigkeit	68,80%	15,60%	100%
60-69	abs. Häufigkeit	128	61	242
	rel. Häufigkeit	52,90%	25,20%	100%
70-79	abs. Häufigkeit	138	54	237
	rel. Häufigkeit	58,20%	22,80%	100%
80-89	abs. Häufigkeit	17	21	48
	rel. Häufigkeit	35,40%	43,80%	100%
Total	abs. Häufigkeit	336	148	604
	rel. Häufigkeit	55,60%	24,50%	100%

*Tabelle 40 – Veränderung der Variable FR-INTRUSIONEN in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildung entlang des Altersquerschnitt ( $M_{Alter}$  = Median der jeweiligen Alterskohorte)*

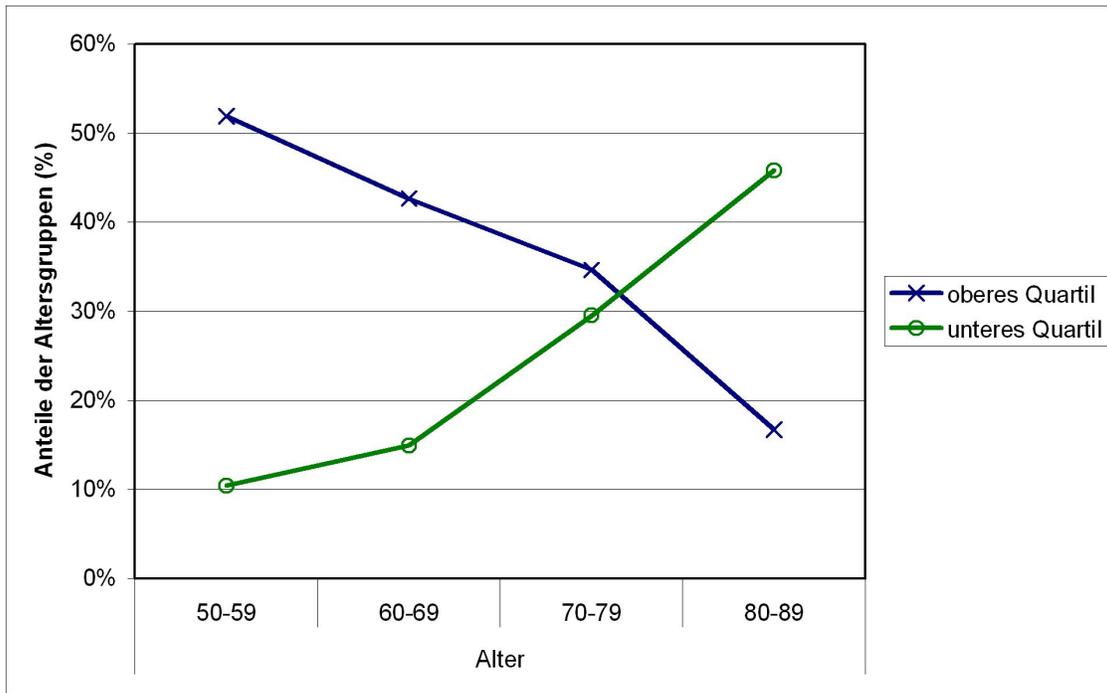
<b>Geschlecht</b>	<b>Ausbildungsdauer (Jahre)</b>	<b>Ausgangsniveau (<math>M_{50}</math>)</b>	<b>Querschnittsdifferenz (<math>M_{88}-M_{50}</math>)</b>
Frauen	8	0.24	0
	12	0.14	0
	20	0.02	0
Männer	8	0.21	1.11
	12	0.12	0.91
	20	0.01	0.55



**Abbildung 59 – Altersgradient der Intrusionen des freien Abrufs (CVLT) in Abhängigkeit dreier unterschiedlicher Ausbildungsdauern (8, 12, 20 Jahre) und Geschlecht vor dem Hintergrund individueller Datenpunkte der Gesamtstichprobe**

*Tabelle 41 – Mittlere Ausbildungsdauer der Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils bzgl. der Intrusionen des freien Abrufs (CVLT) stratifiziert nach Alterskohorten*

Alterskohorte	Oberes Quartil	Unteres Quartil	Total
	mittlere Ausbildungsdauer		
50-54	11,80	8,00	11,82
55-59	11,42	12,45	11,68
60-64	12,07	11,50	11,83
65-69	12,62	11,76	12,46
70-74	12,57	12,36	12,42
75-79	12,64	12,56	12,86
80-84	12,36	12,69	12,13
85-89	13,50	10,63	11,63
<b>Total</b>	<b>12,37</b>	<b>12,01</b>	<b>12,29</b>



**Abbildung 60 – Relativer Anteil der jeweiligen Altersgruppen am unteren und oberen Quartil der Intrusionen des freien Abrufs (CVLT)**

*Differentielles Altern von Abruffehlern (Intrusionen)*

Grundsätzlich lassen sich zwei unterschiedliche Arten von Abruffehlern differenzieren. Zum einen kann das wiederholte Abrufen ein und desselben Items einer Wortliste entgegen anderslautender Instruktionen (Perseverationsfehler) beobachtet werden. Zum anderen aber streuen Testpersonen nicht selten Wörter in den Abruf mit ein, die während der Präsentation der Liste gar nicht enthalten waren. Dieser zweite Typ Abruffehler wird als Intrusion bezeichnet. Intrusionen stehen in der Regel mit den Wörtern der Präsentationsliste in einer semantischen Beziehung und gehören oft einem semantischen Prototyp an. Das häufige Auftreten von Intrusionen weist demnach auf Schwierigkeiten mit der Diskrimination zwischen relevanten und irrelevanten Antworten hin (Fuld et al., 1982). Ist hingegen die semantische Assoziation zwischen den beobachteten Intrusionen mit den Listenwörtern eher gering oder tritt vorzugsweise im Kontext des hinweisgebundenen Abrufs auf, so kann auch eine Beeinträchtigung exekutiver Kontrollfunktionen vermutet werden.

Die altersabhängige Verteilung von Intrusionsfehlern während des freien Abrufs zeigt folgende zentralen Eigenschaften:

1. Die Anzahl der Intrusionen nimmt mäßig aber kurvi-linear mit dem Alter zu. Dies gilt jedoch vorrangig für Männer, zumal die Geschlecht×Alter Interaktion den Alterseffekt der Frauen nahezu kompensiert ( $\beta_{\text{net}} = 0.05$ ). Die altersbezogene Entwicklung der Abruffehler ist bei den Frauen eher linear. Grundsätzlich begehen Frauen weniger Intrusionsfehler als Männer und Testpersonen mit hoher formaler Ausbildungsdauer sind solchen mit geringer formaler Ausbildungsdauer überlegen. Dabei übersteigt erneut der Geschlechtseffekt den Alterseffekt. Insgesamt sind die Effekte jedoch sehr mäßig und im schlechtesten Fall (Männer mit geringer Ausbildungsdauer und 88 Lebensjahren) werden durchschnittlich weniger als 1,5 Intrusionen beobachtet.
2. Strukturell ist das Modell vergleichbar mit dem der Diskriminabilität und dem der relativen Behaltensleistung (vgl. S. 165 und S. 175). Dort, wie auch hier, zeigen sich ausgeprägte Alterseffekte ausschließlich seitens der Männer. Eher jedoch nur mit der relativen Behaltensleistung vergleichbar ist der Anteil der aufgeklärten Varianz, der bei etwa  $R^2 = 6\%$  liegt.
3. Die Betrachtung der Einzeldatenpunkte entlang des Querschnitts lässt erneut eine alterbezogene Zunahme von Extremwerten erkennen. Die Analyse der altersbezogenen Standardabweichungen zeigt eine altersbezogene Varianzerweiterung mit  $\beta = .385$  ( $p=.019$ ). Hinsichtlich der Intrusionen lassen sich demnach beträchtliche interindividuelle Differenzen feststellen, die mit dem Alter darüber hinaus deutlich zunehmen.

Die Betrachtung der »Randgruppen« in im oberen bzw. unteren Quartil zeigt folgende Charakteristika:

4. Es können Testpersonen beobachtet werden, die selbst mit 88 Jahren keine Intrusionen verursachen. Unterhalb des 67. Lebensjahres können Personen mit höchstens 5 Intrusionen festgestellt werden, während das Maximum von 8 Intrusionen nur von älteren Testpersonen erreicht wird.
5. Die Veränderung der durchschnittlichen Ausbildungsdauer im oberen Quartil ist näherungsweise identisch mit der des unteren Quartils. Somit ändert sich die formale Ausbildungsdauer symmetrisch in dieselbe Richtung.
6. Gleichermaßen symmetrisch verhält sich auch die altersbezogene Veränderung der Anteile, die die Testpersonen an den jeweiligen Quartilen haben.

Offensichtlich ist es selbst den betagtesten Testpersonen möglich Wörter einer Gedächtnisliste abzurufen, ohne dass sie sich hinsichtlich ihrer Antworten irren (vgl. Punkt 4.) Dies deutet darauf hin, dass selbst in hohem Alter semantische Suchprozesse – zumindest hinsichtlich des damit verknüpften Entscheidungsprozesses – nahezu fehlerfrei kontrolliert werden können. Insofern sind die Beobachtungen bzgl. Fehlern im Zuge des freien Abrufs konsistent mit jenen hinsichtlich der Diskriminabilität (siehe S. 180). Diese Konsistenz gilt jedoch auch für eine größere Anzahl von Testpersonen, die um das mittlere Alter gelegen, extrem vom zugehörigen Altersmedian abweichen. Und so ist es nicht erstaunlich, dass schließlich eine altersbezogene Zunahme der Fehlervarianz (vgl. Punkt 3.) feststellbar ist. Hierbei handelt es sich um einen ausgeprägten differentiellen Alterseffekt, der zweifellos nicht nur durch die geschlechtsspezifischen differentiellen Altersveränderungen (vgl. Punkt 1.) verursacht ist, sondern seine Quelle möglicherweise auch in der vielseitigen Vulnerabilität der beteiligten kognitiven Prozesse selbst hat. Dazu sind über die bereits geschilderten kognitiven Prozesse hinaus auch mögliche Lern- und Gedächtnisorganisationsstrategien und deren Effektivität für den Abruf des gelernten Materials zu nennen. Es dürfen auch nicht altersbezogene emotionale und motivationale State- und Traitmerkmale vergessen werden. Dies gilt jedoch grundsätzlich für jede Diskussion differentiellen Alterns.

Gleichwohl der deutlichen altersbezogenen Heterogenität der Fehleranzahl, ist eine erstaunliche Gleichförmigkeit der Altersveränderungen in den Quartilen zu beobachten (vgl. Punkt 6.). Dies gilt gleichermaßen für die durchschnittliche Ausbildungsdauer (vgl. Punkt 5.). Es ist jedoch notwendig darauf hinzuweisen, dass die Gesamtverteilung der Intrusionen entlang des Querschnitts von solchen Testpersonen dominiert wird, die überhaupt keine Fehler produzieren. Ihr Anteil fällt selbst bei den betagtesten Teilnehmern nicht unter 35% und liegt bei den jüngsten Testpersonen bei 68,8%. Insgesamt lassen sich unabhängig vom Alter überhaupt nur bei 44,4% aller Testpersonen Intrusionen feststellen. Dabei dürfte jedoch mit zunehmendem Alter der Anteil der Männer den der Frauen immer mehr übersteigen, so dass anzunehmen ist, dass die symmetrischen altersbezogenen Anteils- und Ausbildungsveränderungen im wesentlichen von Männern verursacht sind.

Im wesentlichen sind also semantische Suchprozesse und ihre Kontrolle durch exekutive Funktionen relativ robust gegenüber dem Einfluss altersbedingter Veränderungen. Mehr als die Hälfte der Untersuchungsteilnehmer zeigt überhaupt keine Intrusionen bis ins hohe Alter. Hinsichtlich der zweiten Hälfte der Untersuchungsteilnehmer lassen sich jedoch zuweilen Personen mit einer weit überdurchschnittlichen Neigung zu Intrusionen identifizieren, dessen Ausmaß darüber hinaus mit dem Lebensalter assoziiert ist. Dies lässt auf eine bipolare Entwicklung hinsichtlich der Integrität semantischer Kontroll-, Regulations- und Suchprozesse schließen

## **Diskussion**

## **Intraindividuelles und interindividuelles differentielles Altern**

Differentielles kognitives Altern vollzieht sich sowohl *intraindividuell* als auch *interindividuell*. Intraindividuell differentielle Alterserscheinungen sind *multidimensional* insofern sie sich auf unterschiedliche kognitive Systeme und Prozesse beziehen und *multidirektional* sofern sich die altersbezogene Leistungsentwicklung in unterschiedliche Richtungen vollziehen oder einfach stabil bleiben kann.

Die unterschiedlichen untersuchten Aspekte der Aufmerksamkeit und des verbalen auditiven episodischen Gedächtnis lassen sich der Terminologie Baltes (2000) zufolge dem mechanistischen Anteil der Intelligenz zuordnen und sind demzufolge vorrangig durch Altersabbau bzw. Leistungsverlust betroffen. Dies kann – unabhängig von Geschlecht und formaler Ausbildungsdauer – durchschnittlich auch beobachtet werden (siehe Abb. 61).

Die Perspektive des intraindividuellen differentiellen Alterns lenkt die Beobachtung allgemeiner altersbezogener kognitiver Leistungsverringerungen jedoch auf Fragen der Unterschiedlichkeit mit der diese Leistungsveränderungen in unterschiedlichen kognitiven Domänen einschließlich ihrer jeweiligen Komponenten erfolgen (Multidimensionalität). Dabei sind Ausmaß und Geschwindigkeit der den kognitiven Komponenten zugrundeliegenden Leistungsverminderungen hervorzuheben.

Insofern die zentralen Tendenzen in den jeweils untersuchten Leistungsbereichen des verbalen episodischen Gedächtnis und der unterschiedlichen Aspekte der Aufmerksamkeit zum Zweck der individuellen Leistungsschätzung ermittelt wurden, erscheint es mithin gerechtfertigt, auf dieser Grundlage die intraindividuellen Aspekte differentiellen Alterns zu diskutieren. Der folgende Abschnitt wird daher einerseits die Frage der (1.)

*Unterschiedlichkeit des Alterseinfluss* über unterschiedliche funktionelle Bereiche hinweg beleuchten und sich andererseits (2.) der Frage der *zunehmenden Geschwindigkeit (Beschleunigung)* zuwenden, mit der diese Altersveränderungen im Querschnitt stattfinden.

## *Der intraindividuelle Aspekt differentiellen Alterns*

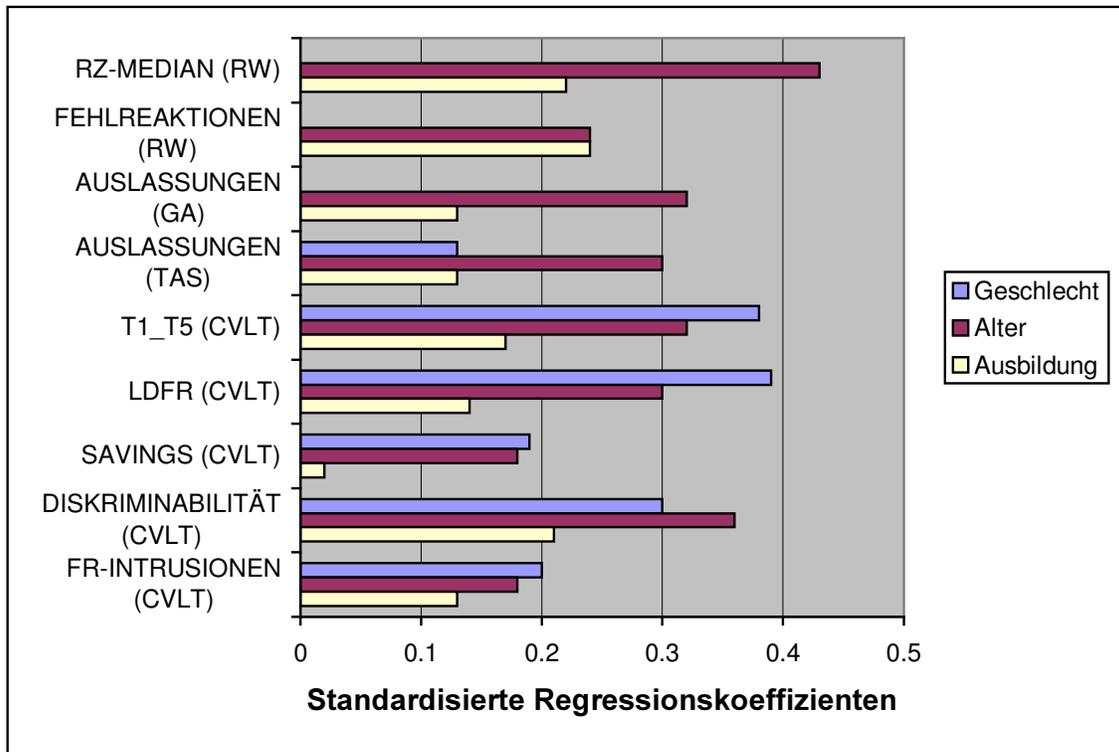
### 1. Geschwindigkeit der altersassoziierten Leistungsverringeringung

Der Betrag des allgemeinen Alterseinfluss ist über sämtliche Funktionsbereiche erstaunlich gleichförmig, wenn anstelle der Einzelwerte, die kombinierte Leistung aus Reaktionszeit und Fehlreaktionen als Kennwert des Reaktionswechsels betrachtet wird ( $r_{\text{Alter}} = -.311$ ). Sämtliche Alterskoeffizienten bewegen sich dann zwischen 0.3 und 0.36. Auszunehmen sind hiervon die geringen Alterseffekte der relativen Behaltensleistung und der Anzahl der Intrusionen. Wie auf S. 174 dargestellt, lässt sich aber der geringe Alterseffekt der relativen Behaltensleistung auf *Bereinigungseffekte* der zugrundeliegenden Abrufmaße zurückführen. Dies gilt jedoch nicht für die Altersabhängigkeit der mittleren Anzahl von Intrusionen, die über die Gesamtzahl der Durchgänge des freien Abrufs auftreten. Der mit ihr assoziierte Alterseffekt ist um die Hälfte geringer als bsw. jener der Diskriminabilität. Die verringerte Bedeutung des Alters geht schon aus der Häufigkeit hervor, mit der lediglich bei 2 von 5 Testpersonen überhaupt Intrusionen beobachtbar sind.

Es ist zu mutmaßen, dass mit Fehlleistungen, die zu Intrusionen führen, qualitativ andere kognitive Komponenten in quantitativ geringerem Ausmaß von altersbezogenen Veränderungen betroffen sind

Bedeutet dies nun umgekehrt, dass der relativ gleichförmige Alterseinfluss auf all die anderen kognitiven Prozessen und Komponenten (operationalisiert durch die Variablen in Abb. 61) auf die selben Quellen kognitiver Altersprozesse zurückführbar ist: auf frontales Altern etwa?

Dies ist mit den vorliegenden Daten zwar nicht schlüssig zu klären. Festzuhalten bleibt jedoch, dass kognitive Altersphänomene im Kontext einer Fülle funktionspezifischer zentralnervöser Netzwerke diskutiert werden und daher der Befund eines relativ gleichförmigen Alterseinfluss über so unterschiedliche Domänen, wie das verbale episodische Gedächtnis, die kognitive Flexibilität, die Geteilte Aufmerksamkeit und die Daueraufmerksamkeit hinweg weit mehr überrascht als zu erwarten ist.



**Abbildung 61 – Standardisierte Regressionskoeffizienten von Alters-, Ausbildungs- und Geschlechtseffekten in Abhängigkeit unterschiedlicher kognitiver Domänen (Aufmerksamkeit bzw. Gedächtnis) und Komponenten (RW = Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung - Reaktionswechsel; GA = Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung - Geteilte Aufmerksamkeit; TAS = Testbatterie für Aufmerksamkeitsysteme (Aufgabe g., 5min.); CVLT = California Verbal Learning Test; T1\_T5 = Gesamtanzahl abgerufener Wörter über fünf Listendurchgänge; LDFR = Langfristig Verzögerter Freier Abruf; SAVINGS = Relative Behaltensleistung).**

## 2. Beschleunigung der altersassoziierten Leistungsverringering

Der querschnittliche Verlauf der Altersmediane in den jeweiligen kognitiven Leistungsbereichen zeigt eine zuweilen beschleunigte Leistungsverringering. Inhaltlich betrachtet, bezeichnet die Beschleunigung des Altersgradienten das Ausmaß, mit dem die kognitive Leistungsveränderung von Jahr zu Jahr zunimmt. Es ist offenkundig, dass kognitive Funktionen, die durch eine relativ große beschleunigte Leistungsverringering gekennzeichnet sind, zu einem früheren Zeitpunkt in der Entwicklung des höheren Lebensalters zum Gegenstand von individuellen Kompensationsbemühungen im Sinne der Psychologie der Lebensspanne werden.

Die beobachtete Beschleunigung ist jedoch keine direkte Folge der Regressionsmethode, sondern resultiert vielmehr aus der Normalisierung der Daten durch eine sorgsam gewählte Transformation der Rohwerte. Das erschwert eine exakte Quantifizierung der im jeweiligen Leistungsbereich beobachteten Beschleunigung, da aus den genannten Transformationen

relativ komplexe Funktionen folgen. Eine brauchbare Heuristik zur Abschätzung der Beschleunigung – zumindest für die mittels einer Box-Cox transformierten Daten – ergibt sich aus der Betrachtung des Transformationskoeffizienten  $\lambda$  und der Höhe des Alterskoeffizienten  $\beta$  (siehe Anhang B).

Die gemeinsame Betrachtungen der Transformationsstärke und des geschlechtsspezifischen Nettoalterseffekts in Anhang B zeigen, dass von stabilen Leistungen und nahezu linearen Alterstrends bis hin zu stark beschleunigten, mit hohen durchschnittlichen Leistungsverlusten verbundenen Gradienten eine große Bandbreite unterschiedlicher (bei Frauen bisweilen multidirektionaler) kognitiver Entwicklungen im Alter beobachtet werden kann.

a. Die beschleunigte Leistungsverringering von Aufmerksamkeitsaspekten

Offensichtlich sind beide Teilkomponenten der kognitiven Flexibilität (Reaktionswechsel: RZ-Median, Fehlreaktionen) unter den anderen Aufmerksamkeitsaspekten am stärksten durch einen beschleunigten Altersverlust betroffen. Daraus kann jedoch aufgrund des altersabhängigen strategischen Testverhaltens nicht geschlossen werden, dass sich auch die kombinierte Leistungsfähigkeit beschleunigt verringert. Abbildung 42 auf Seite 136 legt weitaus eher einen linearen Alterstrend nahe. Ebenfalls mit deutlich zunehmender Geschwindigkeit verringert sich auch die Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit, während sich die Daueraufmerksamkeit nur in geringem Maße beschleunigt verringert.

b. Die beschleunigte Leistungsverringering von Aspekten des verbalen episodischen Gedächtnis

Insgesamt lassen sich seitens einzelner Subkomponenten des verbalen episodischen Gedächtnis eher selten deutlich beschleunigte Leistungsveränderungen beobachten. Wenn überhaupt, gilt dies in der Regel ausschließlich für Männer (Diskriminabilität, Intrusionen). Frauen zeigen in einigen Fällen gar über das Alter hinweg stabile oder näherungsweise stabile Leistungen (relative Behaltensleistung, Diskriminabilität, Intrusionen).

Offensichtlich finden sich auf Seiten der beschleunigten Leistungsveränderung der Alterstrends jene differentiellen Effekte, die zuvor, ausschließlich auf die Alterskoeffizienten der Regression bezogen, nicht zu beobachten waren. Intraindividuell differentielle Alterseffekte sind daher eher durch die Beschleunigung der Alterstrends geprägt, als durch die Höhe des linearen Alterskoeffizienten der Regression.

### 3. Ressourcen und individuelles kognitives Altern

Dies führt zur Frage *verbleibender Ressourcen* und dem daraus erwachsenden Druck auf die *adaptive Kapazität* des alternden Menschen.

Im Sinne des erfolgreichen Alterns kann die adaptive Kapazität durch wechselseitige Kompensation auf unterschiedlichen Regulationsebenen aufrecht erhalten werden. Klar ist, dass Leistungsverminderungen eines bestimmten kognitiven Bereichs durch den Einsatz veränderter Lösungsstrategien, die intakte kognitive Komponenten involvieren, nicht notwendigerweise handlungswirksam werden müssen. Was zwischen unterschiedlichen kognitiven Domänen der Fall ist, kann unter Umständen auch innerhalb einer Domäne gelten. Die dazu notwendigen Reserven sind durch jene kognitiven Komponenten definiert, die eine relativ geringe durchschnittliche altersbezogene Leistungsverringerung bei zugleich geringer Beschleunigung aufweisen. Umgekehrt heißt das aber, dass Leistungsbereiche, die durch ein »schnelles« kognitives Altern gekennzeichnet sind (negativer linearer Alterstrend mit hoher Beschleunigung), zum Gegenstand individueller Kompensationsbemühungen werden.

#### a. Handlungsressourcen

Am Beispiel des *Speed-Accuracy Trade Off* auf Grundlage des Reaktionswechsels kann beobachtet werden, wie ein Strategiewechsel geeignet ist, Altersverluste so zu regulieren, dass der Einfluss einer verminderten Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit auf die Handlungsperformanz geringer wird. Wenn die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit mit zunehmendem Alter nämlich nachlässt, beginnen ältere Personen der Genauigkeit den Vorrang über die Geschwindigkeit einzuräumen.

#### b. Soziale Ressourcen

Offensichtlich sind die Reserven hinsichtlich des verbalen auditiven episodischen Gedächtnisses zwischen den Geschlechtern ungleich zugunsten der Frauen verteilt. Frauen zeigen über sämtliche Charakteristika des episodischen Gedächtnisses deutlich verminderte Altersverluste bei zugleich wesentlich geringerer altersbezogener Beschleunigung. Bisweilen lässt sich sogar eine näherungsweise Stabilität der Leistung beobachten. Die nicht ganz neue Feststellung von Geschlechtsdifferenzen hinsichtlich verbaler episodischer

Gedächtnisleistungen sollte jedoch nicht dazu führen, Frauen generell ein besseres episodisches Gedächtnis zuzuschreiben. Vielmehr handelt es sich wohl eher um einen in der Intelligenzforschung schon seit lange bekannten materialspezifischen Effekt (Maccoby & Jacklin, 1975; Merz, 1979), wonach Frauen den Männern überlegene verbale und Männer hingegen den Frauen überlegene nonverbale Leistungen erbringen. Gerade darin liegt jedoch auch das Potential für Kompensationsstrategien zur Aufrechterhaltung der adaptiven Kapazität noch in höherem Lebensalter. Die Regulation geschlechtsspezifischer Leistungsverminderungen muss auf interpersoneller Ebene ansetzen und erfordert daher die Einbettung des alternden Menschen in ein intaktes soziales Netzwerk, sei es in eher traditioneller Gestalt der ehelichen Partnerschaft oder in moderneren Formen der Wohn- und Lebensgemeinschaft. Der in westlichen Industriegesellschaften beobachtbare Trend zur Vereinzelung im Alter im Kontext einer generellen Veränderung der Familienstruktur hat daher auch aus der Perspektive des kognitiven Alterns einen kontraproduktiven Einfluss.

### c. Edukative Ressourcen

Insofern der Terminus »Ressource« alle möglichen einer Person verfügbaren Eigenschaften, umgebenden Bedingungen und Reserven impliziert, die zur Bewältigung einer Aufgabe notwendig sind, ist auch die Anzahl der formalen Ausbildungsjahre darunter zu subsumieren. Über alle betrachteten kognitiven Teilfunktionen des episodischen Gedächtnisses oder der verschiedenen Aspekte der Aufmerksamkeit ist das Merkmal einer hohen formalen Ausbildungsdauer mit einer überlegenen Leistungsfähigkeit assoziiert (mit Ausnahme der relativen Leistungsfähigkeit, die durch die auf S. 174 diskutierten Bereinigungseffekte gekennzeichnet ist). Die Beträge der Ausbildungseffekte liegen in der Regel zwischen .13 und .17, nur in drei Fällen gehen sie über .20 hinaus (Reaktionswechsel, Diskriminabilität). Damit sind die Effekt der Ausbildungsdauer vergleichsweise gering. Es können jedoch nicht nur quantitative Eigenschaften mit ihr in Verbindung gebracht werden, vielmehr lassen sich hinsichtlich der kognitiven Flexibilität auch Trends beobachten, wonach eine hohe Ausbildungsdauer auch mit einer verringerten Leistungsvarianz (kombinierte Leistungsfähigkeit) bzw. einer Tendenz zu kongruenter Leistungsfähigkeit verbunden ist (vgl. S. 132; Abb. 39). Wie kann aber nun der Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit in unterschiedlichen kognitiven Leistungsbereichen mit der Schulbildung, die durchschnittlich 50.6 Jahre zurückliegt, interpretiert werden? Eine direkte kausale Beziehung ist bei einer solchen Zeitspanne offensichtlich auszuschließen.

Eine ganze Reihe von Faktoren sind prinzipiell als Moderatoren zwischen der lange zurückliegenden Schul- und Ausbildungszeit und der in höherem Alter beobachteten

kognitiven Leistungsfähigkeit denkbar. Folgendes wurde in der zurückliegenden Resultatsdarstellung bereits erörtert:

- Kognitive Flexibilität (Reaktionswechsel): Testpersonen mit hoher Ausbildungsdauer verfügen u.U. über ein geringeres Maß an Ängstlichkeit bzw. höheres Maß an Offenheit gegenüber ihnen nicht vertrauten Aufgaben. Zugleich sind sie einfacher zu motivieren und besitzen eine höhere Selbstwirksamkeitserwartung (Persönlichkeitsmerkmale). Dies sollte eine günstigere Aufgabenorientierung nach sich ziehen, die wiederum zu verbesserten Aufmerksamkeitsleistungen führt.
- Diskriminabilität (episodisches Gedächtnis): Effiziente Enkodierungsstrategien sind eher bei Personen zu erwarten, die eine hohe formale Ausbildungsdauer aufweisen. Mit effizienteren Strategien zum Erwerb neuen Wissens, sollte die Gedächtnisleistung auch ganz allgemein verbessert werden können.

Es muss jedoch klar gestellt werden, dass diese Eigenschaften höchstens durch die Schulausbildung initiiert, nicht jedoch direkt in höherem Alter wirksam sind. Vielmehr ist es die mit der Ausbildungsdauer korrelierte Berufslaufbahn und die mit ihr verbundenen Anforderung an die kognitive Leistungsfähigkeit die über die Lebensspanne hinweg zu *selektiven Expertisen* (Salthouse, 1985) in unterschiedlichen Leistungsdomänen führt. »[Der Begriff der Expertise] ... umfasst hochspezialisierte und automatisierte Fertigkeiten wie Schreibmaschineschreiben, erstreckt sich auf inhaltlich abgegrenzte Bereiche des Wissens (z.B. über das Schachspiel) und meint darüber hinaus auch sowohl das notwendige Erfahrungswissen, um vertraute Alltagsprobleme zu lösen, als auch die erforderlichen speziellen Kompetenzen für herausragende wissenschaftliche, künstlerische, handwerkliche und sportliche Leistungen« (Weinert, 1994, S.193). Die durchschnittliche Zeitdauer für den Erwerb einer Expertise z.B. im Schachspiel erfordert etwa 10 Jahre der Übung und des Trainings (Chase & Simon, 1973).

Eine Expertise kann also nur langfristig und mit viel Übung verbunden entwickelt werden. Übung und Erfahrung ist generell zur Aufrechterhaltung einmal erworbener Fähigkeiten notwendig. Reißt die Auseinandersetzung mit bestimmten Fertigkeiten jedoch ab, dann vermindert sich nach und nach auch die Leistungsfähigkeit (Disuse); vergleichbar mit der Atrophie eines Muskels der nicht mehr trainiert wird. Die Ausbildung einzelner Fähigkeitsbereiche entsprechend der jeweiligen individuellen Biographie zieht daher die Aufrechterhaltung bzw. Entwicklung von Fertigkeiten in spezifischen kognitiven Domänen nach sich während andere gänzlich vernachlässigt oder kaum gebraucht werden. Die Veränderung des kognitiven Leistungsprofil über die Lebensspanne entspricht demzufolge der Entwicklung des generell kompetenten Novizen zum selektiven Experten (Salthouse, 1985).

Von Gedächtnisleistungen, die auf Bereichen mit Expertise beruhen, ist schon lange bekannt, dass sie Gedächtnisleistungen in anderen Bereichen überlegen sind (Chase & Simon, 1973). Dies lässt sich auf eine überlegene Arbeitsgedächtniskapazität, die aus der Fähigkeit mehr und elaboriertere Chunks zu kodieren folgt, als auch durch die Anwendung spezifischer Retrieval und Encoding Strukturen zurückführen (Anderson, 1996).

Das Konzept der selektiven Expertise impliziert, dass ihre Anzahl und Qualität individuell mit Persönlichkeitsmerkmalen wie Intelligenz, Ängstlichkeit und Selbstwirksamkeit korrelieren. Dabei ist die Selbstwirksamkeit (Self-Efficacy, Bandura, 1986) die subjektive Beurteilung der individuell benötigten Handlungsabläufe und –organisation zur Erreichung eines bestimmten Leistungsniveaus. Demzufolge hat die Selbstwirksamkeit weniger mit den verfügbaren Fertigkeiten zu tun, als vielmehr der Beurteilung dessen, was subjektiv erreichbar ist. Personen mit hoher Selbstwirksamkeit betreiben nachgewiesenermaßen mehr Aufwand und zeigen mehr Ausdauer bei der Lösung von Problemen und sind weniger mit Selbstzweifeln behaftet (Bandura, 1989).

Die Reichhaltigkeit und Qualität von Expertisen in unterschiedlichen Bereichen sollte zu einer Zunahme der Wahrscheinlichkeit führen, identischer Merkmale auch in anderen Domänen vorzufinden, wenngleich sie der Expertise nicht zugehören. Dementsprechend muss mit einem positiven Transfer in einer Vielzahl von Fähigkeitsbereichen gerechnet werden, die den Bereichen der eigenen Expertise nur ähnlich sind<sup>\*</sup>.

Das Konzept der selektiven Expertise und Persönlichkeitsmerkmale wie die Selbstwirksamkeitserwartung beinhalten somit das Potential, den Einfluss formaler Ausbildungsdauer auf neuropsychologische Testresultate zu erhellen und bei ihrer Berücksichtigung genauere Schlussfolgerungen auf die tatsächliche individuelle Leistungsfähigkeit zuzulassen. Gegenwärtig ist dies jedoch noch eine offene Frage, die grundlegender Forschungsbemühungen bedarf.

---

\* Expertisen sind zunächst einmal domänenspezifisch. D.h. der Transfer in Fähigkeitsbereiche, die nicht der Expertise zugehören findet entweder gar nicht oder nur in einem geringen Umfang statt. Dieser Sachverhalt konnte schon mehrfach empirisch gezeigt werden. Beispielsweise war es brasilianischen Kindern nicht möglich Rechenoperation, die sie im Straßenhandel gebrauchten, unter formalen Bedingungen im Labor zu replizieren (Carragher, Carragher & Schliemann, 1985). Offensichtlich sind für einen positiven Transfer *identische Merkmale mit dem Expertisekontext* notwendig (Thorndike, 1906; vgl. Anderson, 1996), denn in Form von Textaufgaben, die Szenarien des Straßenhandels zum Inhalt hatten, verbesserten sich die Leistungen der Kinder erheblich, obgleich Textaufgaben den üblichen Befunden zufolge von Kindern als schwieriger empfunden werden.

### *Der interindividuelle Aspekt differentiellen Alterns*

Differentielles kognitives Altern vollzieht sich auch interindividuell. Damit verschiebt sich die Perspektive vom Individuum und dessen geschätzter Leistungsentwicklung innerhalb und zwischen unterschiedlichen kognitiven Systemen auf die Ebene der Population bzw. Stichprobe und der Betrachtung der Leistungsveränderung von Personen unterschiedlichen Alters.

Über einige, der betrachteten Aufmerksamkeits- und Gedächtnisparameter kann eine augenscheinliche Zunahme der Leistungsvariabilität mit dem Lebensalter beobachtet werden. Offensichtlich ist dies bei der Geteilten Aufmerksamkeit und der Diskriminabilität des verbalen episodischen Gedächtnisses der Fall. Wie sich aber bei genaueren Analysen herausstellt, lässt sich diese scheinbare altersbezogene Leistungsvariabilität mindestens hinsichtlich der Geteilten Aufmerksamkeit ausschließlich auf Einflüsse des Geschlechts und der formalen Ausbildungsdauer zurückführen, denn aus den Alterskohorten direkt erwachsenden Einflüssen auf Leistungsdifferenzen zwischen den Testpersonen. Dies ist jedoch nicht überall der Fall. Zumindest für die Diskriminabilität und die Anzahl intrusiver Abruffehler (verbales episodisches Gedächtnis) zeigt sich auch dann eine statistisch bedeutende altersbezogene Varianzerweiterung, nachdem die Einflüsse des Geschlechts und der Ausbildung auf die Testresultate berücksichtigt wurden. Die altersbezogene Varianzerweiterung kann hypothetisch aus mehrerlei Gründen resultieren:

1. Einerseits besteht die Möglichkeit, dass von wenigen Testpersonen mit zunehmendem Alter deutlich schlechtere Leistungen erbracht werden, während sich der weitaus größte Anteil der Testteilnehmer in einem mittleren, dem Alter entsprechenden Leistungsbereich befindet und wenige zu herausragend guten Leistungen befähigt sind. Dann wäre die altersbezogene Varianzerweiterung aufgrund der methodischen Sensibilität der Varianzberechnung (von extremen Abweichungen vom Mittelwert) durch wenige Testpersonen verursacht, die mit höherem Alter zu immer extremer unterdurchschnittlichen Leistungen neigen. Dies hätte seine Entsprechung in einer mit dem Alter zunehmend schiefen Leistungsverteilung.
2. Andererseits besteht die Möglichkeit eines gleichförmigen Einflusses auf die altersbezogene Leistungsfähigkeit, so dass zwar eine Zunahme der Varianz mit dem Alter beobachtbar ist, nicht jedoch eine Veränderung der Verteilungsschiefe. Varianten (1.) und (2.) implizieren eine individuell unterschiedliche Veränderung des Altersgradienten bei gegebenem Lebensalter.

3. Eine dritte Variante ergibt sich aus einer sich mit dem Alter bipolar vollziehenden Leistungsentwicklung. Dies würde die Überlagerung zweier Gruppen mit divergierender Leistungsentwicklung implizieren. Hier wäre jedoch Einflussfaktoren zu mutmaßen, die systematisch mit dem Alter konfundiert sind. Eine solche Konstellation ist durch eine zweigipfelige Verteilung gekennzeichnet.

Auf der Grundlage der Rohwerte lassen sich Polarisierungstendenzen entweder in Richtung des oberen oder aber des unteren Quartils zulasten des mittleren Leistungsbereiches erkennen. Eine derartige altersbezogene Ausdünnung des mittleren Leistungsbereiches kann hinsichtlich des langfristigen und freien Abrufs (verbales episodisches Gedächtnis) und der Reaktionsgeschwindigkeit (kognitive Flexibilität) beobachtet werden (siehe Abb. 30). In beiden Fällen ist zum einen ein deutlicher Einbruch beim Anteil der Hochbetagten am oberen Quartil zu erkennen. Zum anderen kann jedoch keine statistisch signifikante altersbezogene Varianzerweiterung beobachtet werden. Es kann daher darauf geschlossen werden, dass die Effekte der Ausbildung und des Geschlechts einen bedeutenden Beitrag zu dieser polarisierten Altersentwicklung leisten. Im Falle der Reaktionszeiten (kognitive Flexibilität) ist nicht auszuschließen, dass es sich um einen kombinierten Effekt des direkten Einflusses der Ausbildungsdauer auf die Reaktionsgeschwindigkeit einerseits (wonach eine hohe Ausbildungsdauer mit einer geringen Reaktionszeit korreliert) und der Neigung von Testpersonen mit hoher Ausbildungsdauer zu eher kongruenten Leistungen (Balance zwischen Reaktionszeit und Fehlreaktionen) andererseits handelt. Anders verhält es sich vermutlich mit der polarisierten Leistungsentwicklung, die hinsichtlich des langfristigen freien Abrufs (LDFR) beobachtet werden kann. Hier ist der größte Geschlechtseffekt verglichen mit allen anderen Aufmerksamkeits- und Gedächtnisparameter festzustellen. Der Trend der Frauen auch noch in fortgeschrittenem Alter zu vergleichsweise guten Gedächtnisleistungen dürfte nicht unerheblich Anteil an der beobachteten Polarität haben.

Eine bipolare Entwicklung im Sinne von Punkt (3.) (siehe oben) kann jedoch in Bezug zur Diskriminabilitätsleistung und zur Anzahl intrusiver Abruffehler (verbales episodisches Gedächtnis) festgestellt werden. Die altersbezogene Entwicklung hinsichtlich beider Leistungen sind in der Tat statistisch signifikant durch eine Varianzerweiterung gekennzeichnet (siehe oben) und auch die Schiefen der jeweiligen Verteilungen sind mit dem Alter korreliert (siehe Anhang A). Darüber hinaus lässt sich aber eine deutliche Zweigipfeligkeit der um die demographischen Effekte bereinigten Verteilungen erkennen, die scheinbar Ausdruck zweier sich dissoziiert voneinander entwickelnden Subpopulationen ist. Zum einen lässt sich jeweils eine Gruppe von Testpersonen identifizieren, die um das Diskriminabilitätsmaximum (100%) bzw. Minimum der intrusiven Abruffehler (0) liegen. Zum

anderen scheint sich der Rest der Stichprobe, der den hauptsächlichsten Anteil an der Gesamtvarianz der Rohwerte hat und suboptimale Resultate erzielt, davon abzugrenzen. Die Trennung der Beiden Gruppen ist auch empirisch gut zu charakterisieren (siehe Anhang A), da sich beide Gruppen sowohl in der Entwicklung der ihnen zugehörigen altersabhängigen Standardabweichungen als auch der Mittelwerte deutlich unterscheiden. Demnach ist die Alterabhängige Standardabweichung bzw. Varianzerweiterung stärker von der jeweils überdurchschnittlich leistungsfähigen Subgruppe verursacht, als von der eher unterdurchschnittlichen (bzgl. Diskriminabilität) oder durchschnittlichen (bzgl. Intrusionen) Subgruppe.

Darüber hinaus lassen sich sogar altersabhängige Mittelwertzunahmen bei überdurchschnittlichen Testpersonen beobachten. Ein weiteres lässt sich spezifisch für die Hochbetagten (80-89jährige, siehe Abb. 70 und 71, Anhang A) in den überdurchschnittlichen Subgruppen beobachten: Ihre Standardabweichungen und Mittelwerte beginnen sich außerordentlich un stetig zu verhalten.

Offensichtlich sind diese Beobachtungen jedoch auf das Zusammenwirken eines Decken- bzw. Bodeneffektes mit der Alterskorrektur der z-Wertberechnung zurückzuführen. Die Rohwertverteilungen beider Gedächtnisparameter eint die Gemeinsamkeit sehr deutlich ausgeprägter Boden- bzw. Deckeneffekte. Wie bereits geschildert, zeigen lediglich 2 von 5 Testpersonen überhaupt Intrusionen. Demgegenüber sind lediglich bei geringfügig mehr als 3 von 5 Testpersonen Diskriminabilitätsleistungen beobachtbar, die von 100% unterschieden sind. Die ausgeprägten Effekte führen zu dem Artefakt einer zweipfelfigen Häufigkeitsverteilung bzw. der altersbezogenen Mittelwertzunahme seitens der überdurchschnittlich leistungsfähigen Testteilnehmer. Inhaltlich bedeutet das, dass es sich bei diesen Subgruppen um besonders erfolgreiche ältere Testpersonen handelt, deren Leistungsfähigkeit nur durch den Test begrenzt werden kann. Diese Leistungsfähigkeit besteht zum einen in einer hervorragenden Diskriminabilitäts- bzw. einer sehr guten Enkodierungsleistung und zum anderen in einer hervorragenden Kontrolle der semantischen Informationsverarbeitung. Mit dem Alter von 80 Jahren scheint jedoch der kognitive Altersprozess soweit fortgeschritten zu sein, dass die Begrenzungen durch den Boden- bzw. Deckeneffekt langsam ihre Wirkungen einzubüßen beginnen.

Der gemeinsame Varianzanteil zwischen der Diskriminabilitätsleistung und der Anzahl intrusiver Abruffehler ist relativ gering (ca. 6,3%), so dass man annehmen muss, dass die jeweiligen Subgruppen nicht sonderlich gut korrespondieren. D.h. Testpersonen, die über eine herausragende Kontrolle der semantischen Informationsverarbeitung verfügen, müssen nicht notwendigerweise auch sehr gute Diskriminabilitätsleistungen erbringen und umgekehrt.

Aus der Beobachtung von Häufigkeitsverteilungen in anderen Leistungsbereichen geht jedoch hervor, dass eine statistisch nachweisbare Varianzerweiterung auch auf anderen Bedingungen beruhen kann, denn auf Boden- und Deckeneffekten. Ein nach Alter stratifiziertes Histogramm der Reaktionszeiten (z-Werte) bzgl. der Geteilten Aufmerksamkeit zeigt jedenfalls keine bipolare Entwicklung, obgleich eine Varianzerweiterung auch hier festgestellt werden kann (siehe Abb. 62). Es ist also nicht auszuschließen, dass die mit dem Alter zunehmenden interindividuellen Leistungsdifferenzen auf interindividuell unterschiedlich beschleunigte oder bisweilen sogar linear verlaufende Altergradienten und/oder mit unterschiedlichem Lebensalter einsetzenden Altersveränderungen zurückführbar sind. Demnach ist damit zu rechnen, dass einige Personen bis ins hohe Alter ihre relative Leistungsfähigkeit (gemessen an der Gesamtpopulation) beibehalten und kaum Einbußen zeigen, während Andere schon in früheren Lebensabschnitten deutliche und fortschreitende Verminderungen zeigen (siehe Abb. 63).

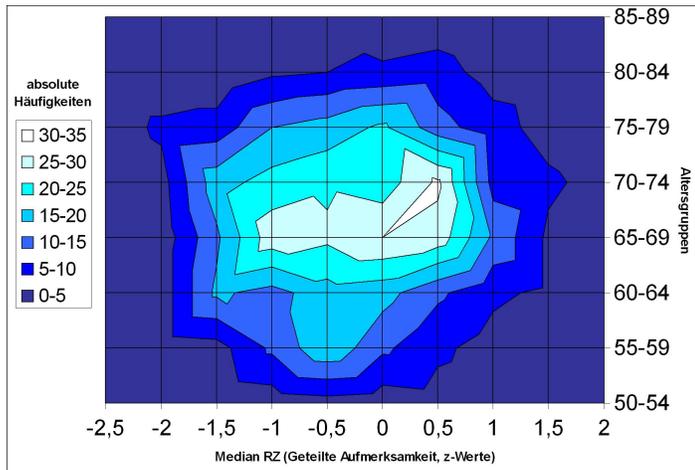


Abbildung 62 – Histogramm der RZ Mediane bzgl. der Aufgabe »Geteilte Aufmerksamkeit« stratifiziert nach Altersgruppen. Es ist deutlich zu erkennen, wie sich der Schwerpunkt der Verteilung mit dem Alter nach rechts verlagert und somit vermutlich die Varianzerweiterung verursacht.

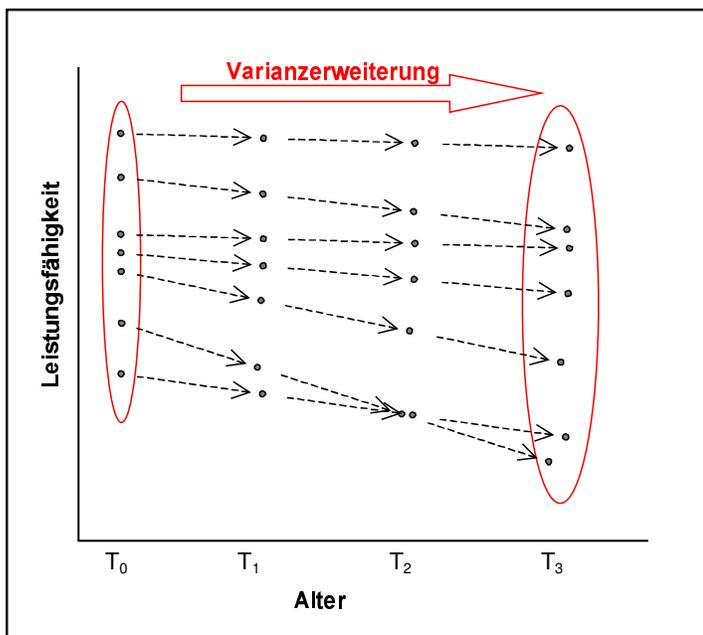


Abbildung 63 – Die Varianzerweiterung als Folge interindividuell unterschiedlicher Altersgradienten. Aus Gründen der Vereinfachung sind die Gradienten ausschließlich linear abgebildet. Nicht-lineare Gradienten, wie sie bei unterschiedlichen Kennwerten der Aufmerksamkeit und des verbalen episodischen Gedächtnisses beobachtet werden, würden den Effekt vermutlich noch verstärken.

## **Normen als altersfaire Deduktionen**

In engem Zusammenhang mit der altersbezogenen Varianzerweiterung steht die Frage der Altersfairness von Normwerten, die sich aus einer Stichprobe mit solchen Eigenschaften ableiten lassen. Wie auf S. 79 erörtert, führt die Vernachlässigung von Varianzerweiterungsphänomenen zu systematischen Unter- bzw. Überschätzungen der eigentlichen Leistungsfähigkeit. Abhängig davon, ob sich nun eine individuelle Testperson vor oder jenseits des Altersmittelwertes der Normstichprobe befindet und ob sie eher über- oder unterdurchschnittliche Leistungswerte erreicht, können Verzerrungen eintreten, die auf die Sensitivität des Testresultates Einfluss nehmen. Altersfairness meint in diesem Zusammenhang die angemessene Berücksichtigung solcher mit dem gesunden bzw. erfolgreichen Altern in Zusammenhang stehenden Veränderungen der kognitiven Leistungsfähigkeit sowohl auf der Ebene der Mittelwerte als auch auf der Ebene der Standardabweichungen.

Die Vorhersage von Testvariablen des CVLT und der TAP/TAS mittels der PRESS-Statistik ermöglicht die Berechnung von demographischen Einflüssen unabhängiger Normen auf Einzelfallbasis, indem die Residuen der Vorhersagemodelle am Standardfehler des jeweiligen Modells relativiert werden und daraus z-Werte folgen, die die Abweichung einer individuellen Leistung vom Mittelwert der Normstichprobe direkt in Einheiten der Standardabweichung angeben.

Dabei garantieren die hohe Stichprobengröße und die daraus resultierende hohe Power einerseits und die sorgfältige Normalisierung der Daten mit einer u.U. notwendigen Korrektur der altersbezogenen Varianzerweiterung andererseits eine maximale Schätztreue der demographischen Modelle und der daraus kalkulierten Normwerte.

Infolge der test- und personenübergreifenden Vergleichbarkeit von z-Werten können Profile der interessierenden Testvariablen zusammengestellt werden, die auf einen Blick mit hoher Informationsdichte Aufschluss über die Leistungsfähigkeit der Testpersonen oder des Patienten geben.

Entsprechend seiner eigenen demographischen Charakteristik wird einer individuellen Testperson, je nach der Beziehung zwischen erreichten Testwert und der demographischen Effekte, entweder ein Bonus oder aber ein Malus in Bezug zu einer spezifischen Testvariable gewährt. Somit besteht die Möglichkeit, dass zwei unterschiedliche Testpersonen mit identischen Rohwerten infolge ihrer unterschiedlichen demographischen Charakteristik, unterschiedliche z-Werte erhalten. Oder das Umgekehrte: Obgleich unterschiedlicher Rohwerte erhalten zwei Testpersonen infolge unterschiedlicher demographischer Charakteristika identische z-Werte.

Tabelle 42 stellt die beobachteten Variablenausprägungen zweier unterschiedlicher Personen der Normenstichprobe dar. Die im Anschluss dargestellten Abbildungen zeigen das jeweilige z-Werte Profil, das von Alter, Ausbildungsdauer und Geschlecht unabhängig ist. Obleich nun beide dargestellten Testpersonen ähnlich große Reaktionszeiten (RZ-MEDIAN) in der Aufgabe Reaktionswechsel erzielen, sind die daraus resultierenden z-Werte doch recht unterschiedlich. Während die 80jährige Frau einen Z-Wert von  $Z = 0.29$  bei vergleichsweise einer größeren RZ erreicht, erhält der 59jährige Mann einen Z-Wert von  $Z = -1.13$  und befindet sich somit unter den 13% schlechtesten Testpersonen der Referenzstichprobe (Normstichprobe).

Tabelle 42 – Rohwerte der Testvariablen zweier Personen unterschiedlicher demographischer Charakteristika.

Variablen Rohwerte	ID 878; w; 80 Jahre; 8 Jahre Ausbildung	ID 5698; m; 59 Jahre; 11 Jahre Ausbildung
RZ-MEDIAN (RW)	1533.5	1440
FEHLREAKTIONEN (RW)	5	4
AUSLASSUNGEN (GA)	0	4
AUSLASSUNGEN (TAS)	4	0
T1_T5 (CVLT)	47	60
LDFR (CVLT)	10	13
SAVINGS (CVLT)	90.91%	86.67%
DISKRIMINABILITÄT (CVLT)	100%	95.45%
FR-INTRUSIONEN (CVLT)	1	0

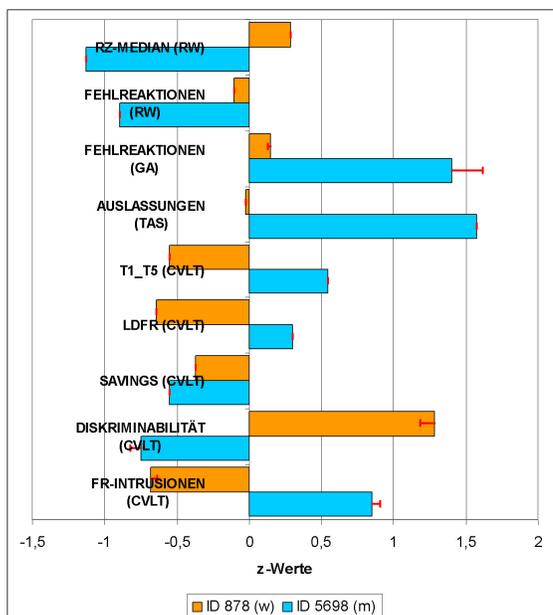


Abbildung 64 – Leistungsprofile in Standardwerten (z-Werten) entsprechend der Rohwerte in Tabelle 42.

Blau: Leistungsprofil des 59jährigen Mannes.

Orange: das Leistungsprofil für die 80jährige Frau. Die roten T-Balken entsprechen den z-Werten nach der Korrektur für die Standardabweichung.

Obleich in mancher Hinsicht ähnlicher Rohwerte unterscheiden sich die kognitiven Profile beträchtlich.

Das Profil der 80jährigen Frau zeigt insgesamt durchschnittliche Aufmerksamkeitsleistungen bei leichten Gedächtnisschwächen, die infolge der DISKRIMINABILITÄT als Abrufdefizite verstanden werden müssen. Das Profil des Mannes hingegen zeigt die umgekehrte Tendenz. Bei einer eher unterdurchschnittlicher Flexibilität (RZ-MEDIAN, FEHLREAKTIONEN) und Geteilter Aufmerksamkeit sind die Werte für Daueraufmerksamkeit (FEHLREAKTIONEN, TAS) überdurchschnittlich ausgeprägt. Lern- und Abrufleistungen sind hingegen in einem mittleren Bereich anzusiedeln, während die Ausprägung der SAVINGS und der DISKRIMINABILITÄT auf leichte Schwierigkeiten mit der Enkodierung und der semantischen Informationsverarbeitung schließen lassen. Die in den Profilen enthaltenen T-Balken zeigen die Korrektur der Standardabweichung, der zufolge eine Anpassung der z-Werte erfolgt ist (vgl. S. 106). Der Betrag der z-Werte wird somit für alle betroffenen Variablen genau dann vermindert, wenn das Alter der Testperson größer als das durchschnittliche Alter der Normstichprobe ist und genau dann vergrößert, wenn das Alter unterhalb des Durchschnitts liegt.

Von dieser Anpassung wird erwartet, dass sie zu einer höheren Sensitivität der z-Werte führt. Bei empirisch definierten Cut-Off Werten, können solche Korrekturen eine kritische Bedeutung bekommen. Zum einen für die Ermittlung der Cut-Off Werte selbst und zum anderen für die damit in Verbindung stehende diagnostische Entscheidung im Einzelfall. Die Beobachtung jedoch, wonach die Diskriminabilität und die Anzahl intrusiver Abruffehler nur deswegen eine Varianzerweiterung zeigen, weil die jeweiligen Verteilungen außerordentlich schief verteilt (in der Tat sogar das Merkmal der Zweigipfeligkeit aufweisen) und mit Decken- und Bodeneffekten behaftet sind, lässt jedoch die Korrektur der Normwerte nach einer altersbezogenen Varianzerweiterung in zweifelhaftem Licht erscheinen. Die Korrektur der Varianzerweiterung ist nur unter der Bedingung einer gleichförmigen Zunahme interindividueller Differenzen mit dem Alter legitim. In Bezug auf die Diskriminabilität und der Anzahl der Intrusionen ist dies jedoch offensichtlich nicht der Fall.

## Grenzen und Einschränkungen der Resultate

Die Bedeutung der Befunden zum intraindividuellen und interindividuellen differentiellen Altern und die daraus gewonnenen Erkenntnisse hängen von unterschiedlichen Faktoren ab. Dabei sind Einflüsse auf der Ebene der Tests, des Studiendesigns und der Stichprobe zu berücksichtigen.

### *Grenzen durch die verwendeten Tests*

Es ist unmittelbar evident, dass neuropsychologische Testresultate nur so gut sein können, wie der Test dies zulässt. Dies tangiert die Konstruktvalidität, die Testwiederholungs- und Interraterreliabilität und auch die Durchführungsobjektivität.

Die in den jeweiligen Testhandbüchern veröffentlichten Kennwerte, weisen darauf hin, dass, gemessen an aktuellen psychometrischen Standards, sowohl der *California Verbal Learning Test* (CVLT) als auch die *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung* (TAP) den besten neuropsychologischen Testsystemen ihrer jeweiligen Konstruktbereiche zuzurechnen sind (vgl. Delis et al., 1987; Zimmermann & Fimm, 1994).

Eine möglichst optimale Durchführungsobjektivität ist durch eine stetige Schulung und Supervision der Testleiter sichergestellt.

Durch *Decken-* (Diskriminabilität) und *Bodeneffekte* (Intrusionen) werden jedoch seitens des CVLT Beschränkungen sichtbar, die durchaus dazu führen, dass sowohl die Interpretierbarkeit von Einzelresultaten als auch die Normierung erschwert wird. Die Alterssensitivität sinkt durch solche Artefakte erheblich. Wie oben erwähnt, wird die Wirksamkeit der Effekte erst im 8. Lebensjahrzehnt durchbrochen. Hinsichtlich der Normierung der Daten schlägt sich daher nicht jene Alterssensitivität nieder, die ohne die Artefakte zu erwarten wäre.

Hinsichtlich der TAP ist die *ökologische Validität* als kritisch herauszustellen. Ältere Menschen sind in weit geringerem Ausmaß mit dem Gebrauch von elektronischen Rechnern vertraut, wie dies für die jüngere Generation zunehmend der Fall ist (Perillieux, Bernnat, & Bauer, 2000). Demzufolge wird dieses Problem zwar im Zuge der Zeit mehr und mehr an Bedeutung einbüßen, aber es ist anzunehmen, dass es für die vorliegende Stichprobe zum Tragen kommt. Darüber hinaus sind wahrscheinlich Frauen davon stärker betroffen als Männer.

### *Grenzen durch das Studiendesign*

Auf der Ebene des Studiendesigns sind vor allem zwei Faktoren zu Berücksichtigen: die *selektive Mortalität* und der Einfluss *unterschiedlicher Alterskohorten* aufgrund des Querschnittsdesigns.

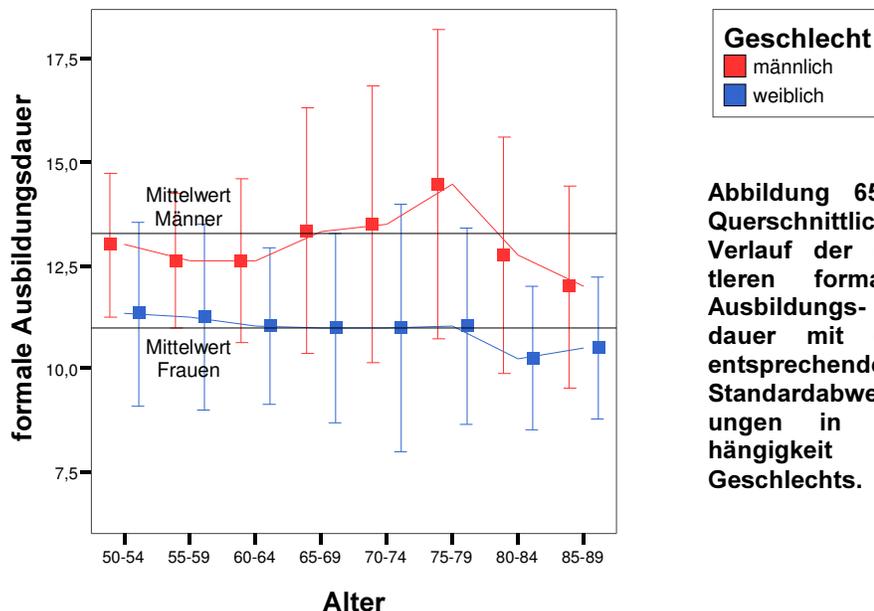
Nur ein kleiner Teil der beobachteten jüngeren Untersuchungsteilnehmer wird den höchsten Altersbereich tatsächlich erreichen. Reischies und Lindenberger (1996) weisen hierzu auf zwei Einflussgrößen hin. Zum einen wird die *selektive Mortalität* dazu führen, dass Personen hohen Leistungsniveaus und geringeren Verlusten einer höhere Lebenserwartung haben. Im Zuge der Alters gewinnt dieser Effekt an Bedeutung und sollte für die Hochbetagten maximal sein. D.h. die alten Alten führen zu einer *Unterschätzung* der Leistungsabbaus. Zum anderen gilt, dass die Zugehörigkeit zu unterschiedlichen Geburtsjahrgängen einen bedeutenden Einfluss auf die Entwicklung unterschiedlicher Merkmalsausprägungen psychologischer und physiologischer Natur haben kann. Angehörige der Kriegsgeneration aus vom zweiten Weltkrieg betroffenen Regionen Europas haben in ihrer Jugend schwere Zeiten durchlebt, in denen sie nicht selten Hunger und/oder Unterkühlungen ausgesetzt waren. Sie sind zuweilen Zeugen traumatisierender Kriegereignisse geworden oder erlitten selbst schwere Verwundungen. Es ist leicht vorstellbar, dass solche Erfahrungen grundsätzlich andere Einflüsse auf die weitere Biographie und die damit verbundene kognitive Entwicklung nehmen, als die Versorgung in einer vergleichsweise gut organisierten und behüteten Nachkriegsumwelt. Wenngleich solche schwerwiegenden Erfahrungen den meisten Schweizern erspart geblieben sein dürften, sind doch auch in der Schweiz unterschiedliche Erfahrungswelten mit unterschiedlichen Wohlstandsbedingungen assoziiert, die wiederum in Abhängigkeit unterschiedlicher Geburtskohorten unterschiedlich ausgeprägt gewesen sein dürften. Man kann getrost annehmen, dass solche Unterschiede selbst innerhalb eines Jahrganges zwischen unterschiedlichen Regionen innerhalb der Schweiz bestanden haben, die in der Folge dazu führten, dass zu Zeiten als diese Unterschiede besonders ausgeprägt waren, ein nicht unerheblicher Migrationdruck in Richtung Städte (eingeschlossen Basel) ausgelöst wurde, der erst dann zum Stillstand gekommen ist, als sich die Lebensbedingungen in den unterschiedlichen Regionen zunehmend annähernten. Jedenfalls sollte man aber erwarten können, dass sich im Zuge veränderter Entwicklungsbedingungen über die Generationen hinweg mindestens die, für die *selektive Mortalität* bedeutsamen ausbildungsbezogenen Bedingungen verändert haben, so dass insbesondere jüngere Generationen altersfreundlicheren Lebensbedingungen ausgesetzt waren. Insgesamt würde diese Überlegung dazu führen, dass auf der Basis jüngerer Kohorten die altersbezogene kognitive Leistung im Querschnitt *überschätzt* wird.

### Grenzen durch die Stichprobenwahl

Die Stichprobenauswahl steht in Zusammenhang mit der Generalisierbarkeit der Resultate. Dabei steht in Frage, inwieweit die der Untersuchung zugrundeliegende Stichprobe zumindest die Schweizer Bevölkerung repräsentiert. Auf Seite 96 wurde schon beschrieben, dass in drei Erhebungswellen Studienteilnehmer rekrutiert werden konnten, die Jahre zuvor schon einer umfangreichen Studie zur Verfügung standen und sich entweder aus ehemaligen Mitarbeiter der Basler Pharmazeutischen Industrie zusammensetzen oder aber deren Ehefrauen sind. Folgende Eigenschaften der Studienteilnehmer können demzufolge als Einschränkung der Repräsentativität der Stichprobe bzw. der Generalisierbarkeit der Resultate aufgefasst werden:

1. Die Ähnlichkeit der Umweltbedingungen (identischer Arbeitsplatz), über eine weite Strecken der Lebenspanne, geht über die rein regional bedingte Ähnlichkeit der Umweltbedingungen hinaus.
2. Über 40% der Frauen weisen eine für die jeweiligen Alterskohorten unübliche Berufslaufbahn auf.
3. Männer sind tendenziell besser ausgebildet und gehören eher einer höheren Altersgruppe an (Interkorrelation demographischer Charakteristika)
4. Männer sind mit 55% aller Studienteilnehmer leicht überrepräsentiert.

Für alle Studien dieser Art gilt darüber hinaus noch ganz allgemein, dass der freiwillige Entschluss zur Teilnahme in der Regel zu einer Rekrutierung ganz besonders motivierter Personen führt, die vermutlich eher überdurchschnittliche Leistungsresultate begünstigen. Insbesondere Punkt 3. und 4. dürften einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Resultate haben (siehe Abb. 65).



**Abbildung 65 – Querschnittlicher Verlauf der mittleren formalen Ausbildungsdauer mit den entsprechenden Standardabweichungen in Abhängigkeit des Geschlechts.**

Männer verfügen durchschnittlich über eine formale Ausbildungsdauer, die jene der Frauen im Durchschnitt um 2,3 Jahre ( $t = 10,4$ ;  $df = 602,1$ ;  $p < .001$ ) übertrifft. Besonders jedoch die Gruppe der 75-79jährigen Männer ist selbst für die Verhältnisse der Männer überdurchschnittlich lange ausgebildet: im Mittel 14,5 Jahre. Es muss demzufolge erwartet werden, dass daraus Einflüsse auf die Bestimmung der Modelle erwachsen und dass Querschnittsdaten überall da Verzerrungen aufweisen, wo Einflüsse des Alters, Einflüssen der formalen Ausbildungsdauer entgegenwirken und umgekehrt.

Aufgrund der Kenntnis von Ausbildungseffekten ist klar, dass die Alterskohorte der 75-79jährigen in ihrer altersentsprechenden Leistungsfähigkeit systematisch überschätzt wird, zumal dann wenn die Betrachtung der Resultate ausschließlich auf Rohwerte fokussiert.

Eine offensichtliche Auswirkung lässt sich an der zuweilen beobachteten scheinbaren (A)Symmetrie studieren, mit der die Häufigkeitsveränderungen in den oberen und unteren Quartilen der Rohwertverteilungen erfolgen. Es muss davon ausgegangen werden, dass der Anteil der 75-79jährigen am oberen Quartil überproportional hoch bzw. am unteren Quartil überproportional gering ist. Hierdurch ändert sich der querschnittliche Verlauf der Häufigkeiten und es erweckt den Anschein, dass es zu einem besonders großen Einbruch seitens der Testpersonen der 8. Lebensdekade bzgl. des oberen Quartils kommt bzw. zu einer überproportionalen Zunahme der Hochbetagten am unteren Quartil.

## **Ausblick**

Die Resultate über das kognitive Altern hinsichtlich unterschiedlicher Aspekte der Aufmerksamkeit und des verbalen episodischen Gedächtnisses sind ermutigend. Erfolgreiches Altern in Bezug auf die kognitive Leistungsfähigkeit ist ein Merkmal, das offensichtlich auf eine Vielzahl älterer Menschen zutrifft, sofern sie altersentsprechend gesund sind. Die Gesundheit auch in hohem Lebensalter aufrechtzuerhalten ist wiederum stark vom jeweiligen individuellen Lebenswandel und dem damit verbundenen Bewusstsein für eine gesunde Lebensführung abhängig. Wenn also der zu beobachtende Trend zu einer in höherem Maße gesundheitsbewussten Lebensführung anhält, wird die zukünftige und alternde Gesellschaft nicht nur durch Menschen mit einer besonders langen Lebenserwartung geprägt sein, sondern auch durch sehr leistungsfähige und robuste Senioren.

Dennoch ist auch dass erfolgreiche kognitive Altern mit Leistungsverringerungen verbunden, so dass ältere Menschen im Sinne einer selektiven Optimierung und Kompensation einem permanenten Selbstregulationsprozess unterliegen, in dessen Zuge alte Verhaltensmuster durchbrochen und neue erworben werden müssen damit eine Aufrechterhaltung oder zumindest eine verzögerte Verminderung adaptiver Ressourcen erfolgen kann. Eine kritische Bedeutung kommt dabei dem subjektiven Entwicklungsverständnis zu, das als Feedback für den Selbstregulationsprozess dient. Eine Verhaltensänderung findet nämlich erst dann statt, wenn die Einsicht wächst, dass bestimmte Dinge nicht mehr so gehen wie früher. Damit sind erfolgreich alternde Menschen jene, die für den eigenen Alterungsprozess sensibilisiert und angemessene Ziele für den dritten Lebensabschnitt zu formulieren in der Lage sind.

Der Sensibilisierungsprozess vollzieht sich jedoch in Interaktion mit einer sich permanent beschleunigt entwickelnden Umwelt, sei es in technischer, kultureller oder ökonomischer Hinsicht, so dass auf individueller Ebene das subjektive Entwicklungsverständnis bald überfordert und der altersbezogene Selbstregulationsprozess abgehängt zu werden droht. Daher erscheint es notwendig die Erkenntnisse über das kognitive Altern bei der Entwicklung und Umgestaltung z.B. infrastruktureller und technischer Systeme zu berücksichtigen.

Altersfairness im Sinne kognitiven Alterns meint demnach, das Einräumen größerer Zeitfenster und Handlungsspielräume. Die Bedienung technischer Funktionen sollte redundant sein, so dass vertraute Lösungsstrategien zum Einsatz gebracht werden können, dabei sollte auch die Gedächtnisbelastung gering gehalten und das Monitoring von mehr als einer Feedbackquelle vermieden werden. Im Ergebnis werden auch jüngere Menschen von einer altersfairen Reorganisation und Ausrichtung technischer und infrastruktureller Systeme profitieren.

*Auf der Suche nach neuropsychologischen präklinischen Markern pathologischer Prozesse*

Wie mehrfach schon erwähnt, lassen sich aus individuellen Testleistungen kognitive Profile erstellen, die den Vorteil einer Vergleichbarkeit über Personen und Testkennwerte hinweg besitzen. Leicht kann die z-Metrik auch in jedes beliebige Standardmaß (z.B. T-Werte, IQ-Werte, PR-Werte, usw.) umgerechnet und damit den individuellen Vorlieben eines jeweiligen Untersuchers angepasst werden. Auf einen Blick ist damit die Wahrscheinlichkeit eruiert, inwiefern die Resultate einer gegebenen Testperson noch als altersentsprechend bezeichnet werden können, da jeder z-Wert eindeutig einer Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden kann.

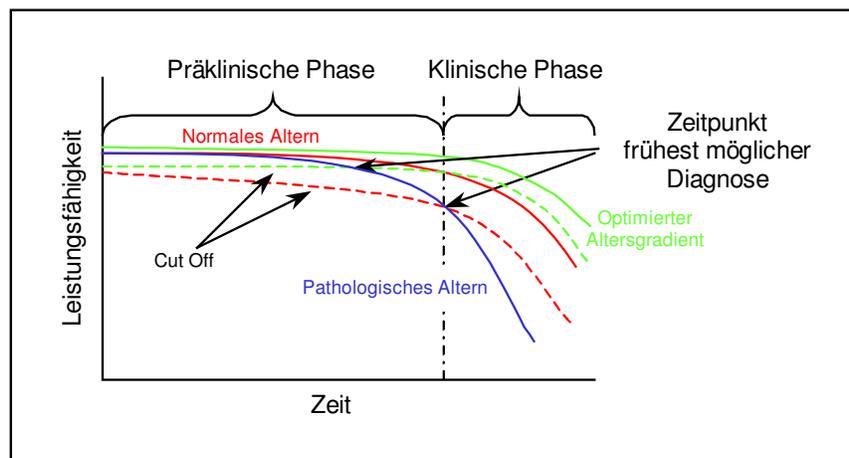
Vorab sollte man sich jedoch auf eine Heuristik einigen, der zufolge festgesetzt wird, wenn ein gegebener z-Wert (oder die äquivalente Wahrscheinlichkeit) nicht mehr mit einer altersentsprechenden kognitiven Leistung zu vereinbaren ist. Dies ist jedoch nur ein suboptimales Verfahren, weil, unabhängig von der diagnostischer Zielsetzung, sowohl die Sensitivität als auch die Spezifität auf der Strecke bleiben und demzufolge die Gefahr zu vieler falsch positiver und auch falsch negativer Einschätzungen erwächst.

Eine wichtige Weiterentwicklung schließt daher die Forderung nach differentiell validen und empirisch gewonnenen Cut-Off Werten ein, deren Berechnung auf multiplen kognitiven Parametern beruht und die darüber hinaus so gewählt sind, dass ein bestimmtes optimales Verhältnis zwischen Sensitivität und Spezifität resultiert. Ein solches Verfahren kann durch einen Vergleich der Normstichprobe mit einer positiven Kontrollgruppe (z.B. Alzheimerpatienten in einem frühen Krankheitsstadium) realisiert werden. Wie auf Seite 78 beschrieben, wird die Kontrolle der altersbezogenen Varianzerweiterung für die Qualität eines solchen Verfahrens förderlich sein. Die Forderung nach differentieller Validität schließt die Hoffnung ein, dass es durch ein solches Verfahren gleichermaßen möglich sein wird, unterschiedliche kognitive Profile infolge unterschiedlicher altersassoziierter Krankheiten zu trennen.

Es ist wichtig zu betonen, dass die in den zurückliegenden Kapiteln betrachteten Altersgradienten (und damit auch Normen) vorläufig sind und in einem fortschreitenden Optimierungsprozess einer stetigen Korrektur unterliegen.

Sorgfältig gewählte Einschluss- und Ausschlusskriterien attestieren lediglich für den Zeitpunkt der Studienaufnahme die Freiheit von diagnostizierbaren altersbezogenen degenerativen Erkrankungen. Aufgrund des Stichprobenumfangs von  $N = 605$  und dem Multiplen Gruppen Design der Studie (ApoE4 vs. Non-ApoE4) ist jedoch zu erwarten, dass sich eine noch unbekannte Anzahl von Studienteilnehmern bereits zum Einschlusszeitpunkt in einem subsyndromalen bzw. präklinischen Stadium einer degenerativer Erkrankung befindet, so dass es im Zuge des längsschnittlichen Studienverlaufs zum retrospektiven

Ausschluss diagnostisch manifester Fälle pathologischer Prozesse kommen wird. Der fortlaufende Ausschlussprozess führt wiederum zu einer Veränderung der mittleren kognitiven Leistungsfähigkeit und zu einer Homogenisierung der verbleibenden Stichprobe, so dass mit einer Verschiebung des querschnittlichen Altersgradienten in Richtung einer durchschnittlich höheren Leistungsfähigkeit und einer Verringerung des Standardfehlers zu rechnen ist. Beides führt jedoch zu einer Zunahme der Sensitivität gegenüber pathologischen verursachten kognitiven Leistungsänderungen, wodurch die Entdeckung degenerativer Erkrankungen prinzipiell zu einem früheren Zeitpunkt möglich sein sollte (siehe Abb. 66).



**Abbildung 66 – Longitudinale Optimierung des Altersgradienten. Als Folge des retrospektiven Ausschlusses von Fällen pathologischen Alterns verschiebt sich der Altersgradient in Richtung einer höheren Leistungsfähigkeit und der Standardfehler vermindert sich. Hierdurch können pathologisch verursachte Abweichungen früher erkannt werden.**

Es ist offensichtlich, dass die Optimierung des Altersgradienten (Normen) infolge der iterativen Rekalkulation im Längsschnitt hinsichtlich jener kognitiver Funktionen bzw. Domänen am stärksten ausgeprägt sein wird, die zu einem sehr frühen Zeitpunkt im Verlauf einer degenerativen Erkrankung betroffen sind (preclinical markers).

Die retrospektiv ausgeschlossenen Fälle können in Abhängigkeit der Diagnosekategorie (z.B. Demenz vom Alzheimer Typ) als Grundlage für die Rekalkulation kognitiver Leistungsprofile und empirischer Cut-Off Werte dienen.

Aus der Notwendigkeit von Messwiederholungen erwachsen gewisse Chancen und Schwierigkeiten, die nicht unerwähnt bleiben sollten. Die Schwierigkeiten betreffen die interne Validität der Studie und erstrecken sich auf folgende Bereiche:

- *Test-Sophistication*: nicht nur primäre Lerneffekte, sondern auch sekundäre motivationale und emotionale Effekte führen zu einer Verbesserung der Testresultate im Einzelfall.
- *Lebensereignisse*: zwischen den Testzeitpunkten liegende Lebensereignisse (z.B. Tod des/der Ehegatten/in) können Auswirkungen auf die wiederholte Untersuchung haben.
- *Differentielle Alterseffekte*
- *Differentielle Versuchsleitereffekte* zwischen den Testzeitpunkten
- *Selektive Mortalität* (siehe S. 205)
- *Regression zum Mittelwert*: Testpersonen, die zum Zeitpunkt der Base-Line Erhebung besonders gute Testresultate erbringen tendieren zu schlechteren Resultaten zum Zeitpunkt der Messwiederholung. Umgekehrt verbessern sich Testpersonen überproportional, wenn sie zum Zeitpunkt der Base-Line Erhebung unterdurchschnittliche Resultate erzielen.

All diese kritischen Punkte müssen sorgfältig berücksichtigt werden, wenn das Unternehmen der Früherkennung erfolgreich sein soll. Auf der anderen Seite enthalten längsschnittliche Erhebungen jedoch auch den Vorteil präklinische Merkmale *höherer Ordnung* aufzuspüren. Es ist durchaus möglich, dass kognitive Statusprofile alleine zu unspezifisch für die Vorhersage einer degenerativen Erkrankung sind. Gedächtnisschwächen, wie sie beispielsweise für die Alzheimerkrankheit diskutiert werden, sind auch bei anderen dementiellen Erkrankungen und darüber hinaus bei Depressionen festzustellen. Es ist jedoch denkbar, dass das Ausmaß und die Richtung der *Veränderungen* kognitiver Leistungen zwischen zwei oder mehreren Messzeitpunkten – entgegen eines einmal erhobenen kognitives Leistungsprofils – sehr viel bedeutender für eine frühzeitige Diagnose sind.

Insgesamt ist damit ein vielversprechender Weg umrissen, der – gesäumt zwar von einigen Schwierigkeiten – Anlass zu einem optimistischen Ausblick sein sollte, wenn es um die Früherkennung pathologischen Altersentwicklungen geht. Denn nur eine Intervention zu einem möglichst frühen Zeitpunkt in der Geschichte der Krankheitsentwicklung lässt den Raum, der für ein selbstbestimmtes und würdevolles Altern soweit wie möglich notwendig ist. Die Grundlage hierzu ist jedoch, dass die differentiellen Erscheinungen des kognitiven Alterns zur Kenntnis genommen werden.

## **Anhang A - Varianzerweiterung**

## Altersbezogene Varianzerweiterung

*Kontrolle der Varianzerweiterung in den TAP/TAS Variablen*

Für sämtliche Residuenverteilungen, die aus der Elimination der demographischen Effekte resultieren, wurden die nach Alter aggregierten Standardabweichungen berechnet. In Tabelle 43 sind die gewichteten und standardisierten Korrelationskoeffizienten von den Standardabweichungen mit dem Alter enthalten. Wenn die Effekte gegen den Zufall auf einem 5% Signifikanzniveau abgesichert werden konnten, wurde der Standardfehler des jeweiligen optimalen Modells nach dem Alter korrigiert. Die rechte Spalte der Tabelle 43 enthält die selbe gewichtete Korrelation nach Korrektur der Altersbezogenen Varianzerweiterung entsprechend der Methode, die auf Seite 106 beschrieben ist.

*Tabelle 43 – Standardisierte Alterskoeffizienten  $b$  (gewichtete Korrelation) der nach Alter aggregierten Standardabweichungen in Abhängigkeit unkorrigierter und korrigierter Z-Werte für alle Variablen aus TAP (Reaktionswechsel, Geteilte Aufmerksamkeit) und TAS ( $\alpha$ .)*

	<b>standardisierter Alterskoeffizient (<math>\alpha</math>-Fehler) der altersbezogenen Standardabweichungen</b>	<b>standardisierter Alterskoeffizient (<math>\alpha</math>-Fehler) nach Korrektur der altersbezogenen Varianzerweiterung</b>
<b><u>Reaktionswechsel</u></b>		
wv3sdg	b = -.111 (p=.512)	
wv3mdg	b = .109 (p=.520)	
wv3vng	b = .308 (p=.063)	
wv3feg	b = .114 (p=.503)	
wv3lag	b = .017 (p=.921)	
wv3cog	b = .079 (p=.644)	
wv3sdgmh	b = .053 (p=.757)	
wv3mdgmh	b = .186 (p=.271)	
wv3fegmh	b = .526 (p=.001)	b = .021 (p=.900)

---

wv3sdgoh	b = -.246 (p=.141)	<i>Fortsetzung von Tab. 43</i>
wv3mdgoh	b = .006 (p=.973)	
wv3fegoh	b = .133 (p=.434)	
<b><u>Geteilte Aufmerksamkeit</u></b>		
d3sdg	b = .095 (p=.586)	
d3mdg	b = .345 (p=.042)	b = -.029 (p=.868)
d3vng	b = .310 (p=.070)	
d3feg	b = .432 (p=.010)	b = .006 (p=.974)
d3aug	b = .002 (p=.991)	
d3lag	b = .270 (p=.116)	
d3slow	b = .358 (p=.034)	b = .041 (p=.816)
d3corr	b = .276 (p=.108)	
<b><u>TAS</u></b>		
mitt	b = -.017 (p=.921)	
stab	b = -.117 (p=.499)	
medn	b = -.103 (p=.548)	
richt	b = -.237 (p=.164)	
fr	b = .471 (p=.004)	b = .016 (p=.925)
au	b = -.059 (p=.734)	

---

Lediglich in 5 von 28 Variablen zeigte sich eine statistisch bedeutsame altersbezogenen Varianzerweiterung, die nach der Korrektur mühelos eliminiert werden konnte. Offensichtlich wird schon ein großes Maß an Harmonisierung durch die Normalisierung der Daten mittels der Berechnung einer Transformation erreicht.

Die Standardabweichungen der FEHLREAKTIONEN nehmen unter der Bedingung eines *Handwechsel* zu, obgleich dies kaum für FEHLREAKTIONEN *ohne Handwechsel* bzw. für den *Gesamttest* gilt. Dies deutet darauf hin, dass mit der flexiblen motorischen und kognitiven Adaptationen eine Leistung gemessen wird, die mit zunehmendem Alter einen

deutlichen Anstieg an Interindividuellen Differenzen verzeichnet. Das besonders erratische Auftreten von Fehlern unter der Anforderung eines kognitiven bzw. motorischen Umschaltens legt die Vermutung nahe, dass ein größerer Teil der Stichprobe überproportionale Beharrungstendenzen (Perseverationen) zeigt.

Hinsichtlich der Geteilten Aufmerksamkeit finden sich die häufigsten Varianzerweiterungsphänomene. Dies gilt sowohl für die Anzahl der FEHLREAKTIONEN, des RZ-MEDIAN und die Anzahl der verlangsamten Reaktionen (SLOW). Die FEHLREAKTIONEN sind kaum durch das Alter vorhersagbar.

Hinsichtlich der Aufgabe TAS zeigt sich bzgl. der Variablen FEHLREAKTIONEN eine deutliche Varianzerweiterung, nicht aber bzgl. der Variablen AUSLASSUNGEN. Die FEHLREAKTIONEN scheinen demnach eine differenziertere Altersentwicklung zu reflektieren, während hinsichtlich der AUSLASSUNGEN eine eher uniforme Leistungsverminderung feststellbar ist.

### Kontrolle der Varianzerweiterung in den CVLT Variablen

Tabelle 44 – Standardisierte Alterskoeffizienten  $b$  (gewichtete Korrelation) der nach Alter aggregierten Standardabweichungen in Abhängigkeit unkorrigierter und korrigierter Z-Werte für alle Variablen des CVLT.

	<b>standardisierter Alterskoeffizient (<math>\alpha</math>-Fehler) der altersbezogenen Standardabweichungen</b>	<b>standardisierter Alterskoeffizient (<math>\alpha</math>-Fehler) nach Korrektur der altersbezogenen Varianzerweiterung</b>
<b>Abrufmaße</b>		
Liste A Durchgang 1 – 5 (T1_T5)	$b = -.019$ ( $p=.911$ )	
Liste A Durchgang 1	$b = -.145$ ( $p=.392$ )	
Liste A Durchgang 5	$b = -.145$ ( $p=.392$ )	
Liste B	$b = -.271$ ( $p=.105$ )	
Freier Abruf mit kurzer Verzögerung (SDFR)	$b = -.015$ ( $p=.931$ )	
Abruf mit Hinweisgebung und kurzer Verzögerung (SDCR)	$b = .081$ ( $p=.633$ )	
Freier Abruf mit langer Verzögerung (LDFR)	$b = .050$ ( $p=.770$ )	
Abruf mit Hinweisgebung und langer Verzögerung (LDCR)	$b = .157$ ( $p=.353$ )	
Behaltensleistung mit langer Verzögerung (%) (SAVINGS)	$b = .277$ ( $p=.097$ )	
<b><u>Lerncharakteristika</u></b>		
Semantische Bündelung	$b = .018$ ( $p=.917$ )	
Serielle Bündelung	$b = .080$ ( $p=.636$ )	
Primacy Region (%)	$b = .284$ ( $p=.089$ )	
Middle Region (%)	$b = .468$ ( $p=.003$ )	$b = -.042$ ( $p=.807$ )
Recency Region (%)	$b = .530$ ( $p=.001$ )	$b = -.060$ ( $p=.726$ )

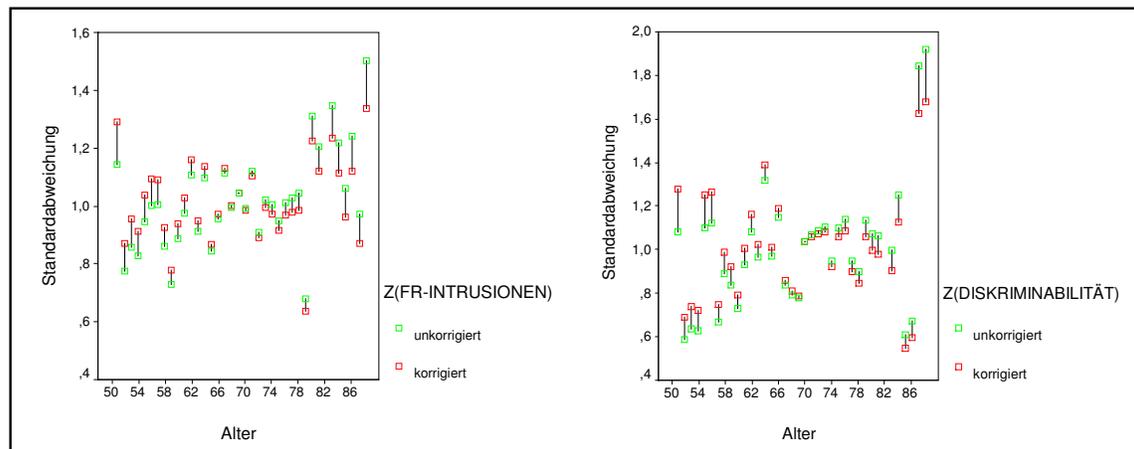
Lernfortschritt (Steigung)	b = -.004 (p=.981)	<i>Fortsetzung von Tab. 44</i>
Abruf Konsistenz Index	b = .241 (p=.151)	
<b><u>Wiedererkennensmaße</u></b>		
Diskriminabilität (DISKRIMINABILITÄT)	b = .336 (p=.042)	b = -.006 (p=.974)
Antworttendenz	b = .703 (p=.000)	b = -.036 (p=.831)
Abruffehler		
Perseverationen	b = -.133 (p=.432)	
Intrusionen bei Freiem Abruf (FR-INTRUSIONEN)	b = .385 (p=.019)	b = -.006 (p=.973)
Intrusionen bei Abruf mit Hinweisgebung	b = -.065 (p=.702)	

Unter den 21 CVLT Variablen können 5 Variablen identifiziert werden, die einen statistisch bedeutsame altersbezogene Varianzerweiterung aufweisen. Dabei handelt es sich sämtlich um Variablen die den Lerncharakteristika, der Diskriminabilität und der Abruffehler zuzuordnen sind. Der deutlichste Effekt (siehe Tab. 44) bildet sich in der Tendenz eher mit »Ja« oder mit »Nein« zu antworten ab. Deutliche Effekte lassen sich auch bzgl. der Variablen DISKRIMINABILITÄT und FR-INTRUSIONEN nachweisen. Hier ist es notwendig nochmals darauf hinzuweisen, dass hinsichtlich beider Variablen die Analyse des Altersgradienten differentielle Effekte für das Geschlecht gezeigt hat. Jeweils nur die Männer bilden einen Leistungsverminderung ab, während die Frauen unverändert gute Leistungen über die gesamte Altersspanne hinweg offenbarten. Somit wäre die Frage, inwiefern die deutlich zu beobachtenden Varianzerweiterungen nicht gleichermaßen eine Folge dieses differentiellen Geschlechtseffektes sind – obgleich die Daten beider Variablen natürlich nach diesen Effekten bereinigt sind.

Und in der Tat korrelieren (gewichtet nach Altersklassenhäufigkeit) die nach dem Alter aggregierten Standardabweichungen mit dem nach Alter aggregierten Frauenanteil: für die unkorrigierten Z-Werte der Variable FR-INTRUSIONEN in der Höhe  $r = -0.47$  ( $p = 0.003$ ) und für die Residuen der Variable DISKRIMINABILITÄT mit  $r = -0.23$  ( $p = 0.178$ ), d.h. mit zunehmender Varianzerweiterung nimmt der Anteil der Frauen ab. Dies ist keinesfalls ungewöhnlich, gleichwohl eine Korrektur nach demographischen Kovariaten stattgefunden hat. Die Betrachtung der Altersgradienten und der jeweiligen demographischen Effekte hat

mehrfach gezeigt, dass die Geschlechtseffekte außergewöhnlich stark im Verhältnis zu den Alterseffekten sind. Derart differentielle Auswirkung des Geschlechts auf kognitive Leistungen (Frauen bleiben mehr oder minder konstant, während Männer eine deutliche altersbezogene Leistungseinbuße aufweisen) können durchaus zu einem sekundären Effekt in Bezug zu den altersabhängigen Varianzen führen. Somit wäre eine vollständige Elimination des Geschlechtseffektes erst dann erreicht, wenn auch die Altersabhängigkeit Varianzen korrigiert ist. Andernfalls kann aber auch nicht ausgeschlossen werden, dass es sich um ein Artefakt aufgrund der Interkorrelation der demographischen Kennwerte handelt. Eine Elimination der Geschlechtskorrelation kann nach Korrektur der Varianzerweiterung jedoch nicht beobachtet werden. Die Neuberechnung der oben dargestellten Korrelationen führt dann nämlich zu folgenden Resultaten: FR-INTRUSIONEN  $r = -0.329$  ( $p = 0.047$ ) und DISKRIMINABILITÄT  $r = -0.10$  ( $p = 0.556$ ). Der Effekt wurde zwar gemindert, er ist aber mindestens für die Variable FR-INTRUSIONEN immer noch vorhanden.

Abbildung 67 demonstriert die Veränderung der Standardabweichungen infolge der Altersanpassung des Standardfehlers des optimalen Modells.



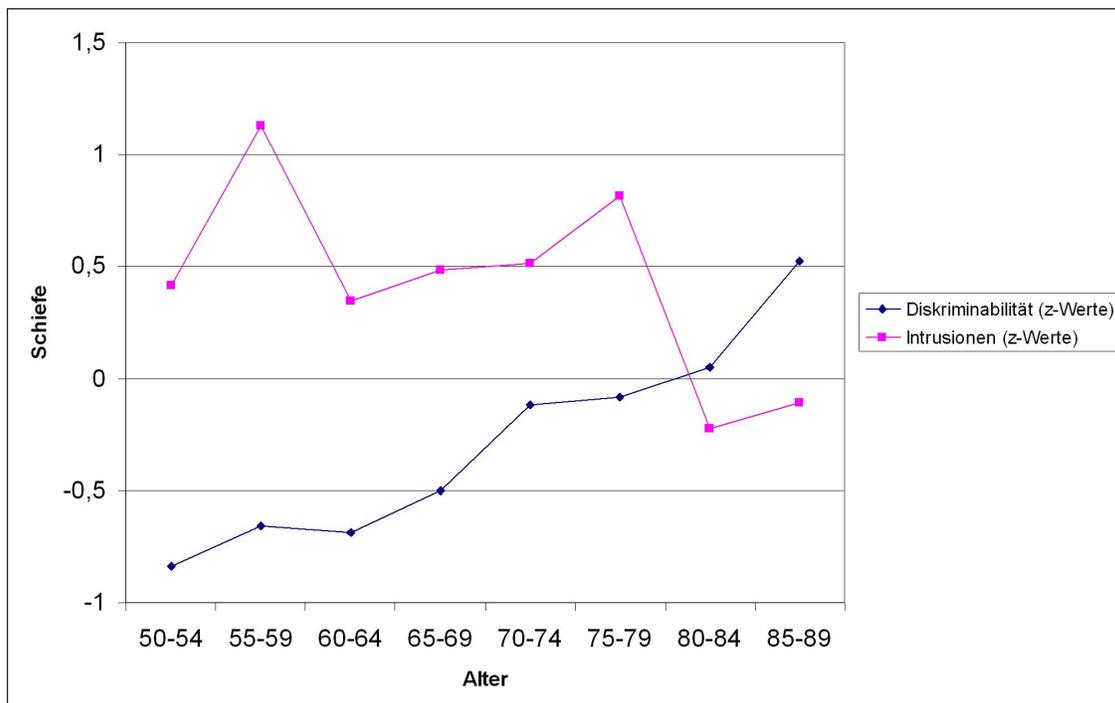
**Abbildung 67 – Korrektur der Z-Werte nach der altersbezogenen Varianzerweiterung (FR-INTRUSIONEN, DISKRIMINABILITÄT). Mit zunehmendem Abstand vom Altersmittel wirkt sich die Korrektur stärker aus.**

### Varianzerweiterung im Querschnitt der Diskriminabilität und der Anzahl von Intrusionen

Grundsätzlich kommen mehrere Mechanismen in Frage, die auf der Basis von Querschnittsdaten zu einer altersabhängigen Varianzerweiterung führen können:

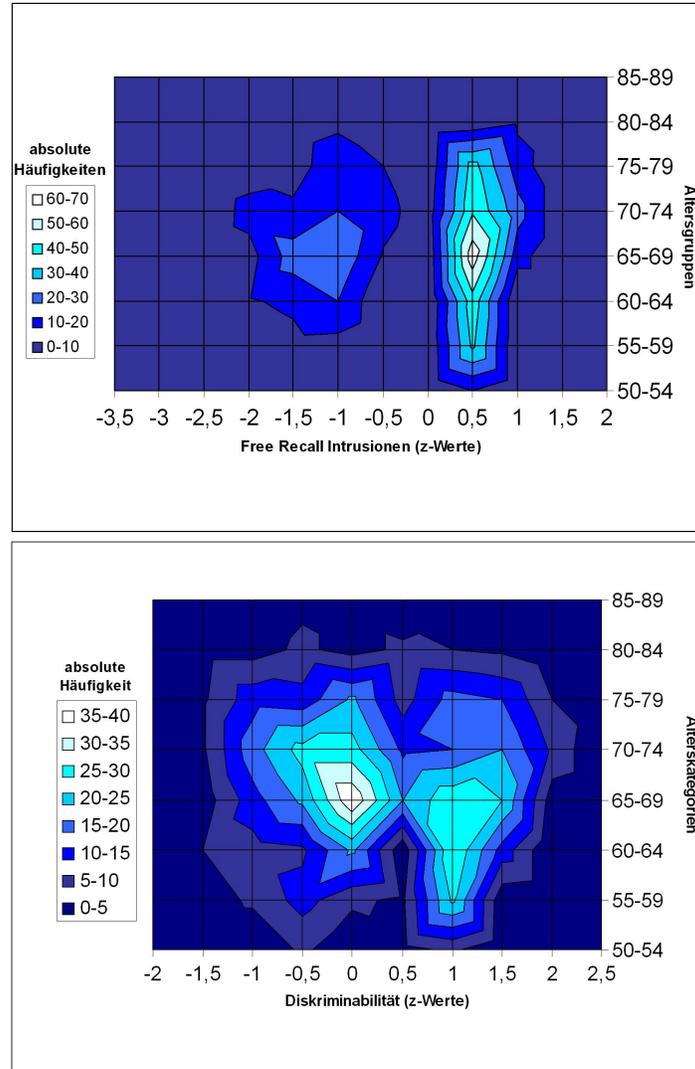
1. Eine Bipolare Entwicklung von dissoziierbaren Untergruppen der Stichprobe
2. Eine altersbezogene Zunahme von extremen Ausreißern mit der Folge zunehmend schieferer Verteilungen
3. Ein gleichförmiger Einfluss des Alters auf die Streuung

Eine Entscheidung zwischen den Punkten 2. und 3. kann durch Abbildung 68 herbeigeführt werden. Es ist deutlich eine Veränderung der Schiefe der jeweiligen Verteilung mit dem Alter zu erkennen. Diskriminabilitätsleistungen sind zunächst linksschief (negative Werte), d.h. die meisten Werte drängen sich am rechten Ende der Verteilung um ein Maximum und verlaufen nach links in einem »langen Schwanz« aus. Die Schiefe der Verteilung nimmt jedoch im Zuge höheren Alters ab. Für die Hochbetagten werden die Verteilungen gar rechtsschief. Für die Anzahl intrusiver Fehlleistungen gilt die genau entgegengesetzte Entwicklung. Die Verteilungen sind zunächst rechtsschief und entwickeln sich mit dem Alter in Richtung linksschiefer Verteilungen. Der Querschnitt ist jedoch durch erhebliche Diskontinuitäten gekennzeichnet.



**Abbildung 68 – Die altersabhängige Entwicklung der Verteilungsschiefe der Diskriminabilität und der Anzahl der Intrusionen (verbales episodisches Gedächtnis). Die z-Werte sind nicht nach der altersabhängigen Varianzerweiterung korrigiert.**

Offensichtlich kommt Hypothese 3. nicht in Frage. Die Beobachtung einer altersbezogenen Veränderung der Verteilungsschiefe schliesst jedoch auch nicht Hypothese 1. aus, wonach eine bipolare Entwicklung stattfinden kann. Abbildung 69 legt nahe, dass es sich genau darum handelt.



**Abbildung 69 – Altersabhängige Histogramme, der nach der Standardabweichung unkorrigierten z-Werte der Diskriminabilität und der Anzahl der Intrusionen. Die Häufigkeiten sind farblich kodiert.**

Die Abbildungen zeigen eindeutig, dass es sich bei der Diskriminabilität und der Anzahl intrusiver Fehlleistungen um jeweils zweigipfelige Verteilungen handelt. Seitens der Intrusionen befindet sich das Zentrum des größeren Anteils der Verteilung augenscheinlich bei  $z = 0,5$ . Der größere Anteil der Diskriminabilitätsverteilung hat sein Zentrum hingegen bei  $z = 0$ .

Auf Basis der Abbildungen sind augenscheinlich Grenzen (engl. Cut Off) erkennbar, die die jeweiligen zweigipfeligen Verteilungen voneinander zu trennen vermögen. Für die Verteilung

der Diskriminabilität kann eine solche Grenze bei  $z = 0,5$  und für die Verteilung der Anzahl intrusiver Fehlleistungen bei  $z = 0$  angenommen werden.

Die auf Basis dieser Grenzwerte gesondert durchgeführte Analyse von Alterseffekten in Beziehung zu den Standardabweichungen und zu den Mittelwerten führt zu folgenden Resultaten:

*Tabelle 45 – Gewichtete Korrelation der Standardabweichungen und der Mittelwerte mit dem Alter getrennt nach Subgruppen bzgl. eines Cut-Off Wertes für Werte der Diskriminabilität und der Intrusionen (z-Werte ohne Korrektur der altersbezogenen Varianzerweiterung).*

	Gewichtete Korrelation der Standardabweichungen mit dem Alter ( $\alpha$ -Fehler)	Gewichtete Korrelation der Mittelwerte mit dem Alter ( $\alpha$ -Fehler)
Intrusionen		
Z < 0	.567 (p < .001)	.290 (p = .078)
Z > 0	.781 (p < .001)	.716 (p < .001)
Diskriminabilität		
Z < 0,5	.076 (p = .665)	.065 (p = .699)
Z > 0,5	.682 (p < .001)	.678 (p < .001)

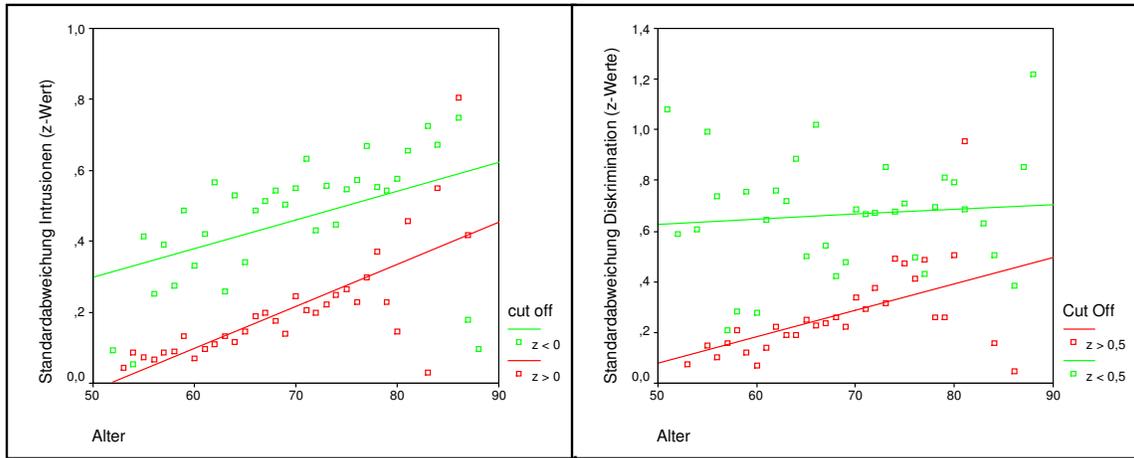
In beiden Fällen (Diskriminabilität und Intrusionen) führt die Trennung durch den jeweiligen Cut-Off Wert zu zwei Subgruppen mit ähnlicher Charakteristik. Die Gruppe oberhalb des Cut-Off Wertes besteht jeweils hauptsächlich aus Testpersonen, die die maximale absolute Testleistung erreicht bzw. die minimalst mögliche Anzahl an Fehlleistungen verursacht haben (Deckeneffekt bzw. Bodeneffekt). Die Subgruppen, die unterhalb des jeweiligen Cut-Off Wertes liegen, haben demzufolge den größten Anteil an der Gesamtvarianz der Rohwerte in den jeweiligen Leistungsbereichen (siehe Tab. 46 und 47). Ausgenommen der altersabhängigen Varianzzunahme bzgl. der Anzahl der intrusiven Fehlleistungen zeigen diese Gruppen jedoch keine weiteren altersabhängigen Effekte. Deutlich anders verhält es sich seitens der Subgruppen, die über dem Cut-Off Wert liegen. Hier nehmen sowohl die Standardabweichung als auch die Mittelwerte mit dem Alter zu (siehe Abb. 70 und 71).

*Tabelle 46 – Absolute Häufigkeiten intrusiver Fehlleistungen in Abhängigkeit des Cut-Off Wertes ( $z = 0$ )*

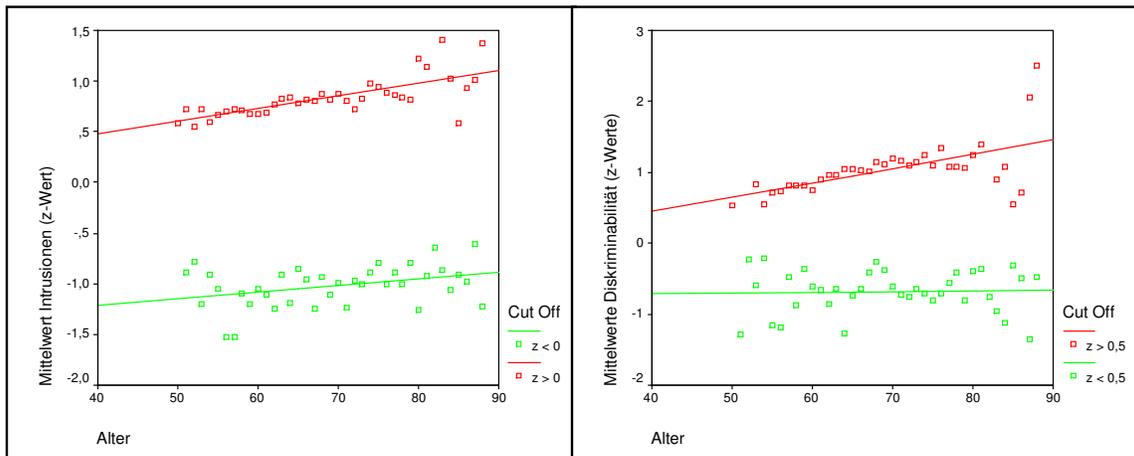
Anzahl der intrusiven Fehlleistungen	Absolute Häufigkeiten (Subgruppe $z > 0$ )	Absolute Häufigkeiten (Subgruppe $z < 0$ )
0	336	-
1	1	119
2	-	75
3	-	39
4	-	19
5	-	8
6	-	2
7	-	1
8	-	4

*Tabelle 47 – Absolute Häufigkeit der Diskriminabilitätsleistung in Abhängigkeit des Cut-Off Wertes ( $z = 0.5$ )*

Diskriminabilität (%)	Absolute Häufigkeiten (Subgruppe $z > 0,5$ )	Absolute Häufigkeiten (Subgruppe $z < 0,5$ )
70,45	-	1
75,00	-	1
77,27	-	4
79,55	-	3
81,82	-	2
84,09	-	9
86,36	-	6
88,64	-	25
90,91	-	35
93,18	-	50
95,45	2	86
97,73	11	136
100,00	217	16



**Abbildung 70 – Veränderung Standardabweichungen mit dem Alter in Abhängigkeit des Cut-Off Wertes bzgl. der Diskriminabilität und der Anzahl intrusiver Fehlleistungen (z-Werte sind nicht nach der altersabhängigen Standardabweichung korrigiert und Regressionen sind nicht gewichtet).**



**Abbildung 71 – Veränderung der Mittelwerte mit dem Alter in Abhängigkeit des Cut-Off Wertes bzgl. der Diskriminabilität und der Anzahl der intrusiven Fehlleistungen (z-Werte sind nicht nach der altersabhängigen Standardabweichung korrigiert und Regressionen sind nicht gewichtet).**

Die größten altersabhängigen Veränderungen über den Querschnitt werden durch die Subgruppen verursacht, die am oberen Ende der jeweiligen Verteilungen stehen. Einerseits tragen sie in erheblichem Maße zur Varianzerweiterung bei und andererseits verbessern sich ihre Mittelwerte aufgrund der Alterskorrektur. Offensichtlich ist die alterbezogene Varianzerweiterung die sich auf der Basis der Gesamtstichprobe beobachten lässt, auf eine bipolare Entwicklung von dissoziierbaren Untergruppen der Stichprobe zurückzuführen.

## **Anhang B - Heuristik zur Beurteilung der beschleunigten Entwicklung der Leistungsverringerung**

Einen Aspekt intraindividuellen differentiellen kognitiven Alterns berührt die zunehmend höhere Geschwindigkeit mit dem sich die Leistungsfähigkeit in unterschiedlichen kognitiven Komponenten vermindert. Die durch die Altersgradienten dargestellten Leistungsverminderungen verlaufen nur selten näherungsweise linear (vgl. Altersgradienten im Abschnitt Resultate). Meist sind sie gekrümmt und legen einen quadratischen Verlauf nahe. Die Anpassungen der jeweiligen Kurven erfolgt jedoch über eine Transformation (Box-Cox, Arcussinus) und es ist daher nicht leicht die Stärke der Beschleunigung direkt zu quantifizieren und damit vergleichbar zu gestalten.

In der Tat hängt die Beschleunigung des Altersgradienten im Falle einer Box-Cox transformierten Variable jedoch von zwei Faktoren ab:

- Die Stärke der Transformation  $|1/\lambda - 1| > 0$  ist ein Kennwert für das Ausmaß der Stauchung bzw. Streckung der Rohwerte. Je näher sie bei Null liegt, desto schwächer ist die Transformation. Je weiter sie von Null entfernt liegt, desto stärker wirkt sich die Transformation auf die Beschleunigung der altersbezogene Leistungsverringerng aus.
- Die Höhe des Nettoalterseffekt  $\beta_{\text{net}}$  bestimmt die Schrittweite über den zu transformierenden Wertebereich. Daher führen kleine Alterseffekte zu einer geringer beschleunigten altersbezogenen Leistungsverringerng, selbst dann, wenn eine relativ starke Transformation vorliegt.

Eine gewisse Schwierigkeit bietet der Vergleich mit Arcussinus-Transformierten Variablen. Es lässt sich ohne weiteres keine ähnliche Heuristik zur Einschätzung der Transformationsstärke finden. Daher können die Gesamtanzahl abgerufener Wörter über fünf Listendurchgänge (T1\_T5), der langfristig verzögerte und freier Abruf (LDFR) und die Diskriminabilität nur nach Augenschein berücksichtigt werden.

*Tabelle 48 – Transformationsstärke und Nettoalterseffekt in Anhängigkeit des Geschlechts für Box-Cox transformierte Daten. Zur Berechnung der Transformationsstärke: siehe Text unten (TAS g. = Testbatterie für Aufmerksamkeitssysteme; CVLT = California Verbal Learning Test; T1\_T5 = Gesamtanzahl abgerufener Wörter über fünf Listendurchgänge; LDFR = Langfristig Verzögerter Freier Abruf; SAVINGS = Relative Behaltensleistung; DISCRIM = Diskriminabilität).*

	$ 1/\lambda - 1 $	$\beta_{\text{Männer}}$	$\beta_{\text{Frauen}}$
<b>Reaktionswechsel</b>			
RZ-Median	2.2	.43	.43
Fehlreaktionen	1.9	.24	.24
<b>Geteilte Aufmerksamkeit</b>			
Auslassungen	1.6	.32	.32
<b>TAS g.</b>			
Auslassungen	0.7	.30	.30
<b>CVLT</b>			
T1_T5	Arcsin	.32	.23
LDFR	Arcsin	.30	.20
SAVINGS	0.4	.18	.09
DISCRIM	Arcsin	.36	.17
INTRUSIONEN	1.3	.18	.05

Die Bedeutung des Alterseffektes und der Transformationsstärke  $|1/\lambda - 1|$  für die Beschleunigung ergibt sich aus der Ableitung des Median der Rohwerte nach dem Alter.

Folgendes ist der Median der Rohwerte  $x_m$  für sämtliche Box-Cox transformierten Daten:

$$x_m = (\lambda u + 1)^{\frac{1}{\lambda}}$$

$$\text{mit } u = b_0 + b_{1\text{net}} \text{AGE} + b_{2\text{net}} \text{EDU} + b_3 \text{SEX}$$

Dabei ist  $\lambda$  der Transformationskoeffizient der Box-Cox Transformation und  $b_n$  ist der Regressionskoeffizient  $n$  (Interaktionen sind durch die Nettoeffekte berücksichtigt).

Daraus die Ableitung nach dem Alter:

$$x'_m = (\lambda u + 1)^{\frac{1}{\lambda} - 1} \cdot b_{1\text{net}}$$

Die Geschwindigkeit mit der sich die Mediane im Zuge des Alterns verändern ist eine beschleunigte Funktion, wenn  $b_{1\text{net}} > 0$  und  $|1/\lambda - 1| > 0$ .

## **Anhang C – Formeln zur Berechnung von z-Werten (Normen)**

---

### Formeln zur Berechnung demographisch bereinigter Z-Werte (Normen) für die Aufgabe Reaktionswechsel (TAP)

SEX: männlich = 0; weiblich = 1

$$\text{Zwv3sdg} \quad (\text{wv3sdg\_t} - 0.001879938816673 \cdot \text{AGE} + 0.003311524345056 \cdot \text{EDU} - 1.908222486512) / 0.0310053065054$$

$$\text{Zwv3mdg} \quad (\text{wv3mdg\_t} - 5.001438966355e-005 \cdot \text{AGE} + 6.750591379363e-005 \cdot \text{EDU} - 1.170931704309) / 0.000796749518965$$

$$\text{Zwv3vng} \quad (\text{wv3vng\_t} + 0.003717387437098 \cdot \text{AGE} - 0.009628570332066 \cdot \text{EDU} + 0.009233832911724) / 0.1106884372017$$

$$\text{Zwv3feg} \quad (\text{wv3feg\_t} - 0.0788670775643 \cdot \text{AGE} + 0.1986158339787 \cdot \text{EDU} + 2.823641252387) / 2.379019267958$$

$$\text{Zwv3lag} \quad (\text{wv3lag\_t} + 0.013243665419 \cdot \text{AGE} - 0.03391511911728 \cdot \text{EDU} - 0.8457687766401) / 0.7504960502123$$

$$\text{Zwv3cog} \quad (\text{wv3cog\_t} + 7.130295875663e-005 \cdot \text{AGE} + 0.003858040496425 \cdot \text{EDU} + 0.1039840727331) / 0.1780277491058$$

$$\text{Zwv3sdgmh} \quad (\text{wv3sdm\_t} - 0.00306675462004 \cdot \text{AGE} + 0.006159905130574 \cdot \text{EDU} - 2.105872531073) / 0.0601184767368$$

$$\text{Zwv3mdgmh} \quad (\text{wv3mdm\_t} - 4.10170213695e-005 \cdot \text{AGE} + 5.430542288795e-005 \cdot \text{EDU} - 1.13164403819) / 0.0007342543358612$$

$$\text{Zwv3fegmh} \quad (\text{wv3fem\_t} - 0.06370775559658 \cdot \text{AGE} + 0.1564550473343 \cdot \text{EDU} + 5.710563485344) / 2.625304708354 \quad (0.03308093674976 \cdot \text{AGE} + 0.3182125563223)^*$$

$$\text{Zwv3sdgoh} \quad (\text{wv3sdo\_t} - 0.002049724825866 \cdot \text{AGE} + 0.003361174333595 \cdot \text{EDU} - 1.932186457792) / 0.03391358722061$$

$$\text{Zwv3mdgoh} \quad (\text{wv3mdo\_t} - 6.78197801759e-005 \cdot \text{AGE} + 8.882454435727e-005 \cdot \text{EDU} - 1.227168942392) / 0.001067281121017$$

$$\text{Zwv3fegoh} \quad (\text{wv3feo\_t} - 0.07131546349471 \cdot \text{AGE} + 0.1703437488801 \cdot \text{EDU} + 2.780141054552) / 2.132443865261$$

---

\* altersabhängige Schätzung des Standardfehlers

---

**Formeln zur Berechnung demographisch bereinigter z-Werte für die Aufgabe Geteilte Aufmerksamkeit (TAP)**

SEX: männlich = 0; weiblich = 1

Zd3sdg	$(d3sdg\_t - 0.002189917256428 * AGE + 0.01505715649709 * SEX - 0.003737822145696 * EDU - 2.585562011447) / 0.04881137158862$	
Zd3mdg	$(d3mdg\_t - 0.000227086791655 * AGE + 7.388051171425e-005 * EDU - 2.090504451519) / 0.006327891386769$	$(7.82297747239e-005 * AGE + 0.0007126567445)^*$
Zd3vng	$(d3vng\_t + 230909.8035793 * AGE - 336901.6798642 * EDU - 23114830.29462) / 4471544.826573$	
Zd3feg	$(d3feg\_t - 0.01684854174986 * AGE + 0.115829730304 * EDU + 0.1169805084911) / 2.089152395518$	$(0.02454035177094 * AGE + 0.3700578818094)^*$
Zd3aug	$(d3aug\_t - 0.07451735611132 * AGE + 0.07731220635641 * EDU + 3.8719683892) / 1.686328515681$	
Zd3lag	$(d3lag\_t + 0.005325048824256 * AGE - 0.1465578422322 * SEX - 0.01705454238722 * EDU + 0.112432838222) / 0.6671830535414$	
Zd3slow	$(d3slow\_t - 0.0486632175708 * AGE + 0.0479081486555 * EDU + 3.690133544687) / 1.34283431908$	$(0.0110615165484 * AGE + 0.562485830381)^*$
Zd3corr	$(d3cog\_t + 0.000752844079997 * AGE - 0.03464226910651 * SEX - 0.001821260446381 * EDU + 0.1093343830413) / 0.1732852697406$	

---

\* altersabhängige Schätzung des Standardfehlers

---

**Formeln zur Berechnung demographisch bereinigter z-Werte für die Aufgabe TAS (g.)**

SEX: männlich = 0; weiblich = 1

Zmitt  $(\text{mitt\_t} - 1.097204942772e-005 \cdot \text{AGE} + 8.759423924863e-006 \cdot \text{EDU} - 1.028232778594) / 0.0003422379000084$

Zstab  $(\text{stab\_t} - 0.002389511123991 \cdot \text{AGE} + 0.001573192813796 \cdot \text{EDU} - 2.212445427387) / 0.08106426321301$

Zmedn  $(\text{medn\_t} - 0.0005224494305542 \cdot \text{AGE} + 0.0005321907485662 \cdot \text{EDU} - 2.52120148885) / 0.01817226265359$

Zricht  $(\text{richt\_t} + 0.01014467098526 \cdot \text{AGE} - 0.007396176914546 \cdot \text{EDU} - 1.617375148566) / 0.2288595172565$

Zfr  $(\text{fr\_t} - 0.08616431820525 \cdot \text{AGE} + 0.1491985355661 \cdot \text{EDU} + 0.1135098170816 \cdot \text{SEX} + 0.07146828877355 \cdot \text{AGE} \cdot \text{SEX} + (0.01948726209762 \cdot \text{AGE} + 1.403783117614)^*$   
 $5.716505779472) / 2.767156083953$

Zau  $(\text{au\_t} - 0.06856367005375 \cdot \text{AGE} + 0.4556493049368 \cdot \text{SEX} + 0.07786028724701 \cdot \text{EDU} + 2.317442582471) / 1.648291674017$

---

\* altersabhängige Schätzung des Standardfehlers

### Formeln zur Berechnung demographisch bereinigter Z-Werte (Normen) für den CVLT

SEX: männlich = 0; weiblich = 1

Zt1_t5	$(t1\_t5\_t + 0.01093371786566*AGE - 0.01514845929882*EDU - 0.2021247168835*SEX - 0.01330854600298*EDU*SEX - 0.004423531060815*AGE*SEX - 0.8806624645733)/0.2380111597383$
Zt1cor	$(t1cor\_t + 0.00813585127018*AGE - 0.008517007910004*EDU - 0.112411833842*SEX - 0.009206049858268*EDU*SEX - 0.004403059769644*AGE*SEX - 0.06848486998803)/0.184441895908$
Zt5cor	$(t5cor\_t + 0.01006985595718*AGE - 0.217764947647*SEX - 0.02481704328846*EDU - 0.9413910827792)/0.3008548563505$
Ztuescor	$(tuesco\_t + 0.08474438507603*AGE - 0.1018775825203*EDU - 1.521037741314*SEX - 0.0980209067877*EDU*SEX - 0.05136210840074*AGE*SEX - 9.279733979034)/2.032385641821$
Zsdfr	$(sdfr\_t + 0.1684987574963*AGE - 0.2903506383836*EDU - 3.906143728885*SEX - 0.2668875865892*EDU*SEX - 23.49381592054)/5.127946340365$
Zsdcr	$(sdcr\_t + 0.009681797341645*AGE - 0.01442134892044*EDU - 0.2247368558135*SEX - 0.01297091076516*EDU*SEX - 0.004432798296621*AGE*SEX - 0.9484937718754)/0.2898739592831$
Zldfr	$(ldfr\_t + 0.01161740347253*AGE - 0.01459844907924*EDU - 0.234885789032*SEX - 0.01452036779345*EDU*SEX - 0.005415292870368*AGE*SEX - 1.127045401083)/0.2719301042677$
Zldcr	$(ldcr\_t + 0.004475731452157*AGE - 0.1150722512977*SEX - 0.01097987882885*EDU - 0.8798194586735)/0.1595725416851$
Zsav_lft5	$(sav\_t + 0.1928477630473*AGE - 0.05762516024596*EDU - 3.220820740504*SEX - 0.1653747712048*AGE*SEX - 44.28156083362)/8.3326460609$
Zsem_cr	$(sem\_cr\_t + 0.01344972354229*AGE - 0.02476768427841*EDU - 0.3788909640672*SEX - 0.03130413364544*EDU*SEX - 1.012980394121)/0.5753307060892$
Zser_cr	$(ser\_cr\_t - 0.01074745822685*AGE + 0.01373304845034*EDU + 0.5890825224446*SEX + 0.07850975800055*EDU*SEX - 0.7511040570129)/1.343979525107$
Zprim	$(prim\_t - 0.0325024124455*AGE + 0.5283570961835*SEX + 0.0476339391176*EDU - 9.40235115389)/1.977372835797$

Fortsetzung S. 232

SEX: männlich = 0; weiblich = 1

Zmid	$(\text{mid\_t} + 1799497.659324 \cdot \text{AGE} - 46915247.45705 \cdot \text{SEX} - 1035721.368057 \cdot \text{EDU} - 591862287.9137) / 150552939.5727$	$(2008544.380102 \cdot \text{AGE} + 10059961.76643)^*$
Zrec	$(\text{rec\_t} - 0.03522488191417 \cdot \text{AGE} + 1.363851263031 \cdot \text{SEX} - 0.07338000184312 \cdot \text{EDU} - 17.06623994016) / 6.415886517154$	$(0.1386328729397 \cdot \text{AGE} - 3.416965240338)^*$
Zslope	$(\text{slope} - 0.00235942075468 \cdot \text{AGE} + 0.0002117898630471 \cdot \text{EDU} - 1.117886564609) / 0.4930495572177$	
Zrci	$(\text{rci\_t} + 0.001253875860044 \cdot \text{AGE} - 0.03153346247024 \cdot \text{SEX} - 0.00381148759508 \cdot \text{EDU} + 0.1057584515759) / 0.05587982463067$	
Zdiscrim	$(\text{discr\_t} + 0.0109315984898 \cdot \text{AGE} - 0.0171019633123 \cdot \text{EDU} - 0.1425114508573 \cdot \text{SEX} - 0.008019332535511 \cdot \text{AGE} \cdot \text{SEX} - 1.796398880081) / 0.2191156273808$	$(0.001762387197942 \cdot \text{AGE} + 0.09542781717911)^*$
Zrbb	$(\text{rbb} - 0.0002062727124772 \cdot \text{AGE} - 0.01131266806993 \cdot \text{SEX} + 0.001081290214217 \cdot \text{EDU} + 0.0305072139961) / 0.08527427116133$	$(0.002219252295077 \cdot \text{AGE} - 0.0712417664694)^*$
Zpers	$(\text{pers\_t} - 0.006954856293867 \cdot \text{AGE} + 0.1314308035813 \cdot \text{EDU} - 2.73481450964) / 2.038224493451$	
Zfr_intru	$(\text{fr\_int\_t} - 0.03774892784327 \cdot \text{AGE} + 0.06714857061182 \cdot \text{EDU} + 0.6388992349952 \cdot \text{SEX} + 0.03800419286789 \cdot \text{AGE} \cdot \text{SEX} + 2.488774739515) / 1.563070775627$	$(0.01001968740046 \cdot \text{AGE} + 0.8716198156659)^*$
Zcr_intru	$(\text{cr\_int\_t} - 0.05229675526323 \cdot \text{AGE} + 0.1382036781604 \cdot \text{EDU} + 1.042208540254 \cdot \text{SEX} + 0.04711544764358 \cdot \text{AGE} \cdot \text{SEX} + 2.13877179407) / 1.844380203259$	

---

\* altersabhängige Schätzung des Standardfehlers

## **Anhang D – Abbildungs- und Tabellenverzeichnis**

## Abbildungen

- Abbildung 1 Die Target Detection Task
- Abbildung 2 Das Paradigma von Treisman und Gelade
- Abbildung 3 Feature Integration Theory
- Abbildung 4 Performance-Operating Characteristic und dimensionale Struktur menschlicher Prozessressourcen
- Abbildung 5 Signal-Entdeckungstheorie
- Abbildung 6 Komponentenmodell der Aufmerksamkeit
- Abbildung 7 Noradrenerge und cholinerge Projektionen zum Kortex und Gyrus Cinguli
- Abbildung 8 Die Theorie der Postkategorialen Filterung
- Abbildung 9 Dreidimensionale Gedächtnistaxonomie nach Calabrese
- Abbildung 10 Die Primacy-, Middle- und Recency-Region einer Seriellen Positionskurve
- Abbildung 11 Informationsverarbeitungsmodell nach Norman und Shallice
- Abbildung 12 Assoziatives-Netzwerk Modell nach Anderson & Bower
- Abbildung 13 Schematische Repräsentation der »Binding« Funktion
- Abbildung 14 Der transmodale Kortex und seine Bedeutung für das Lernen
- Abbildung 15 Altersentwicklung am Beispiel des Median des Alters der Bevölkerung Europas
- Abbildung 16 Lebenserwartung stratifiziert nach Geschlecht und Entwicklung der Geburtenrate in Europa
- Abbildung 17 Wachstumsrate der Bevölkerung Europas
- Abbildung 18 Anteil der über 65jährigen an der Gesamtbevölkerung Europas
- Abbildung 19 Performanz eines kognitiven Merkmals als Funktion des Alters
- Abbildung 20 Auswirkung der Varianzerweiterung auf die Leistungsmessung
- Abbildung 21 Die Projektion des Alterungsprozesses in einem kognitiven Funktionsbereich auf ein neuropsychologisches Testresultat
- Abbildung 22 Screeningalgorithmus zur Identifikation von Studienteilnehmern mit beginnender Demenz
- Abbildung 23 Vergleich einer untransformierten und anschließend arcussinustransformierten diskreten Gedächtnisvariablen
- Abbildung 24 Korrektur des Standardfehlers
- Abbildung 25 Berechnung des Altersgradienten auf der Basis von Normen.
- Abbildung 26 Algorithmus zur Berechnung der Normen (z-Werte)

- 
- Abbildung 27 Box-Plot der Rohwertverteilung der TAP/TAS Variablen
- Abbildung 28 Box-Plot der Rohwertverteilung der CVLT-Variablen
- Abbildung 29 Altersgradient (RZ-MEDIAN, Reaktionswechsel, TAP)
- Abbildung 30 Veränderung des relativen Anteils der Testpersonen an den Quartilen (RZ-MEDIAN, Reaktionswechsel, TAP)
- Abbildung 31 Altersgradient (FEHLREAKTIONEN, Reaktionswechsel, TAP)
- Abbildung 32 Veränderung des relativen Anteils der Testpersonen an den Quartilen (FEHLREAKTIONEN, Reaktionswechsel, TAP)
- Abbildung 33 Das Konzept der kongruenten Leistung
- Abbildung 34 Korrelativer Zusammenhang zwischen Fehlerrate und Reaktionsgeschwindigkeit der Aufgabe Reaktionswechsel
- Abbildung 35 Box-Plot der Altersgruppen bzgl. der Ausprägung des Distanzmasses
- Abbildung 36 Beziehung zwischen Alter und Distanzmass
- Abbildung 37 Mittleres Distanzmaß von Altergruppen und die dazugehörige Standardabweichung
- Abbildung 38 Box-Plot von Gruppen unterschiedlicher Ausbildungsdauer bzgl. der Ausprägung des Distanzmass
- Abbildung 39 Mittelwerte des Distanzmaßes  $d$  in Abhängigkeit von Ausbildungsdauer und deren Standardabweichungen
- Abbildung 40 Das Leistungsmaß  $p$  als Indikator für die tatsächliche Leistungsfähigkeit
- Abbildung 41 Negative Korrelation zwischen dem Leistungsmaß  $p$  und dem Alter
- Abbildung 42 Mittelwerte und Standardabweichungen des Leistungsmaßes in Abhängigkeit von unterschiedlichen Altersgruppen
- Abbildung 43 Box-Plot des Leistungsmaßes in Abhängigkeit verschiedener Altersgruppen
- Abbildung 44 Quadratischer Zusammenhang zwischen der Ausbildungsdauer und dem Leistungsmaß
- Abbildung 45 Verlauf von Mittelwerten und Streuungen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Ausbildungsklassen
- Abbildung 46 Box-Plot des Leistungsmaßes für verschiedene Klassen der formalen Ausbildungsdauer
- Abbildung 47 Altersgradient (AUSLASSUNEN, Geteilte Aufmerksamkeit, TAP)
- Abbildung 48 Veränderung des relativen Anteils der Testpersonen an den Quartilen (AUSLASSUNGEN, Geteilte Aufmerksamkeit, TAP)
- Abbildung 49 Altersgradient (AUSLASSUNGEN, TAS g.)

- 
- Abbildung 50 Veränderung des relativen Anteils der Testpersonen an den Quartilen (AUSLASSUNGEN, TAS g.)
- Abbildung 51 Altersgradient (T1\_T5, CVLT)
- Abbildung 52 Veränderung des relativen Anteils der Testpersonen an den Quartilen (T1\_T5, CVLT)
- Abbildung 53 Altersgradient (LDFR, CVLT)
- Abbildung 54 Veränderung des relativen Anteils der Testpersonen an den Quartilen (LDFR, CVLT)
- Abbildung 55 Altersgradient (SAVINGS, CVLT)
- Abbildung 56 Veränderung des relativen Anteils der Testpersonen an den Quartilen (SAVINGS, CVLT)
- Abbildung 57 Altersgradient (DISKRIMINABILITÄT, CVLT)
- Abbildung 58 Veränderung des relativen Anteils der Testpersonen an den Quartilen (DISKRIMINABILITÄT, CVLT)
- Abbildung 59 Altersgradient (FR-INTRUSIONEN, CVLT)
- Abbildung 60 Veränderung des relativen Anteils der Testpersonen an den Quartilen (FR-INTRUSIONEN, CVLT)
- Abbildung 61 Standardisierte Regressionskoeffizienten von Alters-, Ausbildungs- und Geschlechtseffekten in Abhängigkeit unterschiedlicher kognitiver Domänen und Komponenten
- Abbildung 62 Histogramm der RZ-Mediane bzgl. der Aufgabe "Geteilte Aufmerksamkeit" stratifiziert nach Altersgruppen
- Abbildung 63 Die Varianzerweiterung als Folge interindividuell unterschiedlicher Altersgradienten
- Abbildung 64 Leistungsprofile in Standardabweichungen (z-Werte) entsprechend einer Rohwerttabelle
- Abbildung 65 Querschnittlicher Verlauf der mittleren formalen Ausbildungsdauer mit entsprechenden Standardabweichungen differenziert nach Geschlecht
- Abbildung 66 Longitudinale Optimierung des Altersgradienten
- Abbildung 67 Korrektur der z-Werte nach der Altersbezogenen Varianzerweiterung
- Abbildung 68 Die altersabhängige Entwicklung der Verteilungsschiefe der Diskriminabilität und der Anzahl der Intrusionen
- Abbildung 69 Altersabhängige Histogramme, der nach der Standardabweichung unkorrigierten z-Werte der Diskriminabilität und der Anzahl der Intrusionen

- Abbildung 70 Veränderung Standardabweichungen mit dem Alter in Abhängigkeit des Cut-Off Wertes bzgl. der Diskriminabilität und der Anzahl intrusiver Fehlleistungen
- Abbildung 71 Veränderung der Mittelwerte mit dem Alter in Abhängigkeit des Cut-Off Wertes bzgl. der Diskriminabilität und der Anzahl der intrusiven Fehlleistungen

## **Tabellen**

- Tabelle 1 Automatisierte und kontrollierte Informationsverarbeitungsprozesse
- Tabelle 2 kortikale Projektionen des ARAS
- Tabelle 3 Theorien zum kognitiven Altern und ihre Implikationen
- Tabelle 4 CVLT Variablen und ihre Definitionen
- Tabelle 5 TAP/TAS Variablen mit ihren Definitionen
- Tabelle 6 Demographische Charakteristika der Normstichprobe
- Tabelle 7 Alters- und Ausbildungscharakteristika der Nachrekrutierten Frauen
- Tabelle 8 Anzahl der Probanden nach Alter und Geschlecht
- Tabelle 9 Fehlende Werte nach Geschlecht, Alter, Ausbildung und Test
- Tabelle 10 Deskriptive Statistik für RZ-MEDIAN und FEHLREAKTIONEN der Aufgabe Reaktionswechsel (TAP)
- Tabelle 11 Deskriptive Statistik für AUSLASSUNGEN (TAS g.) und FEHLREAKTIONEN (Geteilte Aufmerksamkeit - TAP)
- Tabelle 12 Deskriptive Statistik für die CVLT-Variablen
- Tabelle 13 Absoluter und Relativer Anteil der Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils (RZ-MEDIAN, Reaktionswechsel, TAP)
- Tabelle 14 Mittlere Ausbildungsdauer von Testteilnehmern des unteren und oberen Quartils (RZ-MEDIAN, Reaktionswechsel, TAP)
- Tabelle 16 Absoluter und Relativer Anteil der Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils (FEHLREAKTIONEN, Reaktionswechsel, TAP)

---

Tabelle 17	Mittlere Ausbildungsdauer von Testteilnehmern des unteren und oberen Quartils (FEHLREAKTIONEN, Reaktionswechsel, TAP)
Tabelle 18	Verteilungskennwerte des Distanzmasses
Tabelle 19	Korrelationen des Distanzmasses mit demographischen Merkmalen der Testpersonen
Tabelle 20	Verteilungskennwerte des Leistungsmasses
Tabelle 21	Korrelationen des Leistungsmasses mit demographischen Merkmalen der Testpersonen
Tabelle 22	Absoluter und Relativer Anteil der Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils (AUSLASSUNGEN, Geteilte Aufmerksamkeit, TAP)
Tabelle 23	Mittlere Ausbildungsdauer von Testteilnehmern des unteren und oberen Quartils (AUSLASSUNGEN, Geteilte Aufmerksamkeit, TAP)
Tabelle 24	Veränderung des Auslassungsmedian in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildung entlang des Altersquerschnitt (TAS g.)
Tabelle 25	Absoluter und Relativer Anteil der Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils (AUSLASSUNGEN, TAS g.)
Tabelle 26	Mittlere Ausbildungsdauer von Testteilnehmern des unteren und oberen Quartils (AUSLASSUNGEN, TAS g.)
Tabelle 27	Veränderung der Variable T1_T5 in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildung entlang des Altersquerschnitt (CVLT)
Tabelle 28	Absoluter und Relativer Anteil der Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils (T1_T5, CVLT)
Tabelle 29	Mittlere Ausbildungsdauer von Testteilnehmern des unteren und oberen Quartils (T1_T5, CVLT)
Tabelle 30	Veränderung der Variable LDFR in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildung entlang des Altersquerschnitt (CVLT)
Tabelle 31	Absoluter und Relativer Anteil der Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils (LDFR, CVLT)
Tabelle 32	Mittlere Ausbildungsdauer von Testteilnehmern des unteren und oberen Quartils (LDFR, CVLT)
Tabelle 33	Veränderung der Variable SAVINGS in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildung entlang des Altersquerschnitt (CVLT)
Tabelle 34	Absoluter und Relativer Anteil der Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils (SAVINGS, CVLT)

---

Tabelle 35	Mittlere Ausbildungsdauer von Testteilnehmern des unteren und oberen Quartils (SAVINGS, CVLT)
Tabelle 36	Veränderung der Variable DISKRIMINABILITÄT in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildung entlang des Altersquerschnitt (CVLT)
Tabelle 37	Absoluter und Relativer Anteil der Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils (DISKRIMINABILITÄT, CVLT)
Tabelle 38	Mittlere Ausbildungsdauer von Testteilnehmern des unteren und oberen Quartils (DISKRIMINABILITÄT, CVLT)
Tabelle 39	Absoluter und Relativer Anteil der Angehörigen des oberen bzw. unteren Quartils (FR-INTRUSIONEN, CVLT)
Tabelle 40	Veränderung der Variable FR-INTRUSIONEN in Abhängigkeit von Geschlecht und Ausbildung entlang des Altersquerschnitt (CVLT)
Tabelle 41	Mittlere Ausbildungsdauer von Testteilnehmern des unteren und oberen Quartils (FR-INTRUSIONEN, CVLT)
Tabelle 42	Rohwerte der Testvariablen zweier Personen unterschiedlicher demographischer Charakteristika
Tabelle 43	Standardisierte Alterskoeffizienten b der nach Alter aggregierten Standardabweichungen aller TAP/TAS Variablen
Tabelle 44	Standardisierte Alterskoeffizienten b der nach Alter aggregierten Standardabweichungen aller CVLT Variablen
Tabelle 45	Gewichtete Korrelation der Standardabweichungen und der Mittelwerte mit dem Alter getrennt nach Subgruppen (Diskriminabilität, Intrusionen)
Tabelle 46	Absolute Häufigkeiten intrusiver Fehlleistungen in Abhängigkeit des Cut-Off Wertes ( $z = 0$ )
Tabelle 47	Absolute Häufigkeit der Diskriminabilitätsleistung in Abhängigkeit des Cut-Off Wertes ( $z = 0.5$ )
Tabelle 48	Transformationsstärke und Nettoalterseffekt in Anhängigkeit des Geschlechts für Box-Cox transformierte Daten

## **Anhang E – CVLT – Testblätter**

**PROJEKT BASEL Neuropsychologie**  
**Münchener Verbaler Gedächtnistest (CVLT)**

<b>Montagsliste</b>	<b>A1</b>	<b>p</b>	<b>A2</b>	<b>p</b>	<b>A3</b>	<b>p</b>	<b>A4</b>	<b>p</b>	<b>A5</b>	<b>p</b>
(p=Perseveration)										
Mütze	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Ananas	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Limonade	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Spachtel	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Feigen	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Kakao	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Schere	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Jeans	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Pflaumen	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Schaufel	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Milch	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Zange	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Weste	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Heidelbeeren	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Strümpfe	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
Orangensaft	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....	<input type="text"/>	.....
<b><u>Intrusionen /</u></b>	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<b><u>Konfabulation:</u></b>	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<b>TOTAL:</b>										
Korrekt:	<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
Perseveration:	<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
Intrusionen:	<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
Cluster: (Observed)	<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
<b>Alle Durchgänge:</b>	<b>Korrekt</b>		<b>Perseveration</b>		<b>Intrusionen</b>		<b>Cluster (Observed)</b>			
<b>(A1-A5)</b>	<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>			

**PROJEKT BASEL Neuropsychologie**  
**Münchener Verbaler Gedächtnistest (CVLT)**

**Dienstagsliste**

(p=Perseveration)

**p**

- Kochlöffel  .....
- Erbsen  .....
- Gürtel  .....
- Likör  .....
- Zwiebeln  .....
- Deckel  .....
- Apfelsaft  .....
- Handschuhe  .....
- Schnittlauch  .....
- Kanne  .....
- Jacket  .....
- Tee  .....
- Stiefel  .....
- Tasse  .....
- Bohnen  .....
- Bier  .....

**Intrusionen /  
Konfabulation:**

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

**TOTAL:**

Korrekt:

Perseveration:

Intrusionen:

Cluster:  
(Observed)

**Ende SDCR:** .....

**Montagsliste (Short Delay)**

**Free Recall**

**p**

- Mütze  .....
- Ananas  .....
- Limonade  .....
- Spachtel  .....
- Feigen  .....
- Kakao  .....
- Schere  .....
- Jeans  .....
- Pflaumen  .....
- Schaufel  .....
- Milch  .....
- Zange  .....
- Weste  .....
- Heidelbeeren  .....
- Strümpfe  .....
- Orangensaft  .....

**Cued Recall**

**p**

**Getränke**

- Limonade  .....
- Kakao  .....
- Milch  .....
- Orangensaft  .....

**Früchte**

- Ananas  .....
- Feigen  .....
- Pflaumen  .....
- Heidelbeeren  .....

**Kleidungsstücke**

- Mütze  .....
- Jeans  .....
- Weste  .....
- Strümpfe  .....

**Werkzeuge**

- Spachtel  .....
- Schere  .....
- Schaufel  .....
- Zange  .....

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

**PROJEKT BASEL Neuropsychologie**  
**Münchener Verbaler Gedächtnistest (CVLT) Long Delay Recall**

Ende SDRC: .....

Beginn LDFR: ..... Zeitintervall: ..... min.

**Montagsliste (Long Delay Free Recall)**

(p=Perseveration)

**p**

- Mütze  .....
- Ananas  .....
- Limonade  .....
- Spachtel  .....
- Feigen  .....
- Kakao  .....
- Schere  .....
- Jeans  .....
- Pflaumen  .....
- Schaufel  .....
- Milch  .....
- Zange  .....
- Weste  .....
- Heidelbeeren  .....
- Strümpfe  .....
- Orangensaft  .....

**Intrusionen /  
Konfabulation:**

- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....

**TOTAL:**

- Korrekt:
- Perseveration:
- Intrusionen:
- Cluster:  
(Observed)

**(Long Delay Cued Recall)**

**p**

**Getränke**

- Limonade  .....
- Kakao  .....
- Milch  .....
- Orangensaft  .....

**Früchte**

- Ananas  .....
- Feigen  .....
- Pflaumen  .....
- Heidelbeeren  .....

**Kleidungsstücke**

- Mütze  .....
- Jeans  .....
- Weste  .....
- Strümpfe  .....

**Werkzeuge**

- Spachtel  .....
- Schere  .....
- Schaufel  .....
- Zange  .....

- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....

- 
- 
-

**PROJEKT BASEL Neuropsychologie**  
**Münchener Verbaler Gedächtnistest (CVLT) Long Delay Recall**

**Long Delay Recognition**

	Antwort: in Liste/nicht in Liste	Hit 1=ja/ja(*)	False Alarm 1=nein/ja(*)	Correct Rejection 1=nein/nein(*)	Missing 1=ja/nein(*)
(*)Montagsliste/Antwort					
Bohnen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Schere	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Daunen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Orangensaft	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Papier	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Schachtel	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Zange	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Badehose	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Schaffell	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Ananas	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Kugelschreiber	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Zwiebeln	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Schaufel	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Strümpfe	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Buch	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Handschuhe	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Pflaumen	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Faden	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Likör	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Heidelbeeren	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Radio	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Spachtel	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Geigen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Hammer	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1
Wäsche	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 0 <input type="radio"/> 1

**PROJEKT BASEL Neuropsychologie**  
**Münchener Verbaler Gedächtnistest (CVLT) Long Delay Recall**

Antwort: in Liste/nicht in Liste	Hit 1=ja/ja(*)	False Alarm 1=nein/ja(*)	Correct Rejection 1=nein/kein(*)	Missing 1=ja/kein(*)
-------------------------------------	-------------------	-----------------------------	-------------------------------------	-------------------------

(\*)Montagsliste/Antwort

Weste	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Limonade	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Blumen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stiefel	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Feigen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Deckel	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bretter	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Jeans	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pudding	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Apfel	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mütze	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rahmen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Milch	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aale	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bier	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kanne	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tee	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zunge	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kakao	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		6	2	26	10	

<b>Total Hit or Correct Rejection</b>	44
<b>Total False Alarm or Missing</b>	0
<b>Total</b>	44

## **Anhang F- Literatur**

- Albert, M. S. (1981). Geriatric Neuropsychology. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 49 (6), 835-580.
- Acevedo, A., Loewenstein, D. A., Barker, W. W., Harwood, D. G., Luis, C., Bravo, M., Hurwitz, D. A., Aguero, H., Greenfield, L., & Duara, R. (2000) Category Fluency Test: Normative Data for English and Spanish-Speaking Elderly. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 6 (7), 760-769.
- Albert, M. S. (1996) Cognitive and Neurobiological Markers of Early Alzheimer Disease. *Proc Natl Acad Sci USA*, 93 (24), 13547-13551.
- Anderson, J. R. (1976) *Language, Memory, and Thought*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Anderson, J. R. (1996) *Kognitive Psychologie 2ed*. Spektrum, Akademischer Verlag: Heidelberg, Berlin, Oxford.
- Anderson, J. R., & Bower, G. H. (1972) Recognition and retrieval Processes in Free Recall. *Psychological Review*, 79, 97-123.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968) Human Memory: A Proposed System and its Control Processes. In: Spence, K. W., & Spence, J. T. (eds.) *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, 2, New York: Academic Press.
- Baddeley, A. (1986) *Working Memory*. Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley, A. D., & Dale, H. C. A. (1966) The Effect of Semantic Similarity on Retroactive Interference in Long- and Short-Term Memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 5, 417-420.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974) Working Memory. In: Bower, G. H. (ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, 8, New York: Academic Press.
- Baltes, M.M., & Carstensen, L.L. (1996) The Process of Successful Aging. *Aging Society*, 16, 397-422.
- Baltes, M. M. (1987) Erfolgreiches Altern als Ausdruck von Verhaltenskompetenz und Umweltqualität. In Niemitz, C., *Der Mensch im Zusammenspiel von Anlage und Umwelt*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Baltes, P .B. & Mayer, K. U. (1996) *Die Berliner Altersstudie*. Berlin: Akademie Verlag.
- Baltes, P. B. & Baltes, M. M. (1989) Erfolgreiches Altern: Mehr Jahre und mehr Leben. In Baltes, M. M., Kohli, M. & Sames, K., *Erfolgreiches Altern*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Baltes, P. B. (1997) On the Incomplete Architecture of Human Ontology: Selection, Optimization, and Compensation as Foundation of Developmental Theory. *American Psychology*, 52, 366-380 .

- Baltes, P. B. (2000). LIFESPAN PSYCHOLOGY: Theory and Application to Intellectual Functioning. *Annual Review of Psychology*, 50, 471-507.
- Baltes, P.B., Reese, H.W., & Lipsitt, L.P. (1980) Lifespan Developmental Psychology. *Annual Review of Psychology*, 31, 65-110.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Berres, M., Monsch, A.U., Bernasconi, F., Thalmann, B. & Stähelin, H.B.: Normal Ranges of Neuropsychological Tests for the Diagnosis of Alzheimer's Disease, in: A. Hasman et al. (Eds.), *Medical Infobahn for Europe*, IOS Press, Amsterdam (2000) 195-199.
- Bisiach, E., & Luzzatti, C. (1978) Unilateral Neglect of Representational Space. *Cortex*, 14, 128-133.
- Bondi, M. W., Salomon, D. P., Monsch, A. U., Galasko, D., Butters, N., Klauber, M. R., Thal, L. J., & Saitoh, T. (1995). Episodic Memory Changes are Associated with the APOE-4 Allele in Nondemented Older Adults. *Neurology*, 45, 2203-2206.
- Bousfield, W. A. (1953) The Occurrence of Clustering in the Recall of Randomly Arranged Associates. *Journal of General Psychology*, 49, 229-240.
- Bowen, J., Teri, L., Kukull, W., McCormick, W., McCurry, S. M., & Larson, F. B. (1997) Progression to Dementia in Patients with Isolated Memory Loss, *Lancet*, 349 (3), 763-765.
- Bower, G. H. A. (1972) A Selective Review of Organizational Factors in Memory. In: Tulving, E., & Donaldson, W. (eds.) *Organization of Memory*, New York: Academic Press (a).
- Bretsky, P. M., Buckwalter, J. G., Seeman, T. E., Miller, C. A., Poirier, J., Schellenberg, G. D., Finch, C. E., & Henderson, V. W. (1999) Evidence for an Interaction Between Apolipoprotein E Genotype, Gender, and Alzheimer disease. *Alzheimer Disease and Associated Disorders*, 13(4), 216-221.
- Brewer, J. B., Zhao, Z., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (1998) Making Memories: Brain Activities that Predicts How Well visual Experience will be Remembered, *Science*, 281, 1185-1187.
- Broadbent, D. E. (1958) *Perception and communication*. London: Pergamon Press.
- Broadbent, D. E. (1971) *Decision and Stress*. London: Academic Press.
- Buckner, R. L., & Tulving, E. (1995) Neuroimaging Studies of Memory: Theory and Recent PET Results. In: Boller, F., & Grafman, J. (eds.) *Handbook of Neuropsychology* (pp. 439-466). Amsterdam: Elsevier.

- Buckner, R. L., Bandetti, P. A., O'Craven, K. M., Savoy, R. L. Petersen, S. E., Raichle, M. E., & Rosen, B. R. (1996) Detection of Cortical Activation During Averaged Single Trials of A Cognitive Task Using Functioning Magnetic Resonance Imaging, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 95, 891-898.
- Buckner, R. L., Logan, J., Donaldson, D. I., Wheeler, M. E. (2000). Cognitive Neuroscience of Episodic Memory Encoding. *Acta Psychologica*, 105, 127-139.
- Burke, D. M., MacKay, D. G., Worthley, J. S., & Wade, E. (1991) On the Tip of the Tongue: What Causes Word Finding Failures in Young and Older Adults? *Journal of memory and Language*, 30, 542-579.
- Bühl, A. & Zöfel, P. (1998) SPSS für Windows Version 7.5. Addison Wesley: Bonn.
- Caine, E. D. (1993) Should Age-Associated Cognitive Decline be Included in the DSM-IV? *Journal of Neuropsychiatry*, 5, 1-5.
- Calabrese, P. (2000) Neuropsychologie der Alzheimer-Demenz. In Calabrese, P. & Förstl, H., *Psychopathologie und Neuropsychologie der Demenz*. (pp. 31-50). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Carraher, T. N., Carraher D. W., & Schliemann, A. D. (1985) Mathematics in the Streets and in the Schools. *British Journal of Developmental Psychology*, 3, 21-29.
- Castiello, U., & Umiltà, C. (1992) Splitting Focal Attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 837-848.
- Cattell, R. B. (1971) *Abilities: Their Structure, Growth, and Action*. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973) Perception in Chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81.
- Cherry, E. C. (1953) Some Experiments on the Recognition of Speech, With One and With Two Ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 25 (5), 975-979.
- Cohen, G., & Faulkner, D. (1986) Memory for Proper Names: Age Differences in Retrieval. *British Journal of Developmental Psychology*, 4, 187-197.
- Cohen, N. J. (1984) Preserved Learning Capacity in Amnesia: Evidence for Multiple Memory Systems. In: Squire, N. R. & Butters, N. (eds.) *Neuropsychology of Memory*, 83-103, New York: Guilford.
- Conrad, R., & Hull, A. J. (1964) Information, Acoustic Confusion, and Memory Span. *British Journal of Psychology*, 55, 429-432.
- Craik, F. I. M. (2000) Age-Related changes in Human Memory. In Park, D. & Schwarz, N., *Cognitive Aging: A Primer*. (pp.75-92). Philadelphia: Psychology Press.

- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972) Levels of Processing: A Framework for Memory Research. *Journal of Verbal Learning and Behavior*, 11, 671-684.
- Craik, F. I. M., & Watkins, M. J. (1973) The Role of Rehearsal in Short-Term Memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 12, 599-607.
- Craik, F. I. M., Byrd, M., & Swanson, J. M. (1987) Patterns of Memory Loss in Three Elderly Samples. *Psychology and Aging*, 2, 79-86.
- Craik, F. I. M., Morris, L. W., Morris, R. G., & Loewen, E. R. (1990) Relations Between Source Amnesia and Frontal Lobe Functioning in Older Adults. *Psychology and Aging*, 5, 148-151.
- Craik, F.I.M. & Byrd, M. (1982). Aging and Cognitive Deficits: the Role of Attentional Resources. In: F.I.M. Craik & S. Trehub (Eds.), *Aging and Cognitive Processes*. Plenum Press, New York.
- Creutzfeld, O. D. & Heggelund, P. (1975) Neural Plasticity in Visual Cortex of Adult Cats after Exposure to Visual Patterns. *Science*, 188, 1025-7
- Cruikshank, S. J. & Weinberger, N. M. (1996) Evidence for the Hebbian Hypothesis in Experience-Dependant Physiological Plasticity of Neocortex: a Critical Review. *Brain Research Review*, 22, 191 – 228.
- Crook, T., Bartus, R. T., Ferris, S. H., Whitehouse, P., Cohen, G. D., & Gershon, S. (1986) Age-Associated Memory Impairment: Proposed Diagnostic Criteria and Measures of Clinical Change – Report of a National Institute of Mental Health Work Group. *Dev Neuropsychology*, 2 (4), 261-276.
- Daniels, L., Jongbloed, L., & Stacy, S. (1990) The Sensimotor Integration Test Battery: Preliminary Normative Data. *Occupational Therapy Journal of Research*, 10 (3), 177-191.
- Delis, D. C., Kramer, J. H., Kaplan, E., Ober, B. A. (1983). *California Verbal Learning Test (CVLT)*. Manual, 1-91, San Antonio.
- Delis, D. C., Massman, P. J., Butters, N., & Salmon, D. P. (1991) Profiles of Demented and Amnesic Patients on the California Verbal Learning Test: Implications for the Assessment of Memory Disorders. *Psychological Assessment*, 3(1), 19-26.
- Desimone, R. (1996) Neural Mechanisms for Visual Memory and Their Role in Attention. [Review]. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 93, 13494-13499.
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963) Attention: Some Theoretical Considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90.

- DeYoe, E. A., & Van Essen, D. C. (1988) Concurrent Processing Streams in the Monkey Visual Cortex. *Trends of Neuroscience*, 11, 219-226.
- Dimond, S. J., Beaumont, J. G. (1973) Difference in Vigilance Performance of the Right and Left Hemisphere, *Cortex*, 9, 259-265.
- Driver, J., & Halligan, P. W. (1991) Can Visual Neglect operate in Object Centred Co-Ordinates? An Affirmative Case Study. *Cognitive Neuropsychology*, 8, 475-96.
- Elias, M. F., Elias, P. K., D'Agostino, R. B., Silbershatz, H., Wolf, P. A. (1997) Role of Age, Education, and Gender on Cognitive Performance in the Framingham Heart Study: Community-Based Norms. *Experimental Aging Research*, 23 (3), 201-235.
- Eriksen, C. W., & Yeh, Y.-Y. (1985) Allocation of Attention in the Visual Field. *Journal of experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 583-597.
- Fisk, A. D., & Rogers, W. A. (1991) Toward an Understanding of Age-Related Memory and Visual Search Effects. *Journal of Experimental Psychology: General*, 120, 131-149.
- Fletcher, P. C., Frith, C. D., Grasby, P. M., Shallice, T., Frackowiak, R. S. J., & Dolan, R. J. (1995) Brain Systems for Encoding and Retrieval of Auditory-Verbal Memory: An In Vivo Study in Humans. *Brain*, 118, 401-416.
- Fratiglioni, L., Grut, M., Forsell, Y., Viitanen, M., Grafstrom, M., Holmen, K., Ericsson, K., Backman, L., Ahlbom, A. & Winblad, B. (1991) Prevalence of Alzheimer's Disease and other Dementias in an Elderly Urban Population: Relationship with Age, Sex, and Education. *Neurology*, 41(12), 1886-1892.
- Giambra, L. M. (1993) Sustained Attention in Older Adults: Performance and Processes. In: Cerella, J., Rybash, J., Hoyer, W., & Commons, M. L. (Eds.) *Adult Information Processing: Limits on Loss* (pp. 259-272) San Diego, CA: Academic Press.
- Giovagnoli, A. R. (1996) Trail Making Test: Normative Values from 287 Normal Adult Controls. *Italian Journal of Neurological Science*, 17 (4), 305-310.
- Gitelman, D. R., Nobre, A. C., Parrish, T. B., LaBar, K. S., Kim, Y.-H., Meyer, J. R., & Mesulam, M.-M. (1999). A Large-Scale Distributed Network for Covert Spatial Attention. *Brain*, 122, 1093-1106.
- Glenberg, A., Smith, S. M., & Green, C. (1977) Type I Rehearsal: Maintenance and More. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 16, 339-352.
- Grady, C. L., Haxby, J. V., Horowitz, M. et al. (1988) Longitudinal Study of the Early Neuropsychological and Cerebral Metabolic Changes in Dementia of the Alzheimer Type. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 10, 576-596.

- Hanninen, T., Hallikainen, M., Koivisto, K., Partanen, K., Laakso, M., Riekkinen, P., & Soininen, H. (1997) Decline of Frontal Lobe Functions in Subjects with Age-Associated Memory Impairment. *Neurology*, 48, 148-153.
- Hasher, L. & Zacks, R.T. (1988). Working Memory, Comprehension, and Aging: A Review and a New View. In: G.H. Bower (Eds.), *The Psychology of Learning and Motivation*. Academic, San Diego, CA.
- Havighurst, R. J. & Albrecht, R. (1953) *Older People*. New York: Longmans Green.
- Haxby, J. V., Clark, V. P., & Courtney, M. (1997) Distributed Hierarchical Neural Systems for Visual Memory in Human Cortex. In: Hyman, B. T., Duykaerts, C., & Christen, Y. (eds.) *Connections, Cognition and Alzheimer's Disease*, 167-180, Berlin: Springer Verlag.
- Heilman, K. M., Watson, R. T., & Valenstein, E. (1985) Neglect and Related Disorders. In: Heilman, K. M., & Valenstein, E. (ed.) *Clinical Neuropsychology*, 243-293, New York: Oxford.
- Herlitz, A. & Yonker, J. E. (2002). Sex Differences in Episodic Memory: The Influence of Intelligence. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24 (1), 107-114.
- Herrera-Maldonado, S. (2000) Continuous Norming for the Neuropsychological Screening Battery for Hispanics (NESBHIS). (Dissertation Abstract) *The Sciences and Engineering*, 61 (2-b), 1131.
- Hill, L. R., Klauber, M. R., Salmon, D. P., Yu, E. S., Liu, W. T., Zhang, M. & Katzman, R. (1993). Functional status, education, and the diagnosis of dementia in the Shanghai survey. *Neurology*, 43(1), 138-145.
- Howard, D. V. (1988). Aging and Memory Activation: the Priming of Semantic and Episodic Memories. In: L.L. Light & D. M. Burke (Eds.), *Language, Memory and Aging*. Cambridge University Press. New York.
- Hughes, C. P., Berg, L., Danziger, W. L., Coben, L. A., & Martin, R. L. (1982) A New Clinical Scale for the Staging of Dementia, *British Journal of Psychiatry*, 140, 566-572.
- Iidaka, T, Anderson, N. D., Kapur, S., Cabeza, R., Craik, F. I. M. (2000) The Effect of Divided Attention on Encoding and Retrieval in Episodic memory Revealed by Positron Emission Tomography. *Journal of Cognition and Neuroscience*, 12, 267-280.
- Kandel, E. R. (1995) Cellular Mechanisms of Learning and Memory. In: Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (eds.) *Essentials of Neural Science and Behavior*, 667-699, London: Prentice Hall International.
- Kapur, S., Tulving, E., Cabeza, R., McIntosh, A. R., Houle, S., & Craik, F. I. M. (1996) The Neural Correlates of Intentional Learning of Verbal Materials: A PET Study in Humans. *Cognitive Brain Research*, 4, 243-249.

- Kelley, W. M., Miezin, F. M., McDermott, K. B., Buckner, R. L., Raichle, M. E., Cohen, N. J., Ollinger, J. M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A. Z., & Petersen, S. E. (1998) Hemispheric Specialization in Human Dorsal Frontal Cortex and medial Temporal Lobe for the Verbal and Nonverbal Encoding, *Neuron*, 20, 927-936.
- Kintsch, W. (1968) Recognition and Free Recall of Organized Lists. *Journal of Experimental Psychology*, 78, 481-487.
- Kintsch, W. (1970) Models for Free Recall and Recognition. In Norman, D. A. (ed.) *Models of Human Memory*, New York: Academic Press.
- Klatzky, R. L. (1980) *Human Memory: Structures and Processes*. San Francisco: W. H. Freeman and Company.
- Kliegl, R., & Baltes, P. B. (1987) Theory-guided analysis of mechanisms of development and aging through testing-the-limits and research on expertise. In: Schooler, C., Schaie, K. W. (Eds.) *Cognitive Functioning and Social Structure of the Life Course* (pp. 95-119) Ablex, Norwood, NJ.
- Kolb, B., & Wishaw, I. Q. (1990) *Neuropsychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kral, V. A. (1962) Senescent Forgetfulness, Benign and Malignant. *Journal of the Canadian Medical Association*, 86, 257-260.
- Kramer, J. H., Blusewicz, M. B., Brandt, J., & Delis, D. F. (1985) The Assessment of Multiple Memory Processes in Alzheimer's Disease Patients. Paper presented at the annual meeting of the International Neuropsychological Society, San Diego.
- Kramer, J. H., Blusewicz, M., & Preston, K. (1989) The Premature Aging Hypothesis: Old Before its Time? *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 57, 257-262.
- LaBerg, D. (1983) Spatial Extent of Attention to Letters and Words. *Journal of experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 371-379.
- LaBerg, D. (1995). Attentional Processing in Two Subcortical Areas. *Attentional Processing: the Brain's Art of Mindfulness*, 141-202.
- Larrabee, G. J., Trahan, D. E., Curtiss, G., & Levin, H. S. (1988) Normative Data for the Verbal Selective Reminding Test. *Neuropsychology*, 2 (3-4), 173-182.
- Launer LJ, Andersen K, Dewey ME, Letenneur L, Ott A, Amaducci LA, Brayne C, Copeland JR, Dartigues JF, Kragh-Sorensen P, Lobo A, Martinez-Lage JM, Stijnen T & Hofman A. (1999). Rates and risk factors for dementia and Alzheimer's disease: results from EURODEM pooled analyses. EURODEM Incidence Research Group and Work Groups. *European Studies of Dementia. Neurology*, 52(1), 78-84.

Laver, G. D., & Burke, D. M. (1993) Why Do Semantic Priming Effects Increase in Old Age? A Meta-Analysis. *Psychology and Aging*, 8, 34-43.

Lepage, M., Ghaffar, O., Nyberg, L. & Tulving, E. (2000) Prefrontal Cortex and episodic Memory retrieval Mode. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 97, 506-511.

Leung, G. M., Yeung, R. Y. T., Chi, I., & Chu, L. W. (2003) The Economics of Alzheimer's Disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 15, 34-43.

Lewin, C., Wolgers, G., & Herlitz, A. (2001) Sex Differences favoring Woman in Verbal and Non-Verbal, but not in Visuospatial Episodic Memory. *Neuropsychology*, 15, 165-173.

Lienert, G. A. & Raatz, U. (1994) *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Psychologische Verlagsunion.

Light, L. L., & Singh, A. (1987) Implicit and Explicit Memory in Young and Older Adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 13, 531-541.

Light, L.L. (1992). The Organization of Memory in Old Age. In: F.I.M. Craik & T.A. Salthouse (Eds.), *The Handbook of Aging and Cognition*, Lawrence Erlbaum. Hillsdale, NJ.

Lin, R. T., Lai, C. L., Tai, C. T., Liu, C. K., Yen, Y. Y., & Howng, S. L. (1998). Prevalence and subtypes of dementia in southern Taiwan: impact of age, sex, education, and urbanization. *J Neurol Sci*, 160(1), 67-75.

Lindenberger, U. & Baltes, P.B. (1994). "Sensory Functioning and Intelligence in Old Age: A Strong Connection." *Psychology and Aging*, 9, 339-355.

Logan, J. M., Kelley, W. M., & Buckner, R. L. (2000) Inferior and Dorsal Frontal Cortex Play Distinct Roles in Episodic Memory Formation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 631-640.

Loonstra, A. S., Tarlow, A. R., & Sellers, A. H. (2001) COWAT Metanorms Across Age, Education, and Gender. *Applied-Neuropsychology*, 8 (3), 161-166.

Maccoby, E.E. & Jacklin, C.M. (1975), *The Psychology of Sex Differences*. Stanford University Press.

Mangels, J. A., Picton, T. W., & Craik, F. I. M. (2001). Attention and Successful Episodic Encoding: An Event-Related Potential Study. *Cognitive Brain Research*, 11, 77-95.

Max, W., Webber, P., & Fox, P. (1995) Alzheimer's Disease: The Unpaid Burden of Caring. *Journal of Aging and Health*, 7, 179-199.

- McDowd, J. M., & Craik, F. I. M. (1988) Effects of Aging and Task Difficulty on Divided Attention Performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 267-280.
- McLean, A., Temkin, N.R., Dikmen, S. & Wyler, A. R. (1983) The Behavioral Sequel of Head Injury. *Journal of Clinical Neuropsychology*. 5, 361-376.
- McLelland, J. L. (1996) Integration of Information: Reflections of the Theme of Attention and Performance XVI. In: Toshui, I., & McLelland, J. L. (eds.) *Attention and Performance XVI*, pp. 633-656. Cambridge, MA: MIT Press.
- Merz, F. (1979) *Geschlechterunterschiede und ihre Entwicklung*. Göttingen: Hogrefe.
- Mesulam, M. M. (1981) A Cortical Network for Directed Attention and Unilateral Neglect. *Annals of Neurology*, 10, 309-329.
- Mesulam, M.-M. (1998). From Sensation to Cognition. *Brain*, 121, 1013-1052.
- Miller, G. A. (1956) The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits of Our Capacity for Processing Information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Milner, B. (1959) the Memory Defect in Bilateral Hippocampal Lesions. *Psychiatric Research Reports*, 11, 43-58.
- Mirsky, A. F., Fantie, D. F., & Tatman, J. E. (1995). Assessment of Attention Across the Lifespan. Mapou, R. L. & Spector, J. (Ed.) In: *Clinical Neuropsychological Assessment: A Cognitive Approach*, 17-48, Plenum Press: New York.
- Monsch, A. U., Bondi, M. W., Salmon, D. P., Butters, N., Thal, L. J., Hansen, L. A., Wiederholt, W. C., Cahn, D. A., & Klauber, M. R. (1995) Clinical Validity of the Mattis Dementia Rating Scale in Detecting Dementia of the Alzheimer Type. A Double Cross-Validation and Application to a Community-Dwelling Sample. *Arch Neurol*, 52(9), 899-904.
- Moray, N. (1959) Attention in Dichotic listening: Affective Cues and the Influence of Instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11, 56-60.
- Murdock, B. B., Jr. (1962) The Serial Position effect of Free Recall. *Journal of Experimental Psychology*, 64, 482-488.
- Navon, D. (1985) Attention Division or Attention Sharing? In: Posner, M. I. & Marin, O. S. M. (Eds.) *Attention and Performance XI*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Noble, C. E. (1961) Measurement of Association Value (a), rated Associations (a'), and Scaled Meaningfulness. for the 2100 CVC Combinations of the English Alphabet. *Psychological Reports*, 8, 487-521.

- Nolde, S. F., Johnson, M. K., & Raye, C. L. (1998) The role of Prefrontal Cortex During Tests of Episodic Memory. *Trends in Cognitive Science*, 2, 399-406.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1980) Attention to Action: Willed and Automatic Control of Behavior. University of California San Diego CHIP Report.
- Norman, M. A., Evans, J. D., Miller, S. W., & Heaton, R. K. (2000). Demographically Corrected Norms for the California Verbal Learning Test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 22 (1), 80-94.
- O'Donnell, B. F., & Cohen, R. A. (1993). Attention: A Component of Information Processing. In: Cohen, R. A. (Ed.) *The Neuropsychology of Attention*, 11-48.
- Ojemann, G. A., Creutzfeldt, O., Lettich, E., & Haglund, M. M. (1988) Neuronal Activity in Human Lateral Temporal Cortex Related to Short-Term verbal Memory, Naming and Reading. *Brain*, 111, 1383-1403.
- Owen, A. M., Milner, B., Petrides, M., & Evans, A. C. (1996) Memory for Object Features versus Memory for Object Location: A Positron-Emission Tomography Study of Encoding and Retrieval Processes. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 93, 9212-9217.
- Paolo, A. M., Troster, A. I., & Ryan, J. J. (1997) California Verbal Learning Test: Normative Data for the Elderly. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 19, 220-234.
- Parasuraman, R. & Haxby, V. (1993). Attention and Brain Function in Alzheimer's Disease: A Review. *Neuropsychology*, 7 (3), 242-272.
- Parasuraman, R. (1983). Sustained Attention in Detection and Diskrimination. In: Parasuraman, R., Davies, D. R. (Eds.) *Varieties of Attention*, 243-271, Academic Press, Inc..
- Parasuraman, R., Greenwood, P. M. & Sunderland, T. (2002) The Apolipoprotein E Gene, and Brain Function. *Neuropsychology*, 16 (2), 254-274.
- Park, D.C. & Shaw, R.J. (1992). Effect of Environmental Support on Implicit and Explicit Memory in Younger and Older Adults. *Psychology and Aging*, 7, 632-642.
- Park, D.C., Puglisi, J.T., & Smith, A.D. (1986). Memory for Pictures: Does an Age-Related Decline Exist?. *Psychology and Aging*, 1, 11-17.
- Perillieux, R., Bernnat, R., & Bauer, M. (2000). *Digitale Spaltung in Deutschland*. Booz-Allen & Hamilton: München.
- Petersson, K. M., Elfgrén, C., & Ingvar, M. (1997) A Dynamic Role of the Medial Temporal Lobe During Retrieval of Declarative Memory in Man. *Neuroimage*, 6, 1-11.
- Piavio, A. (1986) *Mental Representations*. New York: Oxford University Press.

- Plomin, R. & Thompson, L. (1986) Life-Span Developmental Behavioral Genetics, In Baltes, P. B., Featherman, D. L., & Lerner, R. M., Life-Span Development and Behavior (pp.1-31). Hillsdale, NY: Erlbaum.
- Plude, D. J., & Doussard-Roosevelt, J. A. (1989) Aging, Selective Attention, and Feature Integration. *Psychology and Aging*, 4, 98-105.
- Posner, M. I. (1978) *Chronometric Explorations of Mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Posner, M. I. (1980) Orienting of Attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971) Components of Attention. *Psychological Review*, 78, 391-408.
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984) Components of Visual Orienting. In: Bouma, H. & Bouwhuis, D. G. (eds.), *Attention and Performance*, 531-556, Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. R., & Davidson, B. J. (1980) Attention and the Detection of Signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 160-174.
- Posner, M. I., Walker, J. A., Friedrich, F. J., & Rafal, R. D. (1984) Effects of Parietal Injury on Covert Orienting of Visual Attention. *Journal of Neuroscience*, 4, 1863-1874.
- Rakic, P. (1995) Corticogenesis. In Gazzangia (1995) 127-145.
- Ranganath, C., Paller, K. A. (2000). Neural Correlates of Memory Retrieval and evaluation. *Cognitive Brain Research*, 9, 209-222.
- Rao, S. C., Rainer, G., & Miller, E. K. (1997) Integration of What and Where in the Primate Prefrontal Cortex. *Science*, 276, 821-824.
- Reischies, F. M. & Lindenberger, U. (1996) Grenzen und Potentiale Kognitiver Leistungsfähigkeit im Alter. In: Baltes, P. B., & Mayer, K. U. (Eds.) *Die Berliner Altersstudie* (pp. 351-378) Berlin: Akademie Verlag.
- Riege, W. H., Metter, E. J., & Hanson, W. R. (1980) Verbal and Nonverbal Recognition Memory in Aphasic and Nonaphasic Stroke Patients. *Brain and Language*, 10, 60-70.
- Rogers, W. A. (2000) Attention and Aging. In Park, D. & Schwarz, N., *Cognitive Aging: A Primer*. (pp.57-73). Philadelphia: Psychology Press.
- Rosenthal, D. M. (1993) Higher-Order Thoughts and the Appendage Theory of Consciousness. *Philosophical Psychology*, 6, 155-167.

- Ross, T. P., Lichtenberg, P. A., & Christensen, B. K. (1995) Normative Data on the Boston Naming Test for Elderly Adults in a Demographically Diverse Medical Sample. *Clinical Neuropsychologist*, 9 (4), 321-325.
- Rosvold, H. E., Mirsky, A. F., Sarason, I., Bransome, E. D., Jr., & Beck, L. H. (1956) A Continuous Performance Test of Brain Damage. *Journal of Consulting Psychology*, 20, 343-350.
- Rubin, D. C., Wetzler, S. E., & Nebes, R. D. (1986) Autobiographical Memory Across the Lifespan. In: Rubin, D. C. (Ed.), *Autobiographical Memory* (pp. 202-221). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Rugg, M. D. (1995) ERP Studies of Memory. In: Rugg, M. D., Coles, M. G. H. (eds.) *Electrophysiology of Mind: Event-Related Brain Potentials and Cognition*, Oxford: Oxford University Press.
- Salthouse, T. A. (1985). *A Theory of Cognitive Aging*. Elsevier Science Publishers B.V.
- Salthouse, T.A. & Babcock, R.L. (1991). Decomposing Adult Age Differences in Working Memory. *Developmental Psychology*, 27, 763-776.
- Salthouse, T.A., Mitchell, D.R., Skovronek, E., & Babcock, R.L. (1989). Effects of Adult Aging and Working Memory on Reasoning and Spatial Abilities. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 507-516.
- SAS Institute Inc., *SAS/STAT(R) User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 2*, Cary, NC: SAS Institute Inc., 1989.
- Schaie, K. W. (1965) A General Model for the Study of Developmental Problems. *Psychological Bulletin*, 64, 92-107
- Shallice, T. (1982) Specific Impairments of Planning. In Broadbent, D. E. & Weisenkrantz, L., *The Neuropsychology of Cognitive Functions*. London: The Royal Society.
- Shannon, C. E. (1948) A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379-423.
- Shepard, R. N. (1967) Recognition Memory for Words, Sentences, and Pictures. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6, 156-163.
- Shiffrin, R. M. & Schneider W. (1977) Controlled and Automatic Human Information Processing: II. Perceptual Learning, Automatic Attending, and a General Theory. *Psychological Review*, 84, 127-190.
- Singer, J. L. (1995) Development and Plasticity of Cortical Processing Architectures. *Science*, 270, 758-764.

- Smith, G. E., Petersen, R. C., Parisi, J. E., Ivnik, R. J., Kokmen, E., Tangalos, G., & Waring, S. (1996) Definition, Course, and Outcome of Mild Cognitive Impairment. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 3, 141-147.
- Smith, J., & Baltes, P. B. (1996) Altern aus psychologischer Perspektive: Trends und Profile im hohen Alter. In Mayer, K. U., & Baltes, P. B., *Die Berliner Altersstudie*. (pp. 221 – 250). Berlin: Akademie Verlag.
- Sobotka, S., & Ringo, J. L. (1993) Investigation of Long-Term Recognition and Association in Memory in Unit responses from Inferotemporal Cortex. *Experimental Brain Research*, 96, 28-38.
- Somberg, B., & Salthouse, T. A. (1982) Divided Attention Abilities in Young and Older Adults. *Journal of experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 651-665.
- Souetre, E. J., Quing, W., Vigoureux, I., Dartigues, J. F., Lozet, H., Lacomblez, L., & Derouesne, C. (1995) Economic Analysis of Alzheimer's Disease in Outpatients: Impact of Symptom Severity. *International Psychogeriatrics*, 7, 115-122.
- Spelke, E., Hirst, W., & Neisser, U. (1976). Skills of Divided Attention. *Cognition*, 4, 215-230.
- Sperling, G. (1967) Successive Approximations to a Model of Short-Term Memory. *Acta Psychologica*, 27, 285-292.
- Statistisches Bundesamt (2002) Altersaufbau der Bevölkerung Deutschlands am 31.12.1999. Internetressource URL: <http://www.destatis.de/basis/d/bevoe/bevoegra2.htm>
- Storandt, M., Botwinick, J., Danziger, W. L., Berg, L., & Hughes, C. P. (1984) Psychometric Differentiation of Mild Senile Dementia of the Alzheimer Type. *Arch Neurol*, 41, 497-499.
- Sturm, W. & Zimmermann, P. (2000). Aufmerksamkeitsstörungen. *Neuropsychologie*, 345-365.
- Taylor, K.I. & Monsch, A.U. (2003). The Neuropsychology of Alzheimer's disease. In: RW Richter & B Zoeller Richter (Eds.). *Alzheimer's Disease – The Basics: A Physician's Guide to the Practical Management*. pp. 109-20.
- Tooby, J., & Cosmides, L. (1995) Mapping the Evolved Functional Organization of Mind and Brain. In: Gazzangia (1995), pp. 1185-1197.
- Trabucchi, M. (1999) An Economic Perspective on Alzheimer's Disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 12, 29-38.
- Treisman, A. M. (1960) Contextual Cues in Selective Listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 242-248.

- Treisman, A. M. (1988) Features and Objects: The Fourteenth Bartlett Memorial Lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40A, 201-237.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980) A Feature-Integration Theory of Attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Tulving, E. (1962) Subjective Organization in Free recall of "unrelated" Words. *Psychological Review*, 69, 344-354.
- Tulving, E. (1972) Episodic and Semantic Memory. In: Tulving, E., & Donaldson, W. (eds.) *Organization of Memory*, 381-403, New York: Academic Press.
- Tulving, E. (2002). Episodic Memory: From Mind to Brain. *Annual Review of Psychology*, 53 (1), 1-25.
- Tulving, E., & Thomson, D. M. (1973) Encoding Specificity and Retrieval Processes in Episodic Memory. *Psychological Review*, 80, 352-373.
- Uttl, B., & Graf, P. (1993) Episodic Spatial Memory in Adulthood. *Psychology and Aging*, 8, 257-273.
- Van Zomeren & A. H., Van den Burg, W. (1985). Residual Complaints of Patients Two Years after Severe Head Injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 48, 21-28.
- Van Zomeren, A. H. & Brouwer, W. H. (1994). Theories and Concepts of Attention. van Zomeren, A. H. & Brouwer, W. H. (Ed.) In: *Clinical Neuropsychology of Attention*, 7-38, Oxford: Oxford Univ. Press.
- Wagensonner, M. (1986) *Vigilanzstörungen als eine spezifische form von Aufmerksamkeitsstörungen nach zerebralen Läsionen*. Psychologisches Institut der Universität Freiburg: Unpublished Thesis.
- Watkins, M. J., Watkins, O. C., & Crowder, R. G. (1974) The Modality Effect in Free and Serial Recall as a Function of Phonological Similarity, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 430-447.
- Weihs, C., & Schmidli, H. (1990), OMEGA (Online Multivariate Exploratory Graphical Analysis): Routine Searching for structure (with discussion), *Statistical Science*, 5, 175-226.
- Weinert, F. E. (1994). Altern in psychologischer Perspektive. Baltes, P. F. (Ed.) In: *Ein interdisziplinärer Studententext zur Gerontologie*, 180-203, Berlin : de Gruyter.
- Welsh, K. A., Butters, N., Mohs, R. C., Beekly, D., Edland, S., Fillenbaum, G., & Heyman, A. (1994) The Consortium to Establish a Registry for Alzheimer's Disease (CERAD). Part V. A Normative Study of the Neuropsychological Battery. *Neurology*, 44(4), 609-614.

- 
- Welsh, K., Butters, N., Hughes, J., Mohs, R., & Heyman, A. (1991). Detection of Abnormal Memory Decline in Mild Cases of Alzheimer's Disease Using CERAD Neuropsychological Measures. *Arch Neurol*, 48(3), 278-281.
- Wickens, C. D. (1984) Processing Resources in Attention. In: Parasuraman, R. & Davies, R. (Eds.) *Varieties of Attention* (pp. 63-101) Orlando, FL: Academic Press.
- Widmer, L. K., Stähelin, H. B., Nissen, C., & da Silva, A. (1981) *Venen-, Arterienkrankheiten, koronare Herzkrankheit bei Berufstätigen*. Bern: Hans Huber.
- Wiens, A. N., Tindall, A. G., & Crossen, J. R. (1994) California Verbal Learning Test: A Normative Data Study. *The Clinical Neuropsychologist*, 8, 75-90.
- Wiesel, T. N. (1981) *The Postnatal Development of the Visual Cortex and the Influence of the Environment*. Nobel Foundation: Stockholm.
- Wright, L. L., & Elias, J. W. (1979) Age Differences in the Effects of Perceptual Noise. *Journal of Gerontology*, 34, 704-708.
- Yokoyama, K., Jennings, R., Ackles, P., Hood, P., & Boller, F. (1987) Lack of Heart Rate Changes During an Attention-Demanding Task after Right Hemisphere Lesions. *Neurology*, 37, 624-630.
- Zimmermann, P. & Fimm, B. (1994) *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP)*. Würselen: Psytest.