

# ENZYKLOPÄDIE DER PSYCHOLOGIE

In Verbindung mit der  
Deutschen Gesellschaft für Psychologie

herausgegeben von

Prof. Dr. Niels Birbaumer, Tübingen  
Prof. Dr. Dieter Frey, München  
Prof. Dr. Julius Kuhl, Osnabrück  
Prof. Dr. Wolfgang Schneider, Würzburg  
Prof. Dr. Ralf Schwarzer, Berlin

Themenbereich C

Theorie und Forschung

Serie V

Entwicklungspsychologie

Band 7

Angewandte Entwicklungspsychologie



Hogrefe • Verlag für Psychologie  
Göttingen • Bern • Toronto • Seattle

# Angewandte Entwicklungspsychologie

herausgegeben von

Prof. Dr. Franz Petermann, Bremen  
und  
Prof. Dr. Wolfgang Schneider, Würzburg



Hogrefe • Verlag für Psychologie  
Göttingen • Bern • Toronto • Seattle

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2008 Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG  
Göttingen • Bern • Wien • Toronto • Seattle • Oxford • Prag  
Rohnsweg 25, 37085 Göttingen

<http://www.hogrefe.de>

Aktuelle Informationen • Weitere Titel zum Thema • Ergänzende Materialien



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

---

Satz: Grafik-Design Fischer, Weimar  
Druck und Bindung: AZ Druck und Datentechnik, Kempten/Allgäu  
Auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt  
Printed in Germany

ISBN 978-3-8017-0589-3

## Kognitive Leistungsreserven im höheren Erwachsenenalter: Befunde der Interventionsforschung

*Yvonne Brehmer und Ulman Lindenberger*

### *1 Einleitung*

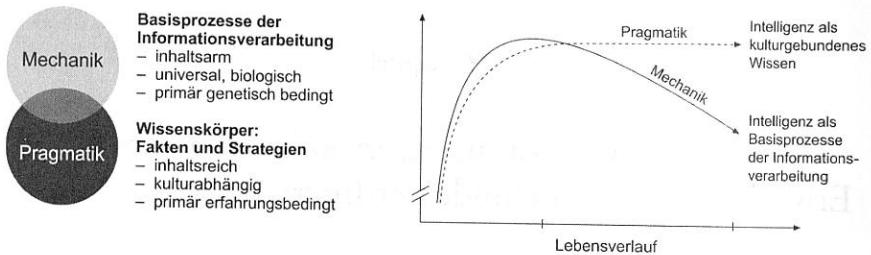
Der vorliegende Beitrag stellt den gegenwärtigen Forschungsstand zur interventionsbedingten Veränderbarkeit der kognitiven Leistungsfähigkeit im Alter dar. Als Grundlage der Betrachtung dienen Zweikomponentenmodelle der intellektuellen Entwicklung über die Lebensspanne sowie eine Taxonomie von Variabilität und Veränderung. Anschließend werden Befunde aus vier verschiedenen Bereichen der kognitiven Interventionsforschung berichtet und diskutiert. Im Zentrum der Diskussion stehen Fragen nach dem Ausmaß, der Generalisierbarkeit und der zeitlichen Aufrechterhaltung interventionsbedingter Leistungszugewinne im höheren Erwachsenenalter. Im letzten Abschnitt werden diese Befunde aus angewandter Perspektive bewertet und ausgewählte Forschungsdesiderate erläutert.

### *2 Entwicklung intellektueller Fähigkeiten im Alter*

#### *2.1 Zweikomponentenmodelle der intellektuellen Entwicklung über die Lebensspanne*

Das Muster der kognitiven Leistungsfähigkeit wandelt sich im Laufe des Lebens; die Stärken und Schwächen von Kindern unterscheiden sich von denen älterer Erwachsener. Insbesondere im Erwachsenenalter sind die Unterschiede in den Entwicklungsverläufen zwischen verschiedenen Fähigkeiten und verschiedenen Personen so beträchtlich, dass Rückschlüsse von den durchschnittlichen Verläufen auf die einzelne Fähigkeit oder die einzelne Person oft misslingen. Ein Teil

dieser Variabilität zwischen Leistungsverläufen lässt sich mit *Zweikomponentenmodellen der kognitiven Entwicklung* erfassen (siehe auch Abb. 1).



**Abbildung 1:**

Zweikomponentenmodelle der intellektuellen Entwicklung über die Lebensspanne (Der linke Teil der Abbildung definiert die Komponenten, der rechte Teil veranschaulicht die Altersverläufe; modifiziert nach Kray & Lindenberger, in Druck)

Diese Modelle unterscheiden zwischen einer biologisch bestimmten und einer kulturgebundenen Komponente der kognitiven Leistungsfähigkeit. Bereits Johann Nicolaus Tetens (1777) unterschied zwischen *absolutem Vermögen* und *relativem Vermögen*. In der faktorenanalytisch geprägten Literatur hat sich die von Raymond Cattell (1971) und John Horn (1982) vorgeschlagene Trennung zwischen *fluid*er und *kristalliner Intelligenz* durchgesetzt. Schließlich schlug Paul Baltes (1987) vor, *Mechanik* der Kognition und *Pragmatik* der Kognition voneinander abzugrenzen (siehe auch Baltes, Lindenberger & Staudinger, 2006). Die eher biologisch bedingte Mechanik bezieht sich auf die Geschwindigkeit, Genauigkeit und Koordination elementarer kognitiver Prozesse. Dazu zählen beispielsweise das logische Schließen, die Merkfähigkeit und die räumliche Orientierung. Die eher kulturell geprägte Pragmatik bezieht sich auf kognitive Leistungen, in denen biografisch erworbenes Wissen zum Ausdruck kommt.

Querschnittliche und längsschnittliche Befunde stützen die Annahme, dass von der Mechanik dominierte kognitive Leistungen im Laufe des Erwachsenenalters abnehmen, während Leistungen, die primär die Pragmatik erfassen, bis in das höhere Erwachsenenalter stabil bleiben oder zunehmen (siehe Li et al., 2004; McArdle, Hamagami, Meredith & Bradway, 2000; Schaie, 1996). Die beiden Komponenten unterscheiden sich also in ihren durchschnittlichen Verläufen über die Lebensspanne. Leistungen im Bereich der Mechanik steigen von der Kindheit bis in das frühe Erwachsenenalter steil an und nehmen anschließend ab. Leistungen im Bereich der Pragmatik nehmen ebenfalls von der Kindheit bis ins junge Erwachsenenalter zu, bleiben anschließend jedoch stabil oder nehmen weiter zu. Das vorliegende Kapitel befasst sich vorwiegend mit kognitiven Leistungen, die der Mechanik der Kognition zugerechnet werden können.

## 2.2 Ontogenetische Dynamik der Interaktion zwischen Mechanik und Pragmatik

Verfechter von Zweikomponentenmodellen der kognitiven Entwicklung postulieren, dass sich Unterschiede in den Entwicklungsverläufen verschiedener kognitiver Leistungen besser verstehen lassen, wenn man Unterschiede in der relativen Wichtigkeit biologischer und kultureller Einflüsse beim Zustandekommen dieser Leistungen in Betracht nimmt. Sie behaupten jedoch nicht, dass sich biologisch und kulturelle Einflüsse konzeptuell oder empirisch vollständig voneinander trennen lassen (vgl. Baltes et al., 2006). Kognitive Anforderungen enthalten sowohl mechanische als auch pragmatische Anteile, deren relatives Verhältnis zwischen Aufgaben, Individuen und Kontexten variiert. Normale kognitive Entwicklung besteht im Zusammenwirken beider Komponenten. So setzt der Erwerb, der Erhalt und die Anwendung der Pragmatik die Mechanik voraus (Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstroh & Taub, 1995). Gleichermäßen kann sich die Mechanik in der Kindheit ohne den Erwerb von Pragmatik nicht angemessen entwickeln (vgl. Schneider & Lockl, 2006). Die Austauschbeziehungen zwischen Mechanik und Pragmatik ändern sich im Verlauf des Lebens (Bosman & Charness, 1996; Hommel, Li & Li, 2004). Während Leistungsunterschiede in der mittleren und späten Kindheit häufig auf einer unvollständigen oder unsachgemäßen Anwendung von relevantem Wissen zurückgehen, also eher pragmatischer Natur sind, sind Leistungsunterschiede in hohen Erwachsenenalter häufig Ausdruck des alterungsbedingten Abbaus der Mechanik (Brehmer, Li, Müller, Oertzen & Lindenberger, 2007; Trick & Enns, 1998).

## 2.3 Der Abbau der Mechanik im Alter: Zentrale Dimensionen und mögliche Determinanten

Das Nachlassen der Mechanik der Kognition zeigt sich unter anderem in der Wahrnehmungsgeschwindigkeit, dem episodischen Gedächtnis sowie beim Bearbeiten von Mehrfachaufgaben. Die Erforschung der Ursachen für den alterungsbedingten Rückgang in der Mechanik der Kognition erfolgt im Rahmen unterschiedlicher theoretischer Orientierungen (vgl. Kray & Lindenberger, in Druck). Die *Ressourcenorientierung* nimmt an, dass altersbedingte Veränderungen im Verhalten durch eine *geringe* Anzahl von Ursachen erklärt werden können, die als kognitive Ressourcen für eine *Vielzahl* von Leistungen fungieren (vgl. Petermann & Schmidt, 2006). Die *Prozessorientierung* postuliert hingegen die Existenz eines breiten Spektrums ursächlicher Mechanismen für altersbedingte Veränderungen. Neuere empirische Studien lassen vermuten, dass bei der kognitiven Alterung sowohl bereichsübergreifende als auch spezifische Ursachen wirksam sind (siehe auch Lindenberger & Ghisletta, 2007).

### 2.3.1 *Abbau der Mechanik der Kognition aus Sicht der Ressourcenorientierung*

Innerhalb der Ressourcenorientierung richtet sich das theoretische und empirische Interesse in erster Linie auf drei Konstrukte:

- a) Die *Verarbeitungsgeschwindigkeit* (Cerella, 1990; Salthouse, 1996) oder die Geschwindigkeit, mit der elementare kognitive Operationen ausgeführt werden können;
- b) das *Arbeitsgedächtnis* (Baddeley, 1996; Just, Carpenter & Keller, 1996) oder die Fähigkeit, Informationen in einem oder mehreren Kurzzeitspeichern zu erhalten und zugleich diese und/oder andere Informationen zu transformieren;
- c) die *Inhibition* (Hasher & Zacks, 1988) oder die Fähigkeit, irrelevante Informationen automatisch oder intentional zu hemmen.

Ältere Erwachsene bearbeiten kognitive Aufgaben generell langsamer als jüngere Erwachsene. Deswegen liegt es nahe, alterungsbedingte Veränderungen in der kognitiven Mechanik primär als ein Nachlassen der Ressource Verarbeitungsgeschwindigkeit anzusehen (vgl. Salthouse, 1996). Allerdings verweist die *Verarbeitungsgeschwindigkeit* als erklärendes Konstrukt, anders als die deskriptive Größe der *Bearbeitungsgeschwindigkeit* auf andere Konstrukte wie *Arbeitsgedächtnis* und *kognitive Kontrolle* (siehe unten), so dass dieser Erklärungsansatz weniger sparsam und grundlegend ist, als es zunächst den Anschein hat. Zudem ließ sich ein einheitliches neuronales biologisches Korrelat altersbedingter Veränderungen in der *Verarbeitungsgeschwindigkeit* bislang nicht beobachten.

Ähnliche Einwände lassen sich gegen das *Arbeitsgedächtniskonstrukt* geltend machen. Zum einem werden Altersveränderungen des *Arbeitsgedächtnisses* oft mit Veränderungen der *Verarbeitungsgeschwindigkeit* (Salthouse, 1996), *Speicherkapazität* (Gathercole, 1999) sowie mit *Hemmungsprozessen* in Verbindung gebracht (Hasher & Zacks, 1988). Zum anderen besteht eine wesentliche Funktion des *Arbeitsgedächtnisses* in der Kontrolle zielgerichteten Handelns und Denkens (z. B. Kane & Engle, 2003). Diese Funktion wird häufig als ein zentrales Kennzeichen intelligenten Verhaltens betrachtet und führt daher zu der Frage, ob man dann überhaupt vom *Arbeitsgedächtnis* als Ressource (im Sinne einer „basalen Determinante“) sprechen kann. Allerdings scheinen jüngere Theorien zum *Arbeitsgedächtnis* geeignet zu sein, derartige Einwände zu entkräften (siehe insbesondere Oberauer, 2002).

*Inhibition* oder die Fähigkeit, irrelevante Informationen beiläufig oder intentional zu unterdrücken (zu hemmen), ist für zielgerichtetes Handeln auch im Alltag von großer Bedeutung. Im Labor wird *Inhibition* meist mit Aufgaben erfasst, bei denen Personen eine starke Handlungstendenz unterdrücken müssen, um zur angemessenen Antwort zu gelangen, wie zum Beispiel beim

Stroop Test. Ältere Erwachsene scheinen weniger effizient in der Inhibition handlungsirrelevanter Aufgaben zu sein (Hasher, Quig & May, 1997; Mayr & Liebscher, 2001; Zacks, Radvansky & Hasher, 1996). Es hat sich jedoch als schwierig erwiesen, Altersunterschiede in der Hemmung von Altersunterschieden in der Aktivierung zu trennen, so dass sich der Beitrag der Inhibition zur Erklärung von Altersunterschieden in intellektuellen Fähigkeiten derzeit nur schwer bestimmen lässt.

Insgesamt haben die im Rahmen der Ressourcenorientierung vorgeschlagenen Konstrukte zu keiner überzeugenden konzeptuellen und empirischen Erklärung altersbedingter Veränderungen in der Mechanik der Kognition geführt. Der Erklärungsgehalt dieser Konstrukte wird durch unklare Konstruktdefinitionen, Abgrenzungsprobleme und die überwiegende Nutzung korrelativer Analysen altersheterogener querschnittlicher Stichproben stark eingeschränkt.

### *2.3.2 Abbau der Mechanik der Kognition aus Sicht der Prozessorientierung*

Im Rahmen der Prozessorientierung kognitiver Alterungsprozesse steht die Suche nach biologischen Korrelaten der mechanischen Entwicklung im Vordergrund (Cabeza, 2001; Li, Lindenberger & Sikström, 2001; Prull, Gabrieli & Bunge, 2000; Raz et al., 2005). Die Suche nach dem biologischen Korrelat umfasst alterungsbedingte Veränderungen des Gehirns auf neurochemischer, anatomischer und funktionaler Ebene und deren Verbindung zu alterungsbedingten behavioralen Veränderungen.

Das Stirnhirn ist für das Altern der Mechanik der Kognition von besonderer Bedeutung. So zeigt der dorsolaterale präfrontale Kortex deutliche anatomische Veränderungen, die sich auch längsschnittlich nachweisen lassen (Raz et al., 2005). Die besonders stark ausgeprägten alterskorrelierten anatomischen Veränderungen des Stirnhirns entsprechen der Beobachtung, dass einige Eigenschaften des kognitiven Systems, die bestimmte Areale des Stirnhirns beanspruchen, besonders spät in der Kindheit reifen und besonders deutlich von der kognitiven Alterung betroffen sind. Diese Eigenschaften betreffen die Regulation und Koordination von Verhalten und werden gemeinhin als „exekutive Funktionen“ oder kognitive Kontrolle bezeichnet (Duncan, Emslie, Williams, Johnson & Freer, 1996; Miller & Cohen, 2001; Smith & Jonides, 1999). Eine Vielzahl an Befunden legt nahe, dass Altersunterschiede in der Kindheit und im höheren Erwachsenenalter besonders groß sind, wenn hohe Anforderungen an kognitive Kontrolle gestellt werden. Typische Beispiele sind die Koordination von Handlungen und Wahrnehmungsinhalten, die Unterdrückung reizgetriebener Handlungstendenzen, die gleichzeitige Bearbeitung mehrerer Aufgaben sowie der Wechsel zwischen unterschiedlichen Aufgabenanforderungen. Auch



Altersunterschiede in episodischen Gedächtnisleistungen (Tulving & Markowitsch, 1998; Wheeler, Stuss & Tulving, 1997) werden mit Altersveränderungen in präfrontalen Hirnarealen sowie der mit ihnen verknüpften Basalganglien, neben altersbedingten Veränderungen in anderen Arealen wie dem Hippocampus in Verbindung gebracht (Werkle-Bergner, Müller, Li & Lindenberger, 2006). Schließlich besteht auf neurochemischer Ebene ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Effizienz von Verarbeitungswegen, die das Stirnhirn mit den Basalganglien verbinden, und der dopaminergen Neuromodulation (Bäckman, Nyberg, Lindenberger, Li & Farde, 2006).

### 2.3.3 Zur Verknüpfung ressourcen- und prozessorientierter Ansätze

Altersveränderungen in der Mechanik der Kognition gehen vermutlich sowohl auf übergreifende als auch auf spezifische Ursachen zurück. Übergreifende Ursachen werden zumeist als Ressourcen beschrieben und spezifische Ursachen eher als Prozesse. Daher scheint es nützlich zu sein, beide theoretische Orientierungen zu verfolgen und empirisch miteinander zu verknüpfen (vgl. Kliegl, Mayr & Krampe, 1994). Dabei sollten längsschnittliche und personenorientierte Versuchspläne verwandt werden, damit die Anzahl, Dynamik und interindividuelle Unterschiedlichkeit relevanter Einflussgrößen besser bestimmt werden kann, als dies mit querschnittlichen Versuchsplänen möglich ist (siehe auch Lindenberger & Pötter, 1998; Schmiedek & Lindenberger, in Druck).

Weiterhin lassen sich die beiden theoretischen Orientierungen durch neurowissenschaftliche Befunde und Modelle miteinander verbinden. Annahmen über übergreifende Mechanismen können im Rahmen von Prozessmodellen überprüft werden. Ein Beispiel für diese Forschungsstrategie sind neuronale Netzwerkmodelle (vgl. Li & Lindenberger, 1999; Li et al., 2001). Mithilfe dieser Modelle lässt sich der Versuch unternehmen, alterungsbedingte Veränderungen der Mechanik der Kognition wie niedrigere Lernraten, niedrigere asymptotische Lernleistungen, höhere Interferenzanfälligkeit, größere inter- und intraindividuelle Variabilität mit theoretisch bedeutsamen Modellparametern abzubilden.

## 3 Kognitive Plastizität und Variabilität

### 3.1 Differentielle Entwicklungspsychologie: Interindividuelle Unterschiede in intraindividuellen Veränderungen

Neben der Untersuchung von Unterschieden in der Leistungsfähigkeit *zwischen* Individuen ist die Erforschung von Unterschieden in kognitiver Leistungsfähigkeit *innerhalb* von Individuen besonders geeignet, um kognitive Verände-

rungen über die Lebensspanne und im Alter zu verstehen. Ausgangspunkt für die Untersuchung intraindividuelle Variabilität ist die Annahme, dass das Verhalten eines Individuums immer nur eine mögliche Ausprägung verschiedener Verhaltensoptionen darstellt, die unter veränderten Bedingungen und Kontexten ebenfalls möglich wären. Intraindividuelle Variabilität bezieht sich somit auf die Modifizierbarkeit des Verhaltens innerhalb von Personen oder deren latentes Potenzial.

Zum Ausmaß an intraindividuelle Variabilität über die Lebensspanne gibt es weitaus weniger Studien als zum Ausmaß interindividueller Unterschiede, obwohl die Veränderbarkeit des Entwicklungswegs einzelner Personen vorrangig ist, zumal aus angewandter Perspektive. So werden die Entwicklungsverläufe verschiedener Personen oder Unterschiede zwischen Personen verschiedener Altersgruppen häufig dazu genutzt, um aufgrund von durchschnittlichen Verläufen oder Altersunterschieden auf normative intraindividuelle Veränderungen zu schließen. Interindividuelle Unterschiede können die Beobachtung intraindividuelle Variabilität jedoch nicht ersetzen (Lindenberger & Oertzen, 2006). Die Erforschung der Leistungspotenziale einzelner Personen erfordert ein grundlegendes methodologisches Umdenken. Beispielsweise werden statistische Überlegungen zur Stichprobengröße regelmäßig auf die Anzahl der Personen pro Altersgruppe, selten jedoch auf die Anzahl von Messzeitpunkten innerhalb einer Person angewandt.

### 3.2 Von mikrogenetischer Variabilität zu ontogenetischen Veränderungen: Eine forschungsleitende Taxonomie

Intraindividuelle Variabilität (Plastizität) lässt sich auf ineinander verschachtelten *Zeitspannen*, *Analyseebenen* und *Bereichen* betrachten (siehe Tab. 1; vgl. Brehmer & Lindenberger, in Druck; Li, Huxhold & Schmiedek, 2004; Lindenberger & Oertzen, 2006). Hinsichtlich der Zeitspannen lassen sich mikrogenetische Variationen von ontogenetischen Veränderungen abgrenzen (vgl. Nesselroade, 1991). Mikrogenetische Variationen beziehen sich auf kurze Zeiträume und sind in der Regel reversibel. Ontogenetische Veränderungen beziehen sich auf längere Zeitspannen und sind in vielen Fällen progressiv, kumulativ und permanent. Hinsichtlich der Analyseebenen lassen sich behaviorale und neuronale Ebenen unterscheiden (Lindenberger, Li & Bäckman, 2006). Hinsichtlich der Bereiche können lokale (univariate) Variationen/Veränderungen in einzelnen Funktionen oder globale (multivariate) Variationen/Veränderungen in der Organisation mehrerer Funktionsbereiche betrachtet werden. Schließlich kann aus funktionaler Sicht zwischen adaptiver und maladaptiver Variabilität unterschieden werden. Die aus diesen Überlegungen resultierende Taxonomie sei im Folgenden anhand einiger Beispiele erläutert.

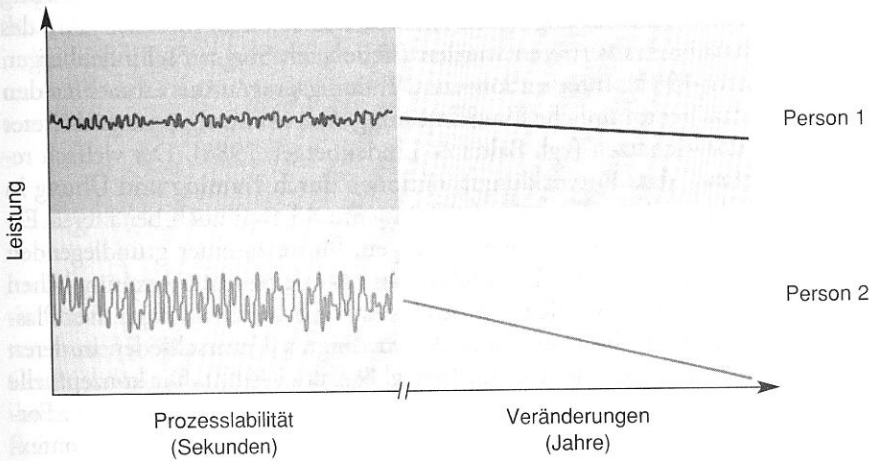
Tabelle 1:

Variabilität und Veränderung kognitiver Leistungen über die Lebensspanne. Eine Taxonomie (modifiziert nach Brehmer & Lindenberger, in Druck; Lindenberger & Oertzen, 2006; Li et al., 2004)

Zeitskala	Gültigkeitsbereich	
	Variationen einzelner Funktionen (lokal, univariat)	Transformationen der funktionalen Organisation (global, multivariat)
Mikrogenetisch (z. B. über Trials, Sitzungen oder Wochen)	<p><i>Relativ reversible Veränderungen in einer Funktion</i></p> <p><b>Beispiele:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verarbeitungsfuktuation (Verarbeitungsstabilität)</li> <li>– Neuronale und behaviorale Plastizität (kurzzeitiges Lernpotenzial)</li> <li>– Strategische Vielfalt (Reichtum des Verhaltensrepertoires innerhalb von Aufgaben)</li> <li>– Anpassungsfähigkeit an umweltbedingte Störungen</li> <li>– Zyklische Veränderungen spezifischer Funktionen</li> </ul>	<p><i>Relativ reversible Veränderungen der funktionalen Organisation</i></p> <p><b>Beispiele:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verschiebungen in der Ressourcenaufteilung, Koordination und kompensatorisches Verhalten in Doppelaufgaben</li> <li>– Kontextbedingte Veränderungen mentaler Sets und funktionaler Organisation (z. B. Gleichgewichtskontrolle mit offenen oder geschlossenen Augen)</li> <li>– Situationsbezogene Wahl und bevorzugtes Verhalten</li> </ul>
Ontogenetisch (z. B. über Monate, Jahre oder Jahrzehnte)	<p><i>Relativ permanente (kumulative, progressive) Veränderungen in einer Funktion</i></p> <p><b>Beispiele:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Körperliches Wachstum</li> <li>– Progressive Veränderungen in spezifischen kognitiven Funktionen (z. B. Mechanik der Kognition, generelle fluide Intelligenz, episodisches Gedächtnis)</li> <li>– Dauerhaftes Lernen und Fertigkeitserwerb (z. B. Pragmatik der Kognition, generelle kristalline Intelligenz)</li> </ul>	<p><i>Relativ permanente (kumulative, progressive) Veränderungen der funktionalen Organisation</i></p> <p><b>Beispiele:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Fähigkeitsdifferenzierung von der Kindheit ins junge Erwachsenenalter</li> <li>– Fähigkeitsdedifferenzierung vom jungen ins hohe Erwachsenenalter</li> <li>– Kortikogenese und funktionale Spezifizierung der Hirnareale während Reifung und Lernen</li> <li>– Funktionale Reintegration der Hirnareale im hohen Alter</li> </ul>

Zu den *univariaten ontogenetischen* Veränderungen gehört die Betrachtung progressiver Veränderungen in spezifischen kognitiven Funktionen, wie zum Beispiel der Aufbau des episodischen Gedächtnisses. Allerdings haben derartige Veränderungen zumeist Rückwirkungen auf das Gesamtsystem und ziehen globale Transformationen nach sich, auch wenn diese nicht Gegenstand des Interesses sind. Ein Beispiel für *multivariate ontogenetische* Transformationen ist die Differenzierung kognitiver Fähigkeiten von der Kindheit zum Erwachsenen-

alter sowie deren Dedifferenzierung im hohen Alter. Zur *multivariaten Variabilität* auf mikrogenetischer Ebene gehört die kontextgebundene Aufmerksamkeitsverschiebung in Doppelaufgabensituationen. Als Beispiel für *univariate mikrogenetische Variabilität* kann die Prozesslabilität genannt werden, wie sie in der Standardabweichung der Antwortlatenzen von Wahlreaktionszeitaufgaben erfasst werden kann. Erhöhte Prozesslabilität impliziert, dass ein Individuum weniger gut dazu in der Lage ist, sein Verhalten über die Zeit zu reproduzieren. So hat sich gezeigt, dass ältere Erwachsene mit hoher Prozesslabilität später einen stärkeren Abbau kognitiver Fähigkeiten zeigen als Personen gleichen Alters mit geringerer Prozesslabilität (MacDonald, Hulstsch & Dixon, 2003; Abb. 2).



**Abbildung 2:**

Beispiel zur Kopplung mikrogenetischer Variabilität und ontogenetischer Veränderungen (Ältere Erwachsene mit erhöhter Prozesslabilität zeigen einen stärkeren Abbau kognitiver Fähigkeiten als Personen gleichen Alters mit geringerer Prozesslabilität; vgl. MacDonald et al., 2003; modifiziert nach Lindenberger et al., 2006)

Auf der neuronalen Analyseebene lassen sich vergleichbare Beispiele anführen. Beispiele für *multivariate ontogenetische* Veränderungen auf neuronaler Ebene stellen die kortikale Reorganisation nach Trauma sowie die funktionale Spezifikation von Hirnarealen während Reifung und Lernen dar (Elbert et al., 1995; Maguire et al., 2000). Elbert und Kollegen (1995) konnten beispielsweise zeigen, dass Spieler von Saiteninstrumenten größere kortikale Repräsentationen für die Finger der linken Hand aufweisen als Laien gleichen Alters.

Die Beschreibung und Erklärung von Plastizität verknüpft unterschiedliche Zeitspannen, Analyseebenen und Bereiche kognitiver Entwicklung. Dabei ist behaviorale Plastizität in einen sozialen Kontext eingebettet, der ebenfalls veränderbar ist. Auf der Ebene des Gehirns manifestiert sich Plastizität in funk-

tionalen, neurochemischen und neuroanatomischen Veränderungen. Das Zusammenspiel von Verhaltens- und Gehirnplastizität in einer veränderlichen physikalischen und sozialen Umwelt bildet die Grundvoraussetzung für Entwicklung und Lernen (siehe auch Hensch, 2005).

### 3.3 Kognitive Plastizität als Instrument und Gegenstand entwicklungspsychologischer Forschung

Die kognitive Altersforschung hat Plastizität vor allem als latentes Potenzial zur Leistungssteigerung untersucht. Dies geschah zunächst in Abgrenzung gegen Defizitmodelle des kognitiven Alterns, wie sie bis in die 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts vertreten wurden (siehe auch Singer & Lindenberger, 2000; Weinert, 1983). Interventions- und Trainingsprogramme erbrachten den Nachweis, dass herkömmliche Einmalmessungen das Leistungspotenzial älterer Menschen unterschätzen (vgl. Baltes & Lindenberger, 1988). Der vielfach replizierte Befund, dass Entwicklungsfunktionen durch Training und Übung in positiver Richtung beeinflusst werden können, und zwar auch bei älteren Erwachsenen mit niedrigen Ausgangsleistungen, führte zu einer grundlegenden Revision des Defizitmodells. Dem folgte eine Ausweitung der ursprünglichen Fragestellung, in der neben dem Nachweis des Fortbestands an kognitiver Plastizität im Alter auch die Frage nach altersbedingten Unterschieden in deren Ausmaß stärker berücksichtigt wurde (Kliegl & Baltes, 1987). Die konzeptuelle Ausdifferenzierung des Plastizitätsbegriffs ging mit dieser Ausweitung der Forschungsfragen einher. So schlugen Baltes und Kliegl vor, zwischen drei Kontexten der Leistungserfassung zu unterscheiden, die sich zusammengenommen dazu eignen, das Plastizitätsprofil einer Person abzubilden (Baltes, 1987; Kliegl & Baltes, 1987). Es sind dies die Ausgangsleistung, die gegenwärtige Maximalleistung und die Entwicklungskapazität.

Die *Ausgangsleistung* beschreibt die anfängliche Leistung einer Person in einer kognitiven Aufgabe ohne zusätzliche Intervention oder weitere Unterstützung. Die *gegenwärtige Maximalleistung* bezeichnet den erweiterten Leistungsbereich nach einer Intervention, also nach der Bereitstellung oder Freisetzung zusätzlicher Ressourcen, zum Beispiel durch Instruktion einer kognitiven Strategie oder zusätzliche Hinweisreize. Die *Entwicklungskapazität* bezeichnet die Steigerung der Leistungsfähigkeit bis zum Erreichen der Maximalleistung. Hierzu werden die Aufgabenbedingungen verändert (z. B. durch ausgedehntes Trainieren oder Üben), so dass aufgabenrelevante Ressourcen vollständig aktiviert oder neu geschaffen werden können.

Zur experimentellen Untersuchung der verschiedenen Leistungskontexte werden in der kognitiven Altersforschung, und dort besonders im Bereich der episo-

dischen Gedächtnisforschung, *Testing-the-limits*-Verfahren (Baltes, 1987; Kliegl & Baltes, 1987; Kliegl, Smith & Baltes, 1990) verwendet. Typischerweise werden in diesen Verfahren Personen unterschiedlichen Alters in einer leistungssteigernden Gedächtnisstrategie instruiert, die ihnen zuvor nicht vertraut war. Dem schließt sich eine zumeist individuell angepasste Trainings- und Übungsphase an, um interindividuelle Unterschiede in den Leistungsgewinnen sowie in den Obergrenzen der Leistungsfähigkeit abzuschätzen. Mit den in *testing-the-limits*-erhobenen Daten lassen sich validere Aussagen über Altersunterschiede in der Mechanik der Kognition treffen als dies bei einer Beschränkung auf Ausgangsleistungen der Fall wäre. Die Auswirkungen von Unterschieden in aufgabenrelevantem prä-experimentellem Wissen sowie von weiteren Störeinflüssen wie Testängstlichkeit und Testerfahrung werden verringert. Stabile interindividuelle Unterschiede in den leistungsrelevanten Mechanismen kommen unter diesen Umständen eher zum Vorschein als unter weniger gut kontrollierten Bedingungen (vgl. Lindenberger, 2000).

#### 4 Kognitive Intervention: Ausgewählte Befunde

Im Folgenden berichten wir den gegenwärtigen Forschungsstand zur interventionsbedingten Veränderbarkeit der kognitiven Leistungsfähigkeit älterer Erwachsener in vier verschiedenen Bereichen. Diese Klassifikation erfasst einen Großteil der relevanten Forschung. Die Anordnung der Bereiche folgt in etwa ihrem historischen Auftreten. So gehörten Interventionsstudien im Bereich der fluiden Intelligenz zu den ersten Interventionsstudien im Erwachsenenalter überhaupt, gefolgt von gedächtnisbezogenen Studien, während sich die jüngere Forschung verstärkt der Trainierbarkeit von Mehrfachaufgaben und den Wirkungen körperlicher Fitness auf kognitive Leistungen zugewandt hat.

##### 4.1 Fluide Intelligenz

Mit fluider Intelligenz im engeren Sinne bezeichnen wir hier die Fähigkeit zum schlussfolgernden Denken als Wechselspiel von Deduktion und Induktion (vgl. Carroll, 1993; Horn, 1982). Die fluide Intelligenz gehört zum Kernbereich der Mechanik der Kognition und wird zumeist mit bildlichem Material erfasst, das die Gelegenheit zur Nutzung von Vorwissen reduzieren soll. Prominente Beispiele für Forschungsprojekte zur Trainierbarkeit von Leistungen in Aufgaben zur fluiden Intelligenz sind die Projekte ADEPT (*Penn State Adult Development and Enrichment Project*; Baltes & Willis, 1982) und Pro-Alt (*Projekt Altersintelligenz*; Baltes, Dittmann-Kohli & Kliegl, 1986). Üblicherweise bestehen diese Interventionsstudien aus einem Prätest, einer Instruktions-, Trainings- und Übungsphase, die selten länger andauert als vier bis zehn Sitzungen, sowie einem Posttest.

#### 4.1.1 Leistungssteigerung

Generell erzielen geistig gesunde ältere Erwachsene in Interventionsstudien zur fluiden Intelligenz erhebliche Leistungsgewinne (siehe auch Baltes et al., 2006). Im Einklang mit den Ergebnissen anderer Studien (vgl. Schaie, 1983; Willis, Bliessner & Baltes, 1981) entspricht die durchschnittliche Größe der Leistungsgewinne in etwa der Größe des Leistungsabfalls, der zwischen dem sechzigsten und achtzigsten Lebensjahr in Längsschnittstudien beobachtet worden ist. Eine neuere Studie von Ball und Kollegen (2002) verwendete ebenfalls ein Trainingsparadigma für Aufgaben zur fluiden Intelligenz bei Personen im Alter von 65 bis 94 Jahren. Auch in dieser Studie führte das Training zu bedeutenden Leistungsgewinnen, die direkt vergleichbar waren mit dem in der Literatur beschriebenen Leistungsverlust für ältere Individuen über ein Zeitintervall von ca. 14 Jahren.

Die Ergebnisse dieser Studien unterstreichen zunächst, dass ältere Erwachsene ihre Leistungen in einem bestimmten Aufgabentyp durch Training oder Übung steigern können. Diese Leistungssteigerungen können jedoch für sich genommen nicht als Ausweis für die Trainierbarkeit der fluiden Intelligenz gelten. Sind die Leistungszugewinne eng begrenzt auf den trainierten Aufgabentyp, so ist eher davon auszugehen, dass aufgabenspezifische Fertigkeiten, nicht jedoch die Fähigkeit der fluiden Intelligenz insgesamt verbessert wurden. Zur Klärung dieser Frage ist es unerlässlich, vor und nach dem Training neben der trainierten Aufgabe auch weitere Maße der zu trainierenden sowie benachbarter Fähigkeiten zu erheben, um das Ausmaß des Transfers von Trainingsgewinnen und somit die Generalisierbarkeit der Interventionswirkungen zu bestimmen.

#### 4.1.2 Transfer

Bei der Abschätzung von Transfereffekten wird zwischen positivem Transfer auf Aufgaben derselben Fähigkeit, die der trainierten Aufgabe sehr ähnlich sind, positivem Transfer auf Aufgaben derselben Fähigkeit, die der trainierten Aufgabe äußerlich wenig ähneln, und Transfer auf Aufgaben benachbarter Fähigkeiten unterschieden. In diesem Zusammenhang ist auch von *sehr nahem* Transfer, *nahem* Transfer und *fernen* Transfer die Rede.

Die meisten Interventionsstudien im Bereich der fluiden Intelligenz haben ein weites Spektrum möglicher Transferleistungen in Augenschein genommen. *Generell zeigt sich lediglich ein sehr naher Transfer auf äußerlich ähnliche Aufgaben derselben Fähigkeit* (siehe Abb. 3). Überzeugende empirische Belege für eine grundlegende Verbesserung des Fähigkeitsniveaus sind nicht zu finden. Es liegt die Vermutung nahe, dass Interventionen des oben beschriebenen Typs vorwie-

gend aufgabenspezifisches Wissen vermitteln und reaktivieren. Die beobachteten Leistungssteigerungen in Aufgaben aus dem Bereich der fluiden Intelligenz können folglich nicht als Beleg für Veränderungen im Fähigkeitsniveau gelten.

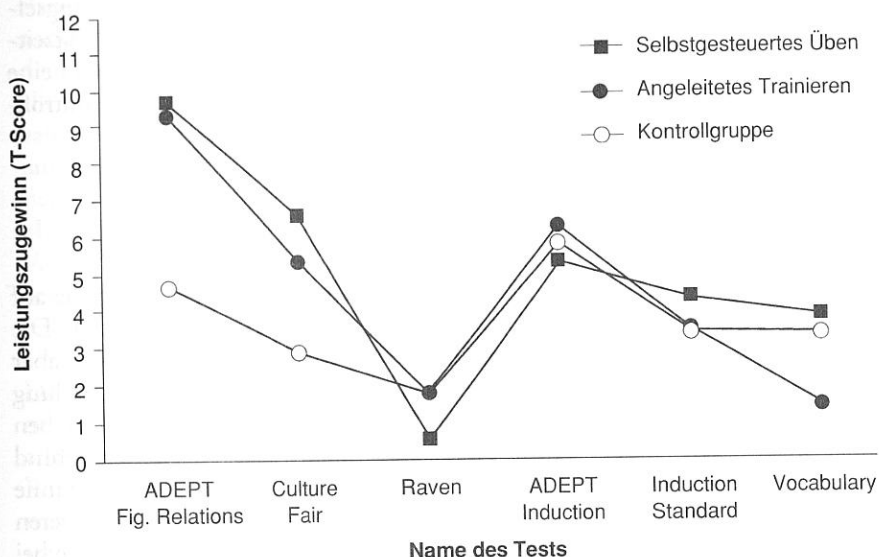


Abbildung 3:

Die Ergebnisse einer kognitiven Interventionsstudie im Bereich der fluiden Intelligenz (siehe Baltes, Sowarka & Kliegl, 1989); geübt bzw. trainiert wurden der ADEPT Figural Relations. Im Vergleich zur Kontrollgruppe (Messwiederholung ohne Intervention) führte selbstgesteuertes Üben zu Veränderungen gleicher Größenordnung wie angeleitetes Trainieren. Dieser Befund legt die Deutung nahe, dass das angeleitete Training in erster Linie bereits vorhandene Strategien und Heuristiken reaktiviert. Der positive Transfer der Intervention beschränkte sich auf Aufgaben, deren äußere Merkmale denen der trainierten Aufgabe stark ähnelten; bereits für den Raven-Matrizen test ließen sich keine trainings- oder übungsbedingten Leistungszugewinne nachweisen. Dies stützt die Annahme, dass die Intervention auf dem Niveau aufgabenspezifischer Fertigkeiten wirksam war, nicht jedoch auf dem Niveau aufgabenübergreifender Fähigkeiten; nach Kray & Lindenberger (in Druck)

#### 4.1.3 Aufrechterhaltung von Leistungszugewinnen

Neben der Breite von Trainingsgewinnen, wie er im Transfer deutlich wird, ist auch deren zeitliche Ausdehnung von großem Interesse. Konzeptuell kann der Übergang von unmittelbaren Leistungszugewinnen zur Aufrechterhaltung dieser Gewinne nach Beendigung der Intervention als ein Übergang von mikrogenetischer Variabilität zu Veränderung angesehen werden (siehe Tab. 1). Letztlich geht es hier um die Frage, ob Personen durch geeignete Interventionen auf eine günstigere Bahn der kognitiven Entwicklung geraten können.



Generell zeigen Studien im Bereich der fluiden Intelligenz, dass ältere Erwachsene Trainingsgewinne über Wochen und Monate aufrechtzuerhalten vermögen (vgl. Ball et al., 2002; Baltes et al., 1986; Baltes & Willis, 1982; Bliessner, Willis & Baltes, 1981; Schaie & Willis, 1986; Willis & Nesselroade, 1990). So überprüften Baltes und Willis (1982) die Aufrechterhaltung von Trainingseffekten nach einer Woche, einem Monat und sechs Monaten. Zu allen Testzeitpunkten lag die Leistung der zuvor trainierten älteren Erwachsenen etwa eine Standardabweichung über der Ausgangsleistung der entsprechenden Kontrollgruppe, die kein Training erhalten hatte.

#### *4.1.4 Zusammenfassung*

Geistig gesunde ältere Erwachsene zeigen deutliche Leistungszugewinne auf Maßen fluiden Intelligenz, die im Zentrum der Intervention stehen. Die Größe der Leistungszugewinne variiert in Abhängigkeit von manchen, aber nicht allen Eigenschaften der Intervention. So führt reine Testwiederholung zu geringeren Leistungssteigerungen als ausgedehntes selbstgesteuertes Üben oder angeleitetes Trainieren. Ein zweiter, ebenfalls gut abgesicherter Befund besteht in der Begrenztheit der interventionsbedingten Leistungszugewinne auf die jeweils geübten oder trainierten Aufgaben. Leistungszugewinne treten in der Regel nur bei jenen Aufgaben auf, die trainiert worden sind, sowie bei Aufgaben, die äußerlich und strukturell eine sehr hohe Ähnlichkeit zu den trainierten Aufgaben aufweisen. Hingegen zeigen Aufgaben, die sich in ihren äußeren Merkmalen von der trainierten Aufgabe deutlich unterscheiden, auch dann keine oder nur sehr geringe Transfereffekte, wenn sie derselben intellektuellen Fähigkeit zugerechnet werden können. Schließlich deuten die Ergebnisse einiger Studien darauf hin, dass die durch Training und Üben erzeugten Leistungszugewinne in den trainierten Aufgaben über mehrere Monate erhalten bleiben.

## 4.2 Episodisches Gedächtnis

Das forschungshistorische Verdienst der Interventionsstudien zur fluiden Intelligenz lag vornehmlich auf dem Nachweis der Plastizität kognitiver Leistungen in einem Bereich, der besonders deutliche alterungsbedingte Einbußen zeigt. Nachdem dieser Nachweis grundsätzlich erbracht wurde (wenn auch mit der Einschränkung eines äußerst geringen Transfers auf nicht trainierte Aufgaben), geriet die Frage nach altersbedingten Unterschieden in der Plastizität in den Vordergrund des Interesses. Diese Frage wurde vornehmlich im Bereich des episodischen Gedächtnisses untersucht. Episodisches Gedächtnis bezeichnet die Fähigkeit, sich an Erlebtes zu erinnern und es zeitlich und kontextuell ange-

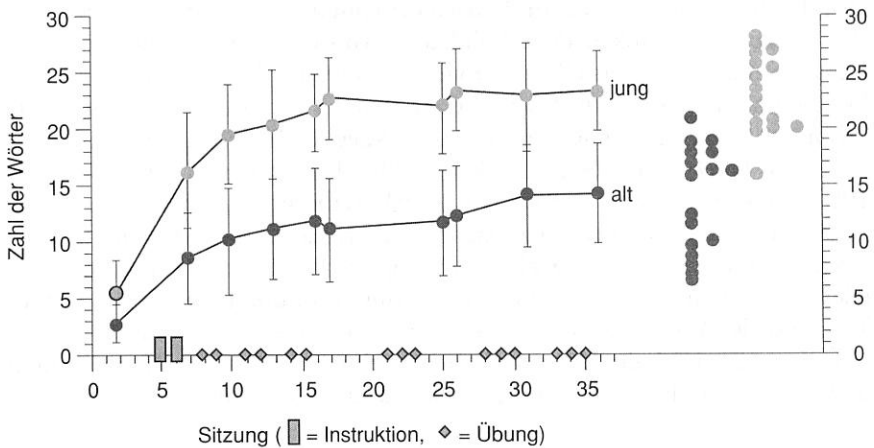
messen einzuordnen (Wheeler et al., 1997; z. B. die konkrete Erinnerung an das Essen am gestrigen Abend).

Die Plastizität des episodischen Gedächtnisses wurde in mehreren altersvergleichenden Untersuchungen unter Nutzung von *Testing-the-limits*-Verfahren untersucht. Von großer Bedeutung bei *Testing-the-limits*-Verfahren ist die Auswahl der instruierten und trainierten Strategie. Die Strategie sollte für Teilnehmer aller Altersstufen neu, leistungssteigernd und erlernbar sein, um die angestrebte valide Abschätzung von Altersunterschieden in den Leistungsobergrenzen auch tatsächlich zu gewährleisten. Im Bereich des episodischen Gedächtnisses haben sich Gedächtnistechniken, die auf bildhaften Vorstellungen aufbauen, in diesen Hinsichten als besonders effektiv erwiesen. So wurde die *Methode der Orte* in Verbindung mit *Testing-the-limits*-Verfahren in der kognitiven Altersforschung besonders häufig verwendet (vgl. Baltes & Kliegl, 1992; Kliegl, Smith & Baltes, 1986, 1989; Lindenberger & Baltes, 1995; Lindenberger, Kliegl & Baltes, 1992; Stigsdotter Neely & Bäckman, 1993; Verhaeghen & Marcoen, 1996). Dabei erlernen die Teilnehmer zunächst eine festgelegte Sequenz von Hinweisorten. Während der Einprägephase verknüpfen die Teilnehmer jeweils ein zu erlernendes Item (z. B. Wort) und einem Hinweisort durch ein Gedankenbild. Während der Wiedergabephase gehen die Teilnehmer die erlernten Orthinweisreize gedanklich der Reihe nach durch, erinnern sich an die Gedankenbild und gelangen im Erfolgsfall wieder an das zu lernende Item.

#### 4.2.1 Leistungssteigerung

Auch im Bereich des episodischen Gedächtnisses zeigt sich, dass Interventionen zu deutlichen Leistungsverbesserungen bei älteren Erwachsenen führen (vgl. Anschutz, Camp, Markley & Kramer, 1985; Ball et al., 2002; Cavallini, Pagnin & Vecchi, 2003; Stigsdotter & Bäckman, 1989; Verhaeghen, Marcoen & Goossens, 1992). Ältere Erwachsene zeigen deutliche Leistungsverbesserungen direkt im Anschluss an die Instruktion in einer Gedächtnistechnik, im Sinne einer erfolgreichen Aktivierung ihrer gegenwärtigen Maximalleistung. Die Größenordnung dieser Leistungszugewinne entspricht wiederum in etwa dem in Längsschnittstudien im späteren Erwachsenenalter über einen Zeitraum von 15 bis 20 Jahren zu beobachtenden Leistungsrückgang. Nach Training und Übung zeigen sich weitere Leistungsgewinne im Sinne der Aktivierung von Entwicklungskapazität. Allerdings sind hier sowohl die Leistungszugewinne als auch die Obergrenzen der Leistungsfähigkeit deutlich geringer als bei jungen Erwachsenen (vgl. Baltes & Kliegl, 1992; Baltes & Lindenberger, 1988; Kliegl et al., 1989; Lindenberger & Baltes, 1997; Lindenberger et al., 1992; siehe Abb. 4). Diese altersbedingte Einschränkung der Entwicklungskapazität ist im hohen Alter, also in etwa nach Erreichen des 80. Lebensjahres, besonders deutlich (vgl.

Singer, Lindenberger & Baltes, 2003). Jüngere Erwachsene profitieren also mehr von der Instruktion und dem Training einer mnemonischen Gedächtnistechnik als ältere Erwachsene und erreichen deutlich höhere Maximalleistungen. Im Einklang mit dem Postulat eines alterungsbedingten Abbaus der kognitiven Mechanik führt dies dazu, dass die Leistungsunterschiede zwischen jüngeren und älteren Erwachsenen im Laufe der Intervention größer werden statt kleiner (vgl. Baltes & Kliegl, 1992; Kliegl et al., 1989; Nyberg et al., 2003; Verhaeghen & Marcoen, 1996).

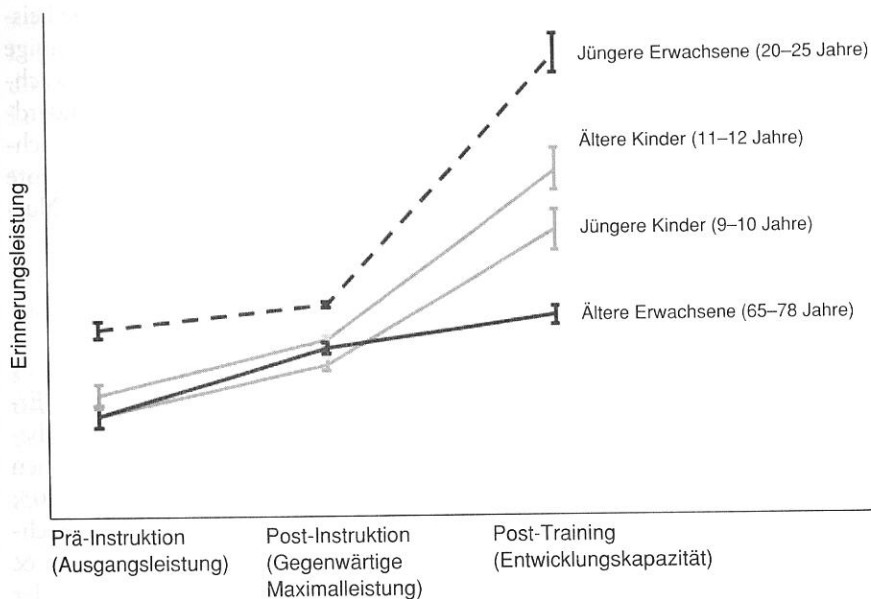


**Abbildung 4:**

Interventionsstudien mit dem Testing-the-limits-Ansatz bringen robuste altersbedingte Verluste in der Mechanik der Kognition zum Vorschein (Das Beispiel bezieht sich auf Gedächtnisleistungen nach Instruktion in der Methode der Orte. Nach 38 Sitzungen hatten die meisten älteren Erwachsenen noch nicht das Leistungsniveau erreicht, das die jungen Erwachsenen nach wenigen Sitzungen erreichten. Am Ende des Trainings lag keine der Leistungen der älteren Erwachsenen über dem Mittelwert der jüngeren Erwachsenen; nach Baltes & Kliegl, 1992)

In einer neueren Studie (Brehmer et al., 2007) wurden Kinder in die Untersuchung von Altersunterschieden in der Plastizität episodischer Gedächtnisleistungen einbezogen (siehe Abb. 5). Ein bis zu zehn Sitzungen andauerndes Gedächtnistraining unter Verwendung einer Gedächtnistechnik und einem *Testing-the-limits*-Verfahren ermöglichte den Vergleich der Ausgangsleistung, der gegenwärtigen Maximalleistung und der Entwicklungskapazität neun bis zehnjähriger und elf- bis zwölfjähriger Kinder, jüngerer Erwachsener und älterer Erwachsener. Ältere Erwachsene und Kinder begannen die Untersuchung mit ähnlichen Ausgangsleistungen und erzielten in Folge der Instruktion ähnlich große Zugewinne. Im Laufe des Trainings zeigten die Kinder jedoch weit aus größere Leistungszugewinne als die älteren Erwachsene und erreichten dementsprechend auch eine höhere Maximalleistung. In Übereinstimmung mit

dem Zweikomponentenmodell der intellektuellen Entwicklung über die Lebensspanne verfügen Kinder demnach über ein weitaus größeres Entwicklungspotenzial im Bereich episodischer Gedächtnisleistungen als ältere Erwachsene.



**Abbildung 5:**

Altersunterschiede in der Plastizität episodischer Gedächtnisleistungen über die Lebensspanne (Die Erinnerungslleistung umfasst die Anzahl richtig erinnertes Items in Relation zur Enkodierzeit. Die Post-Instruktionsleistung jüngerer Erwachsener kann auf Grund von Deckeneffekten nicht interpretiert werden. Alle anderen Datenpunkte sind interpretierbar. Ältere Erwachsene und Kinder zeigen ähnlich hohe Ausgangsleistungen, Kinder jedoch ein weitaus höheres Ausmaß an Entwicklungsplastizität; modifiziert nach Brehmer et al., 2007)

#### 4.2.2 Transfer

In einigen Untersuchungen zur Trainierbarkeit episodischer Gedächtnisleistungen im Alter wurde, ähnlich, wie in den Untersuchungen zur fluiden Intelligenz, das Ausmaß des Transfers interventionsbedingter Leistungszugewinne näher untersucht. In Übereinstimmung mit den zuvor berichteten Ergebnis im Bereich der fluiden Intelligenz ist der positive Transfer auf andere Aufgaben gering und beschränkt sich auf Aufgaben, die in zahlreichen Komponenten mit der trainierten Aufgabe übereinstimmen (Anschutz et al., 1985; Derwinger, Stigsdotter Neely, Persson, Hill & Bäckman, 2003; Scogin & Bienias, 1988; Stigsdotter & Bäckman, 1989; Stigsdotter Neely & Bäckman, 1993, 1995). Auch Interventionen, die den Erwerb der Gedächtnistechnik mit Aufmerksam-

keits- und Entspannungsübungen verknüpfen, gehen nicht mit einer genereller Verbesserung episodischer Gedächtnisleistungen einher (z. B. Stigsdotter Neely & Bäckman, 1995). Das Ausbleiben deutlicher Transfereffekte läuft der Vermutung zuwider, dass die berichteten Interventionen die kognitive Mechanik des episodischen Gedächtnisses grundlegend verändern. Zugleich sind die Leistungszugewinne beträchtlich und mit geringem Aufwand zu erzielen – einige wenige Sitzungen reichen aus, um die Leistungen der meisten älteren Erwachsenen, bezogen auf die Varianz der Prätestsituation, um mehr als eine Standardabweichung zu steigern. Dies legt erneut die Vermutung nahe, dass die beobachteten Leistungssteigerungen vornehmlich auf die pragmatische Komponente der Kognition zurückgehen, in diesem Fall also auf den Erwerb und die Nutzung gedächtnisrelevanter kognitiver Strategien.

#### *4.2.3 Aufrechterhaltung von Leistungszugewinnen*

Untersuchungen zur Aufrechterhaltung von Leistungszugewinnen nach Erwerb einer Gedächtnistechnik ergeben ein gemischtes Bild. Einige Autoren berichten den Fortbestand interventionsbedingter Leistungsvorteile über einen Zeitraum von mehreren Jahren (z. B. Ball et al., 2002; Derwinger et al., 2003; Stigsdotter Neely & Bäckman, 1993), während andere Autoren keine Aufrechterhaltungseffekte nachweisen konnten (z. B. Anschutz et al., 1985; Scogin & Bienias, 1988). Die gemischte Befundlage erscheint vor dem Hintergrund der Unterschiede zwischen den verschiedenen Studien jedoch als plausibel. So wollten Anschutz et al. (1985) ältere Erwachsene dazu veranlassen, eine im Labor erworbene Gedächtnistechnik beim Einprägen und Abrufen von Einkaufslisten im Alltag anzuwenden. Die Instruktions- und Trainingsphase für dieses ehrgeizige Unterfangen umfasste jedoch insgesamt nur zwei Sitzungen. Es ist deshalb nicht weiter verwunderlich, dass die meisten älteren Erwachsenen zwei Monate nach Ende der Untersuchung die Gedächtnistechnik im Alltag nicht nutzten und drei Jahre später keine Leistungsvorteile gegenüber einer Kontrollgruppe aufwiesen (Anschutz, Camp, Markley & Kramer, 1987). Hingegen trainierten Stigsdotter Neely und Bäckman (1989, 1993) ältere Erwachsene in einem sorgfältig aufgebauten Interventionsdesign über einen Zeitraum vom acht bis zehn Sitzungen und beobachteten sowohl nach sechs Monaten als auch nach dreieinhalb Jahren eine weitgehende Stabilität der trainierten Leistungen, mit deutlichen Leistungsvorteilen gegenüber der nicht trainierten Kontrollgruppe.

In einer jüngeren Untersuchung verglichen Brehmer et al. (2007) Kinder, jüngere Erwachsene und ältere Erwachsene in ihrer Fähigkeit, interventionsbedingte Leistungszugewinne über einen Zeitraum von elf Monaten aufrecht zu erhalten. Die Gedächtnisleistungen wurde zunächst im Sinne spontaner Aufrechterhaltung ohne erneute mnemonische Instruktion überprüft und anschließend in

einer zweiten Sitzung nach Instruktion im Sinne aktivierter Aufrechterhaltung ein weiteres Mal gemessen. Die Gruppe der jüngeren Erwachsenen zeigte über den Zeitraum von elf Monaten weder Leistungszugewinne noch Leistungseinbußen und blieb auch von der ersten zur zweiten Sitzung in ihren Leistungen stabil. Die älteren Erwachsenen zeigten in der ersten Sitzung etwas niedrigere Leistungen als vor elf Monaten. Sie verbesserten ihre Erinnerungsleistung jedoch von der ersten zur zweiten Sitzung und erreichten dadurch wieder das Leistungsniveau, auf dem sie sich elf Monate zuvor befunden hatten.

Das Leistungsmuster der Kinder unterschied sich grundlegend von dem Muster der Erwachsenen: Sie steigerten ihre Gedächtnisleistungen im Vergleich zu den Leistungen, die sie elf Monate zuvor erbracht hatten, und zwar bereits in der ersten Sitzung, also ohne erneute Instruktion! Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen zum einen erneut, dass ältere Erwachsene durchaus in der Lage sind, eine komplexe Gedächtnistechnik so gründlich zu erlernen, dass sie sie Monate später wieder erfolgreich anwenden können, und zwar insbesondere dann, wenn ihnen aufgabendienliche Hinweise zur Verfügung stehen. Zum anderen unterstreichen die Ergebnisse, dass das Ineinandergreifen von Reifung und Lernen Kindern ein besonders großes Entwicklungspotenzial im Bereich episodischer Gedächtnisleistungen ermöglicht.

#### 4.2.4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse von Interventionsstudien im Bereich episodischer Gedächtnisleistungen stimmen mit den Ergebnissen zur fluiden Intelligenz weitgehend überein. Geistig gesunde ältere Erwachsene im Altersbereich von 60 bis 75 Jahren können ihre Gedächtnisleistungen durch Instruktion und Training beträchtlich steigern. Die Leistungszugewinne übersteigen, bezogen auf die in der Stichprobe beobachtete Ausgangsleistung, in der Regel eine Standardabweichung. Im hohen Alter, das heißt jenseits von 80 bis 85 Jahren, sind die Leistungszugewinne wesentlich geringer und störanfälliger (vgl. Singer et al., 2003). Direkte Vergleiche mit jungen Erwachsenen belegen einen deutlichen Rückgang in den Obergrenzen episodischer Gedächtnisleistungen. Positive Transfer-effekte sind, falls vorhanden, von geringer Größe und beschränken sich auf äußerlich ähnliche Aufgaben.

### 4.3 Interventionen zur Bewältigung von Mehrfachanforderungen

Alterungsbedingte Leistungseinbußen in der Mechanik der Kognition treten besonders deutlich zutage, wenn ältere Erwachsene Anforderungen ausgesetzt sind, deren Bewältigung die Koordination mehrerer Aufgaben oder Hand-

lungsstränge voraussetzt. Diese Anforderungen benötigen ein hohes Maß an exekutiver Kontrolle (siehe auch Abschnitt 2.3.2) und beanspruchen Verarbeitungswege, die das Stirnhirn und die Basalganglien einschließen und besonders starke alterungsbedingte Funktionseinbußen aufweisen.

Experimentell werden Altersunterschiede in exekutiver Kontrolle häufig mit *Mehrfachaufgaben* untersucht. Dabei wird den Probanden abverlangt, zwei oder mehr Aufgaben gleichzeitig möglichst genau und schnell zu bearbeiten. In dieser Situation müssen kognitive Ressourcen auf beide Aufgaben sowie auf deren Koordination gelenkt werden. Daher sind in Doppelaufgabensituationen die in den einzelnen Aufgaben erreichten Leistungen in der Regel geringer als in Situationen, in denen die Aufgaben einzeln bearbeitet werden. Generell nehmen die durch Kombination mehrerer Aufgaben hervorgerufenen Leistungseinbußen im Laufe des Erwachsenenalters zu (siehe z. B. Salthouse, Hambrick, Lukas & Dell, 1996). Dies ist ein weiterer und alltagspraktisch wichtiger Beleg für den Rückgang der Mechanik der Kognition.

In jüngerer Zeit wurde untersucht, ob Interventionen dem Nachlassen exekutiver Kontrollprozesse entgegenwirken können. Dabei zeigte sich, dass ältere Erwachsene ihre Leistungen in Doppelaufgabensituationen durch Übung verbessern können (z. B. Kramer Larish & Strayer, 1995; Kramer, Larish, Weber & Bardell, 1999). So baten Kramer et al. (1995, 1999) jüngere und ältere Erwachsene, eine Überwachungsaufgabe (das Beobachten eines sich bewegenden Objekts) und eine arithmetische Aufgabe gleichzeitig zu bearbeiten. Neben Trainingseffekten wurden auch Transfereffekte sowie die Aufrechterhaltung von Leistungszugewinnen über einen Zeitraum von sechs bis acht Wochen erhoben. Teilnehmer beider Altersgruppen verbesserten ihre Leistungen in der Doppelaufgabensituation. Außerdem konnten diese Trainingsgewinne auf andere, strukturell ähnliche Doppelaufgabensituationen übertragen und über einen Zeitraum von bis zu zwei Monaten aufrechterhalten werden.

Darüber hinaus konnten Kramer et al. (1995, 1999) spezifische Strategieeffekte feststellen. Ein Teil der Probanden wurde gebeten, bisweilen die eine und bisweilen die andere Aufgabe bevorzugt zu bearbeiten (variable Priorität), während die anderen Probanden gebeten wurden, ihre Aufmerksamkeit gleichwertig auf beide Aufgaben zu verteilen (fixe Priorität). Bei älteren Erwachsenen gingen variable Prioritäten mit schnellerem Lernen, höheren Endleistungen, besseren Transferleistungen und höheren Leistungsgewinnen als fixe Prioritäten einher. Anscheinend förderte die Instruktion, mit Prioritäten variabel umzugehen, die koordinativen Fähigkeiten der älteren Erwachsenen in besonderer Weise.

Jüngere Untersuchungen versuchen die Trainierbarkeit des Umgangs mit Mehrfachaufgaben im Sinne der von Baltes (1987) vorgeschlagenen Unterscheidung

zwischen gegenwärtiger Maximalleistung und Entwicklungspotenzial genauer zu erfassen (Bherer et al., 2006) und mit neurofunktionalen und neuroanatomischen Veränderungen des Frontalhirns in Verbindung zu bringen. Es ist denkbar, dass diese Folgestudien auch alltagspraktisch relevante Wege aufzeigen werden, älteren Erwachsenen zu einem effizienteren Umgang mit Mehrfachaufgaben zu verhelfen. Ob die beobachteten Leistungssteigerungen überwiegend der Mechanik oder der Pragmatik zuzurechnen sind, ist gegenwärtig noch nicht absehbar.

#### 4.4 Körperliche Fitnessinterventionen zur Steigerung der kognitiven Leistungsfähigkeit

Bei den bislang berichteten Untersuchungen stimmten die trainierte Fähigkeit und das Ziel der Intervention miteinander überein; beispielsweise wurden Gedächtnistechniken instruiert und geübt, um Gedächtnisleistungen zu steigern. Dies muss nicht zwangsläufig so sein. Denkbar ist auch, dass Interventionen in einem Bereich zu Leistungssteigerungen in einem anderen Bereich führen. Angesichts der Geringfügigkeit der bislang berichteten Transfereffekte mag dies unwahrscheinlich erscheinen, ausschließen lässt es sich nicht. So könnte eine relevante Drittvariable, die Leistungen in Bereich A und B bestimmt, leichter durch eine Intervention im Bereich B beeinflussbar sein als durch eine Intervention im Bereich A. In diesem Fall könnten dann die mit der Veränderung der Drittvariablen verbundenen leistungssteigernden Wirkungen in beiden Bereichen, also auch im Bereich A, größer sein, wenn sich die Intervention auf den Bereich B konzentriert.

Eine wachsende Zahl von Befunden zeigt, dass diese Überlegungen empirische Gültigkeit beanspruchen können. Interventionen im Bereich der aeroben körperlichen Fitness, insbesondere mit älteren und körperlich wenig aktiven Personen, gehen mit zum Teil beträchtlichen und generalisierten Leistungssteigerungen im verschiedenen kognitiven Fähigkeiten einher (für eine Übersicht, siehe Schaefer, Huxhold & Lindenberger, 2006). Beachtlich ist insbesondere, dass einige kognitive Fähigkeiten, die besonders deutlich mit dem Alter nachlassen, die größten interventionsbedingten Leistungszugewinne zeigen. Dies gilt vor allem für den Bereich exekutiver Funktionen (Colcombe & Kramer, 2003). Die Ergebnisse dieser Fitnessinterventionen stützen den bereits bekannten Befund, dass sportlich aktive ältere Personen höhere kognitive Leistungen zeigen als sportlich nicht aktive Personen gleichen Alters (vgl. Spirduso, 1975).

Schaefer et al. (2006) argumentieren nach einer kritischen Diskussion einschlägiger querschnittlicher und längsschnittlicher korrelativer Befunde, sensorisch-kognitiver Mehrfachaufgaben, Interventionsstudien, neurokognitiver



Befunde und Tiermodellen, dass die positiven Auswirkungen von Veränderungen der körperlichen Fitness auf kognitive Leistungen hauptsächlich im Zusammenwirken zwei verschiedener Wirkungswege zu suchen sind. Der erste Weg ist *funktionaler* Art. Ihm zufolge verringert ein gesteigerter körperlicher Trainingszustand den kognitiven Aufwand motorischer und sensorischer Anforderungen, da diese in höherem Maße beiläufig („automatisch“) bewältigt werden können. Die freigesetzten kognitiven Ressourcen stehen dann geistigen Anforderungen in höherem Maße zur Verfügung als im körperlich untrainierten Zustand. Stützende empirische Belege für diesen Wirkungsweg stammen vornehmlich aus Untersuchungen, in denen eine kognitive Aufgabe (z. B. das Einprägen von Wortlisten mithilfe einer Gedächtnistechnik) und eine sensomotorische Aufgabe (z. B. das Laufen auf einem schmalen und verwinkelten Pfad) gleichzeitig ausgeführt werden müssen (vgl. Lindenberger, Marsiske & Baltes, 2000). In derartigen Untersuchungen zeigen ältere Erwachsene nahezu ausnahmslos höhere Doppelaufgabenkosten als jüngere Erwachsene. Diese funktionale Erklärung würde auch dann greifen, wenn die Leistungen in den beiden Funktionsbereichen nicht partiell von denselben Organsystemen hervorgebracht werden würden.

Der zweite Weg könnte als *ätiologisch oder organisch-ursächlich* bezeichnet werden, denn er verweist, im Sinne der oben skizzierten Vorstellung einer Drittvariablen, auf das Gehirn als eine für beide Funktionsbereiche relevantes Organ. Längsschnittliche Vergleiche zwischen sportlich trainierten und untrainierten Personen, Fitness-Interventionen und Tiermodellen stützen die Annahme, dass aerobe körperliche Aktivität das anatomische, neurochemische und funktionale Entwicklungspotenzial des Gehirns aktiviert und erweitert, und zwar insbesondere in Arealen und Funktionswegen, die besonders starken alterungsbedingten Einbußen ausgesetzt sind. So gilt mittlerweile als gesichert, dass im Hippokampus, einer für Lernen, Gedächtnis und raum-zeitliche Orientierung besonders wichtigen Region, auch beim erwachsenen Menschen aktivitätsinduziert neue Nervenzellen gebildet werden können (zusammenfassend siehe Kempermann, 2006). Neurogenese im erwachsenen menschlichen Gehirn bildet sicherlich die große Ausnahme; Synaptogenese, das heißt die Entstehung neuer Nervenverbindungen, und Angiogenese, das heißt die bessere Durchblutung des Gehirns, sind bei der Erklärung fitnessbedingter Verbesserungen des Organstatus vermutlich von größerer Bedeutung. Die relative Bedeutung dieser und weiterer Faktoren und deren Zusammenspiel bei fitnessbedingten kognitiven Leistungszugewinnen im Alter sind noch unklar.

Die Befunde zum Zusammenhang zwischen körperlicher Fitness und kognitiver Leistungsfähigkeit sind auch aus angewandter Perspektive von großer Bedeutung. Die Aussicht, dass Aktivitäten wie Nordic Walking oder Tanzen neben einer Steigerung der körperlichen Ausdauer auch die geistige Leistungsfähigkeit

positiv beeinflussen können, hat das Interesse an derartigen Aktivitäten in den letzten Jahren gesteigert. Dieser Trend dürfte sich in den nächsten Jahren weiter verstärken. Es sei vermerkt, dass körperliche Aktivitäten dieser Art oft in Gruppen ausgeübt werden und somit auch sozial anregend sind – ein Umstand, der ebenfalls zu den beobachteten Leistungssteigerungen beitragen könnte (vgl. Lövdén, Ghisletta & Lindenberger, 2005).

Eine wichtige Aufgabe der zukünftigen Forschung besteht darin, die funktionalen und ätiologischen Beziehungen zwischen dem Altern der Sensomotorik und dem Altern der Kognition weiter zu erhellen. Erstens sollten Fitnessinterventionen am Prätest und Posttest auch Leistungen in sensomotorisch-kognitive *Doppelaufgaben* erfassen, um zu überprüfen, ob kognitive Leistungen, die unter sensomotorischen Belastungen erbracht werden, stärker vom Fitnessstraining profitieren also kognitive Leistungen ohne zusätzliche Belastung. Dieser Befund wäre gut mit der Annahme eines Zusammenwirkens funktionaler und ätiologischer Verbindungen zwischen beiden Funktionsbereichen vereinbar (Schaefer et al., 2006). Zweitens sollte untersucht werden, ob die gleichzeitige oder zeitlich gestaffelte Teilnahme an Fitnessinterventionen *und* kognitivem Training mit besonders großen und generalisierbaren kognitiven Leistungszugewinnen einhergeht. So legen Befunde von Tiermodellen nahe, dass körperliches Training die Produktion neuer Nervenzellen im Hippokampus anregt und deren Einbau in funktional relevante Netzwerke durch die anschließende Bereitstellung kognitiv anregender Umwelten erleichtert wird (siehe auch Kempermann, 2006). Drittens sollte näher untersucht werden, warum die positiven Auswirkungen aerober Fitness auf kognitive Leistungen eher bei körperlich untrainierten Personen auftreten als bei Personen, die sich bereits auf einem hohen körperlichen Funktionsniveau befinden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag stellte den Forschungsstand zur kognitiven Intervention im Erwachsenenalter im Überblick dar. Dies geschah vor dem Hintergrund von Zweikomponentenmodellen der kognitiven Entwicklung über die Lebensspanne, die biologische und kulturell-wissensbasierte Einflussysteme miteinander in Beziehung setzen. Aus angewandter Perspektive traten Licht und Schatten zutage. Einerseits zeigt sich, mit gewissen Ausnahmen im sehr hohen Alter (vgl. Singer et al., 2003), dass geistig gesunde ältere Erwachsene in der Lage sind, ihre Leistungen in den instruierten und anschließend frei geübten oder unter Anleitung trainierten Aufgaben zu steigern. Dies dokumentiert den Erhalt der Verhaltensplastizität im Alter. Andererseits fanden sich weder bei den Interventionsstudien zur fluiden Intelligenz noch bei denen zum episodischen Gedächtnisses Hinweise darauf, dass kognitive Interventionen im

Erwachsenenalter eine generelle Verbesserung jener Fähigkeiten bewirken, denen die trainierte Aufgabe zugeordnet ist. Wenn ein älterer Erwachsener also eine Fertigkeit zum seriellen Einprägen und Erinnern von Wörtern erlernt, so hat er guten Grund zu der Hoffnung, sich künftig Wörter besser in der richtigen Reihenfolge merken zu können (es sei denn, er scheut den kognitiven Mehraufwand, der mit der Anwendung dieser Fertigkeit einhergeht). Er kann sich aber vor dem Hintergrund der gegenwärtigen Befundlage keine großen Hoffnungen darauf machen, dass sich in Folge des Erwerbs dieser Fertigkeit seine Gedächtnisleistungen generell verbessern werden. So wird es ihm vermutlich nach Abschluss des Trainings nicht leichter fallen als früher, neue Namen mit neuen Gesichtern zu verknüpfen oder sich daran zu erinnern, was er am letzten Donnerstagabend getan hat.

Daraus lässt sich nicht ohne weiteres ableiten, dass Interventionen, die sich mit fluider Intelligenz oder im Alltag kaum nutzbaren Gedächtnistechniken befassen, aus angewandter Perspektive obsolet sind. Vielmehr gibt es empirische Hinweise darauf, dass die Teilnahme an derartigen Trainingsprogrammen zu Steigerungen des Erlebens intellektueller Kompetenz führen, die positive Wirkungen auf die subjektive Befindlichkeit und das Erleben des eigenen Handlungspotenzials haben (Dittmann-Kohli, Lachman, Kliegl & Baltes, 1991; vgl. Staudinger & Pasupathi, 2000). Jedoch muss, gerade auch unter dem Gesichtspunkt des Erlebens von Selbstwirksamkeit, vor Angeboten gewarnt werden, die größere Veränderungen der kognitiven Leistungsfähigkeit in Aussicht stellen, als die empirische Befundlage es rechtfertigt.

Folgt man der Annahme, dass Leistungszugewinne in der Regel auf die trainierten Fertigkeiten beschränkt sind, so sollte bei der Wahl des Interventionsziels aus angewandter Perspektive jenen Fertigkeiten den Vorzug gegeben werden, die eine bestimmte Person für die kompetente Bewältigung ihres Alltags auch tatsächlich gebrauchen kann. Dies werden häufig Fertigkeiten sein, bei denen die kompensatorische Nutzung externer Hilfsmittel und Ressourcen im Vordergrund steht (vgl. Lindenberger, 2007). Allerdings muss auch bedacht werden, dass nahezu jede neue Fertigkeit, und sei es das Erlernen der angemessenen Verwendung eines externen Hilfsmittels, mit einem gewissen kognitiven Aufwand verbunden ist. Dieser Aufwand dürfte bei denjenigen am ehesten ins Gewicht fallen, die derartiger Fertigkeiten am dringendsten bedürfen. An diesem Paradoxon kognitiver Intervention (Schönplflug, 1998) führt wohl kein Weg vorbei.

Zugleich geben zwei Forschungszweige Anlass zu der Hoffnung, dass kognitionsrelevante Interventionen über den Erwerb eng umgrenzter Fertigkeiten hinaus mit einer übergreifenden Verbesserung kognitiver Leistungen einhergehen und den Entwicklungsgang der Mechanik der Kognition positiv verändern

könnten. Dies sind zum einen das Trainieren des Umgangs mit Mehrfachaufgaben (siehe Abschnitt 4.3) und zum anderen Interventionen im Bereich der körperlichen Fitness (siehe Abschnitt 4.4). Der zukünftigen Forschung sollte daran gelegen sein, die Mechanismen der hier zu beobachtenden generalisierten Leistungssteigerungen zu identifizieren und ihre Bedeutung für das Altern der Mechanik der Kognition einzuschätzen.

Abschließend sei bemerkt, dass Interventionsstudien mit älteren Erwachsenen im Bereich der fluiden Intelligenz und des episodischen Gedächtnisses bislang selten mehr als zehn Sitzungen umfassten (siehe aber Baltes & Kliegl, 1992). Angesichts der kumulierten Lebenserfahrung älterer Menschen handelt es sich bei diesen wenigen Stunden im Labor um eine eher zu vernachlässigende Größe. Da viele ältere Erwachsene großes Interesse an einem kognitiv und körperlich aktiven Lebensstil haben, erscheint es nicht nur wünschenswert, sondern auch praktisch möglich, zukünftige Interventionsstudien stärker in den Alltag zu integrieren und das Ausmaß des Trainings um Größenordnungen zu steigern. So wird am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung gegenwärtig eine Interventionsstudie in den Bereichen Arbeitsgedächtnis, episodisches Gedächtnis und Wahrnehmungsgeschwindigkeit durchgeführt, bei der 100 junge und 100 ältere Erwachsene über einen Zeitraum von über 100 Sitzungen trainiert werden (vgl. Lindenberger, Li, Lövdén & Schmiedek, in Druck). Zusätzlich zu der Erfassung des Verhaltens, das neben kognitiven und körperlichen auch motivationale und persönlichkeitsbezogene Bereiche abdecken sollte, sollten in extensiven Interventionsstudien dieser Art zu Beginn, am Ende und zu späteren Zeitpunkten auch neurostrukturelle und neurofunktionale Maße erfasst werden, um Altersunterschiede im Ausmaß und Verhältnis der Plastizität von Verhalten und Gehirn zu erhellen und zu individuell abgestimmten Interventionsempfehlungen zu gelangen.

## Literatur

- Anschutz, L., Camp, C.J., Markley, R.P. & Kramer, J.J. (1985). Maintenance and generalization of mnemonics for grocery shopping by older adults. *Experimental Aging Research*, 11, 157–160.
- Anschutz, L., Camp, C.J., Markley, R.P. & Kramer, J.J. (1987). Remembering mnemonics: A three-year follow-up on the effects of mnemonics training in elderly adults. *Experimental Aging Research*, 13, 141–143.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 5–28.
- Bäckman, L., Nyberg, L., Lindenberger, U., Li, S.C. & Farde, L. (2006). The correlative triad among aging, dopamin, and cognition: Current status and future projects. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30, 791–807.

- Ball, K., Berch, D., Helmers, K. F., Jobe, J. B., Leveck, M. D., Marsiske, M., Morris, J. N., Rebok, G. W., Smith, D. M., Tennstedt, S. L., Unverzagt, F. W. & Willis, S. L. (2002). Effects of cognitive training interventions with older adults. *Journal of the American Medical Association*, *13*, 2271–2281.
- Baltes, P. B. (1987). Theoretical propositions of life-span developmental psychology: On the dynamics between growth and decline. *Developmental Psychology*, *23*, 611–626.
- Baltes, P. B., Dittmann-Kohli, F. & Kliegl, R. (1986). Reserve capacity of the elderly in aging-sensitive tests of fluid intelligence: Replication and extension. *Psychology and Aging*, *1*, 172–177.
- Baltes, P. B. & Kliegl, R. (1992). Further testing of limits of cognitive plasticity: Negative age differences in a mnemonic skill are robust. *Developmental Psychology*, *28*, 121–125.
- Baltes, P. B. & Lindenberger, U. (1988). On the range of cognitive plasticity in old age as a function of experience: 15 years of intervention research. *Behavior Therapy*, *19*, 283–300.
- Baltes, P. B., Lindenberger, U. & Staudinger, U. M. (2006). Lifespan theory in developmental psychology. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology: Vol. 1. Theoretical models of human development* (6th ed., pp. 569–664). New York: Wiley.
- Baltes, P. B., Sowarka, D. & Kliegl, R. (1989). Cognitive training research on fluid intelligence in old age: What can older adults achieve by themselves? *Psychology and Aging*, *4*, 217–221.
- Baltes, P. B. & Willis, S. L. (1982). Plasticity and enhancement of intellectual functioning in old age. In F. I. M. Craik & E. E. Trehub (Eds.), *Aging and cognitive processes* (pp. 353–389). New York: Plenum Press.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K. & Becic, E. (2006). Testing the limits of cognitive plasticity in older adults: Application to attentional control. *Acta Psychologica*, *123*, 261–278.
- Bliesner, R., Willis, S. L. & Baltes, P. B. (1981). Training research on induction ability in aging: A short-term longitudinal study. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *2*, 247–265.
- Bosman, E. A. & Charness, N. (1996). Age-related differences in skilled performance and skill acquisition. In F. Blanchard-Fields & T. H. Hess (Eds.), *Perspectives on cognitive change in adulthood and aging* (pp. 428–453). New York: McGraw-Hill.
- Brehmer, Y., Li, S.-C., Müller, V., Oertzen, T. von & Lindenberger, U. (2007). Memory plasticity across the life span: Uncovering children's latent potential. *Developmental Psychology*, *43*, 465–478.
- Brehmer, Y., Li, S.-C., Straube, B., Stoll, G., Oertzen, T. von, Müller, V. & Lindenberger, U. (2007). *Maintenance of skilled episodic memory performance over 11 months: Stability in adults and improvement in children*. Manuscript submitted for publication, Max Planck Institute for Human Development, Berlin.
- Brehmer, Y. & Lindenberger, U. (in Druck). Intraindividuelle Variabilität und Plastizität. In M. Hasselhorn & W. Schneider (Hrsg.), *Handbuch der Entwicklungspsychologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Cabeza, R. (2001). Functional neuroimaging of cognitive aging. In R. Cabeza & A. Kingstone (Eds.), *Handbook of functional neuroimaging of cognition* (pp. 331–377). Cambridge, MA: MIT Press.
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Cavallini, E., Pagnin, A. & Vecchi, T. (2003). Aging and everyday memory: The beneficial effect of memory training. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *37*, 241–257.
- Cerella, J. (1990). Aging and information-processing rate. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 201–221). San Diego, CA: Academic.
- Colcombe, S. & Kramer, A. F. (2003) Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological Science*, *14*, 125–130.
- Derwinger, A., Stigsdotter Neely, A., Persson, M., Hill, R. D. & Bäckman, L. (2003). Remembering numbers in old age: Mnemonic training versus self-generated strategy training. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *10*, 202–214.
- Dittmann-Kohli, F., Lachman, M. E., Kliegl, R. & Baltes, P. B. (1991). Effects of cognitive training and testing on intellectual efficacy beliefs in elderly adults. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, *46*, 162–164.
- Duncan, J., Emslie, H., Williams, P., Johnson, R. & Freer, C. (1996). Intelligence and the frontal lobe: The organization of goal-directed behavior. *Cognitive Psychology*, *30*, 257–303.
- Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B. & Taub, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, *270*, 305–307.
- Gathercole, S. E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Science*, *3*, 409–419.
- Hasher, L., Quig, M. B. & May, C. P. (1997). Inhibitory control over no-longer-relevant information: Adult age differences. *Memory and Cognition*, *25*, 286–295.
- Hasher, L. & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*. Vol. 22 (pp. 193–225). New York: Academic Press.
- Hensch, T. K. (2005). Critical period plasticity in local cortical circuits. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*, 877–888.
- Hommel, B., Li, K. Z. H. & Li, S.-C. (2004). Visual search across the life span. *Developmental Psychology*, *40*, 545–558.
- Horn, J. L. (1982). The theory of fluid and crystallized intelligence in relation to concepts of cognitive psychology and aging in adulthood. In F. I. M. Craik & S. Trehub (Eds.), *Aging and cognitive processes* (pp. 237–278). New York: Plenum.
- Just, M. A., Carpenter, P. A. & Keller, T. A. (1996). The capacity theory of comprehension: New frontiers of evidence and arguments. *Psychological Review*, *103*, 773–780.
- Kane, M. J. & Engle, R. W. (2003). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin and Review*, *9*, 637–671.
- Kempermann, G. (2006). *Adult neurogenesis: Stem cells and neuronal development in the adult brain*. New York: Oxford University Press.
- Kliegl, R. & Baltes, P. B. (1987). Theory-guided analysis of mechanisms of development and aging mechanisms through testing-the-limits and research on expertise. In C. Schooler &

- K. W. Schaie (Eds.), *Cognitive functioning and social structure over the life course* (pp. 95–119). Norwood: Ablex.
- Kliegl, R., Mayr, U. & Krampe, R. T. (1994). Time-accuracy functions for determining process and person differences: An application to cognitive aging. *Cognitive Psychology*, *26*, 134–164.
- Kliegl, R., Smith, J. & Baltes, P. B. (1986). Testing-the-limits, expertise, and memory in adulthood and old age. In F. Klix & H. Hagendorf (Eds.), *Human memory and cognitive capabilities* (pp. 395–407). Amsterdam: North-Holland.
- Kliegl, R., Smith, J. & Baltes, P. B. (1989). Testing-the-limits and the study of adult age differences in cognitive plasticity of a mnemonic skill. *Developmental Psychology*, *25*, 247–256.
- Kliegl, R., Smith, J. & Baltes, P. B. (1990). On the locus and process of magnification of age differences during mnemonic training. *Developmental Psychology*, *26*, 894–904.
- Kramer, A. F., Colcombe, S. J., McAuley, E., Erickson, K. I., Scalf, P., Jerome, G. J., Marquez, D. X., Elavsky, S. & Webb, A. G. (2003). Enhancing brain and cognitive function of older adults through fitness training. *Journal of Molecular Neuroscience*, *20*, 213–221.
- Kramer, A. F., Larish, J. F. & Strayer, D. L. (1995). Training for attentional control in dual task settings: A comparison of young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *1*, 50–76.
- Kramer, A. F., Larish, J. L., Weber, T. A. & Bardell, L. (1999). Training for executive control. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance. Vol. XVII* (pp. 617–652). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Kray, J. & Lindenberger, U. (in Druck). Fluide Intelligenz. In J. Brandtstädter & U. Lindenberger (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie der Lebensspanne: Ein Lehrbuch*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Li, S.-C., Huxhold, O. & Schmiedek, F. (2004). Aging and attenuated processing robustness. *Gerontology*, *50*, 28–34.
- Li, S.-C. & Lindenberger, U. (1999). Cross-level unification: A computational exploration of the link between deterioration of neurotransmitter systems and dedifferentiation of cognitive abilities in old age. In L.-G. Nilsson & H. J. Markowitsch (Eds.), *Cognitive neuroscience of memory* (pp. 103–146). Seattle, WA: Hogrefe.
- Li, S.-C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W. & Baltes, P. B. (2004). Transformation in the coupling among intellectual abilities and constituent cognitive processes across the life span. *Psychological Science*, *15*, 155–163.
- Li, S.-C., Lindenberger, U. & Sikström, S. (2001). Aging cognition: From neuromodulation to representation. *Trends in Cognitive Science*, *5*, 479–486.
- Lindenberger, U. (2000). Intellektuelle Entwicklung über die Lebensspanne: Überblick und ausgewählte Forschungsbrennpunkte. *Psychologische Rundschau*, *51*, 135–145.
- Lindenberger, U. (2007). Technologie im Alter: Chancen aus Sicht der Verhaltenswissenschaften. In P. Gruss (Hrsg.), *Die Zukunft des Alterns* (S. 221–239). München: C. H. Beck.
- Lindenberger, U. & Baltes, P. B. (1995). Testing-the-limits and experimental simulation: Two methods to explicate the role of learning in development. *Journal of Human Development*, *38*, 349–360.

- Lindenberger, U. & Baltes, P. B. (1997). Intellectual functioning in old and very old age: Cross-sectional results from the Berlin Aging Study. *Psychology and Aging, 12*, 410–432.
- Lindenberger, U. & Ghisletta, P. (2007). *Cognitive decline in old and very old age: Evidence for a common cause*. Manuscript submitted for publication.
- Lindenberger, U., Kliegl, R. & Baltes, P. B. (1992). Professional expertise does not eliminate age differences in imagery-based memory performance during adulthood. *Psychology and Aging, 7*, 585–593.
- Lindenberger, U., Li, S.-C. & Bäckman, L. (2006). Delineating brain–behavior mappings across the lifespan: Substantive and methodological advances in developmental neuroscience. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 30*, 713–892.
- Lindenberger, U., Li, S.-C., Lövdén, M. & Schmiedek, F. (in Druck). The Center for Lifespan Psychology at the Max Planck Institute for Human Development: Overview of conceptual agenda and illustration of research activities. *International Journal of Psychology*.
- Lindenberger, U., Marsiske, M. & Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: Increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging, 15*, 417–436.
- Lindenberger, U. & Oertzen, T. von (2006). Variability in cognitive aging: From taxonomy to theory. In E. Bialystok & F. I. M. Craik (Eds.), *Lifespan cognition* (pp. 297–314). Oxford: Oxford University Press.
- Lindenberger, U. & Pötter, U. (1998). The complex nature of unique and shared effects in hierarchical linear regression: Implications for developmental psychology. *Psychological Methods, 3*, 218–230.
- Lövdén, M., Ghisletta, P. & Lindenberger, U. (2005). Social participation attenuates decline in perceptual speed in old and very old age. *Psychology and Aging, 20*, 423–434.
- MacDonald, S. W. S., Hultsch, D. F. & Dixon, R. A. (2003). Performance variability is related to change in cognition: Evidence from the Victoria longitudinal study. *Psychology and Aging, 18*, 510–523.
- Maguire, E. A., Gadian, D. G., Johnsrude, I. S., Good, C. D., Ashburner, J., Frackowiak, R. S. J. & Frith, C. D. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *The Proceedings of the National Academy of Sciences, 97*, 4398–4403.
- Mayr, U. & Liebscher, T. (2001). Is there an age deficit in the selection of mental sets? *European Journal of Cognitive Psychology, 13*, 47–69.
- McArdle, J. J., Hamagami, F., Meredith, W. & Bradway, K. P. (2000). Modeling the dynamic hypotheses of Gf-Gc theory using longitudinal lifespan data. *Learning and Individual Differences, 12*, 53–79.
- Miller, E. K. & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience, 24*, 167–202.
- Nesselroade, J. R. (1991). Inter-individual differences in intra-individual change. In L. M. Collins & J. L. Horn (Eds.), *Best methods for the analysis of change* (pp. 92–105). Washington, DC: American Psychological Association.
- Nyberg, L., Maitland, S. B., Rönnlund, M., Bäckman, L., Dixon, R. A., Wahlin, A. & Nilsson, L.-G. (2003). Selective adult age differences in an age-invariant multifactor model of declarative memory. *Psychology and Aging, 18*, 149–160.



- Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory. Exploring the focus of attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, 411–421.
- Petermann, F. & Schmidt, M. H. (2006). Ressourcen – ein Grundbegriff der Entwicklungspsychologie und Entwicklungspsychopathologie? *Kindheit und Entwicklung*, 15, 118–127.
- Prull, M. W., Gabrieli, J. D. E. & Bunge, S. A. (2000). Age-related changes in memory: A cognitive neuroscience perspective. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (2<sup>nd</sup> ed., pp. 91–153). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Raz, N., Lindenberger, U., Rodrigue, K. M., Kennedy, K. M., Head, D., Williamson, A., Dahle, C., Gerstorf, D. & Acker, J. D. (2005). Regional brain changes in aging healthy adults: General trends, individual differences and modifiers. *Cerebral Cortex*, 15, 1676–1689.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103, 403–428.
- Salthouse, T. A., Hambrick, D. Z., Lukas, K. E. & Dell, T. C. (1996). Determinants of adult age differences on synthetic work performance. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2, 305–329.
- Schaie, K. W. (1983). The Seattle Longitudinal Study: A 21-year exploration of psychometric intelligence in adulthood. In K. W. Schaie (Ed.), *Longitudinal studies of adult psychological development* (pp. 64–135). New York: Guilford.
- Schaie, K. W. (1996). *Intellectual development in adulthood: The Seattle Longitudinal Study*. New York: Cambridge University Press.
- Schaie, K. W. & Willis, S. L. (1986). Can decline in adult intellectual functioning be reversed? *Developmental Psychology*, 22, 223–232.
- Schmiedek, F. & Lindenberger, U. (in Druck). Methodologische Grundlagen. In J. Brandtstädter & U. Lindenberger (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie der Lebensspanne: Ein Lehrbuch*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Scogin, F. & Bienias, J. L. (1988). A three-year-follow-up of older adult participants in a memory-skills training program. *Psychology and Aging*, 3, 334–337.
- Schaefer, S., Huxhold, O. & Lindenberger, U. (2006). Healthy mind in healthy body? A review of sensorimotor-cognitive interdependencies in old age. *European Review of Aging and Physical Activity*, 3, 45–54.
- Schneider, W. & Lockl, K. (2006). Entwicklung metakognitiver Kompetenzen im Kindes- und Jugendalter. In W. Schneider & B. Sodian (Hrsg.), *Kognitive Entwicklung* (S. 721–767). Göttingen: Hogrefe.
- Schönpflug, W. (1998). Improving efficiency of action control through technical and social resources. In M. Kofta, G. Weary & G. Sedek (Eds.), *Personal control in action* (pp. 299–314). New York: Plenum Press.
- Singer, T. & Lindenberger, U. (2000). Plastizität. In H.-W. Wahl & C. Tesch-Römer (Hrsg.), *Angewandte Gerontologie in Schlüsselbegriffen* (S. 39–43). Stuttgart: Kohlhammer.
- Singer, T., Lindenberger, U. & Baltes, P. B. (2003). Plasticity of memory for new learning in very old age: A story of major loss? *Psychology and Aging*, 18, 306–317.
- Smith, E. E. & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283, 1657–1661.

- Spiriduso, W. W. (1975). Reaction and movement time as a function of age and physical activity level. *Journal of Gerontology*, 43, 18–23.
- Staudinger, U. M. & Pasupathi, M. (2000). Life-span perspectives on self, personality, and social cognition. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (2nd ed., pp. 633–688). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Stigsdotter, A. & Bäckman, L. (1989). Multifactorial memory training with older adults: How to foster maintenance of improved performance. *Gerontology*, 3, 260–267.
- Stigsdotter Neely, A. & Bäckman, L. (1993). Maintenance of gains following multifactorial and unifactorial memory training in late adulthood. *Educational Gerontology*, 19, 105–117.
- Stigsdotter Neely, A. & Bäckman, L. (1995). Effects of multifactorial memory training in old age: Generalizability across tasks and individuals. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 50B, P134–P140.
- Tetens, J. N. (1777). *Philosophische Versuche über die menschliche Natur und ihre Entwicklung*. Leipzig: Weidmanns Erben und Reich.
- Trick, L. & Enns, J. T. (1998). Lifespan changes in attention: The visual search task. *Cognitive Development*, 13, 369–386.
- Tulving, E. & Markowitsch, H. J. (1998). Episodic and declarative memory: Role of the hippocampus. *Hippocampus*, 8, 198–204.
- Verhaeghen, P., Marcoen, A. & Goossens, L. (1992). Improving memory performance in the aged through mnemonic training: A meta-analytic study. *Psychology and Aging*, 7, 242–251.
- Weinert, F. E. (1983). Gedächtnistraining – Übung von Lernstrategien. *Universitas*, 38, 157–164.
- Werkle-Bergner, M., Müller, V., Li, S.-C. & Lindenberger, U. (2006). Cortical EEG correlates of successful memory encoding: Implications for lifespan comparisons. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30, 839–854.
- Wheeler, M. A., Stuss, D. T. & Tulving, E. (1997). Toward a theory of episodic memory: The frontal lobes and autoeic consciousness. *Psychological Bulletin*, 121, 331–354.
- Willis, S. L., Blieszner, R. & Baltes, P. B. (1981). Intellectual training research in aging: Modification of performance on the fluid ability of figural relations. *Journal of Educational Psychology*, 73, 41–50.
- Willis, S. L. & Nesselroade, J. R. (1990). Long term effects of fluid ability training in old-old age. *Developmental Psychology*, 26, 905–910.
- Zacks, R. T., Radvansky, G. & Hasher, L. (1996). Studies of directed forgetting in older adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 143–156.