

Sonderdruck
aus
Enzyklopädie der Psychologie

Themenbereich C
Theorie und Forschung

Serie V
Entwicklungspsychologie

Band 6

**Entwicklungspsychologie des mittleren
und höheren Erwachsenenalters**

herausgegeben von

Prof. Dr. Sigrun-Heide Filipp
und Prof. Dr. Ursula M. Staudinger

2005



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

8. Kapitel

Kognitive Entwicklung

Ulman Lindenberger und Jutta Kray

An der Erforschung der kognitiven Entwicklung im Erwachsenenalter sind unter anderem psychometrische, wissenspsychologische, an der Metapher der Informationsverarbeitung orientierte sowie neurokognitive Forschungstraditionen beteiligt. Wegen der Vielfalt und Unterschiedlichkeit der Ursachen altersassoziierter Veränderungen, auf die Tetens (1777) bereits vor mehr als 200 Jahren aufmerksam machte (vgl. Lindenberger & Baltes, 1999), erweist sich die Integration dieser Traditionen in konzeptueller und empirischer Hinsicht als schwierig. Die vorliegende Darstellung orientiert sich thematisch und methodologisch an der Psychologie der Lebensspanne (Baltes, 1987; Baltes, Lindenberger & Staudinger, 1998; Labouvie-Vief, 1982; Lindenberger, 2001; Staudinger & Lindenberger, 2002; Rybash, Hoyer & Rodin, 1986). Dabei dienen die eingangs dargestellten Zweikomponentenmodelle der intellektuellen Entwicklung als begriffliches Gerüst für die Einordnung zentraler Themen der kognitiven Entwicklung im Erwachsenenalter. Zunächst werden Befunde zu relativer Stabilität, Heritabilität und Fähigkeitsstruktur aus psychometrischer Sicht zusammengefasst. Anschließend werden die Plastizität intellektueller Leistungen im Alter sowie mögliche Determinanten negativer Altersveränderungen in getrennten Abschnitten erläutert. Zum Abschluss wenden wir uns ausgewählten Perspektiven der zukünftigen Forschung unter besonderer Berücksichtigung anwendungsorientierter Überlegungen zu.¹

¹ Teile der vorliegenden Arbeit basieren auf früheren Veröffentlichungen (Baltes et al., 1998; Lindenberger, 2001, 2002a).

1 Zweikomponententheorien intellektueller Entwicklung im Erwachsenenalter

Zweikomponentenmodelle der intellektuellen Entwicklung (Baltes, 1987; Cattell, 1971; Horn, 1982; Tetens, 1777; siehe auch Lindenberger, 2001, 2002a) unterscheiden zwischen biologischen und kulturellen Determinanten kognitiver

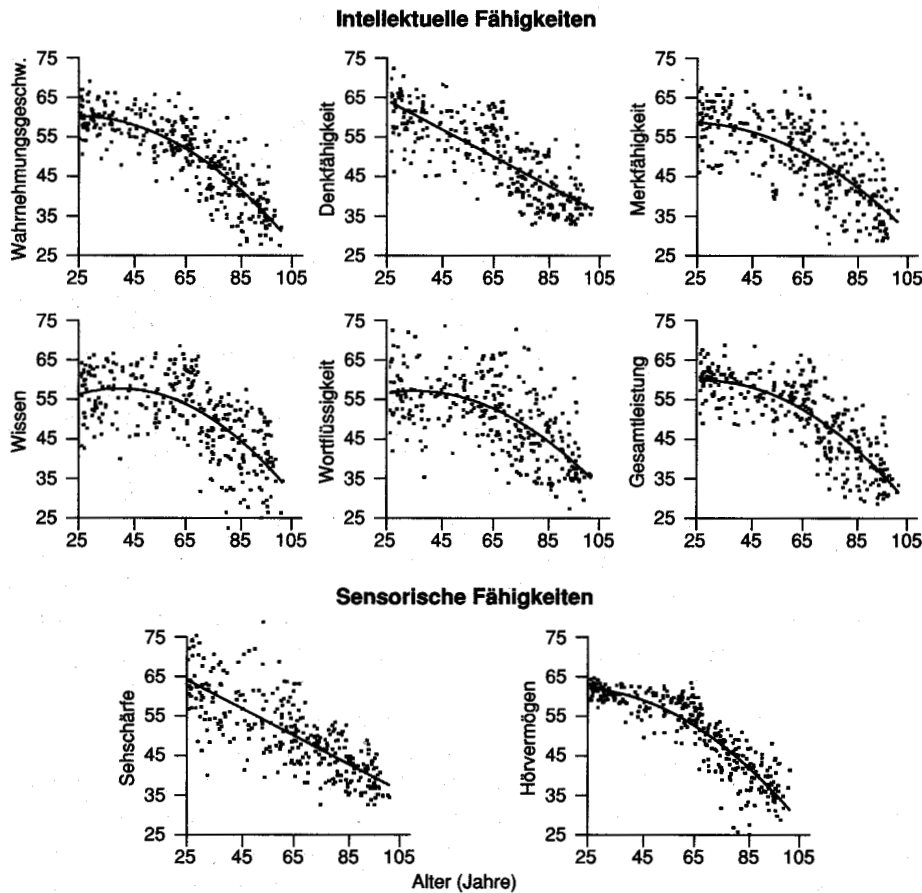


Abbildung 1:

Querschnittliche Altersgradienten von fünf intellektuellen und zwei sensorischen Fähigkeiten im Altersbereich von 25 bis 101 Jahren. Die fluiden (mechanischen) intellektuellen Fähigkeiten Wahrnehmungsgeschwindigkeit, Denkfähigkeit und Merkfähigkeit sowie die sensorischen Fähigkeiten Sehschärfe und Hörschwelle zeigen ab dem jungen und mittleren Erwachsenenalter negative Beziehungen zum Alter. Hingegen sind bei den vorwiegend kristallinen (normativ-pragmatischen) Fähigkeiten Wissen (Wortschatz) und Wortflüssigkeit ab ca. 70 Jahren negative querschnittliche Beziehungen zum Alter erkennbar. $N = 144$, Altersbereich = 25 bis 101 Jahre. Alle Leistungen sind in T-Scores abgetragen ($M = 50$, $SD = 10$) (nach Baltes und Lindenberger, 1997).

Leistungen. Empirisch stützen sie sich vor allem auf die wohl bekannten Unterschiede zwischen alterungsanfälligen und alterungsresilienten intellektuellen Fähigkeiten (Jones & Conrad, 1933; siehe Abb. 1).² Alterungsanfällig sind vor allem Leistungen in Aufgaben, deren Schwierigkeit auf die Schnelligkeit, Genauigkeit und Koordination elementarer kognitiver Prozesse zurückgeht. Typische Beispiele sind das Denkvermögen im Sinne von Induktion und Deduktion in Bereichen mit geringem Vorwissen, das räumliche Vorstellungsvermögen, die Wahrnehmungsgeschwindigkeit und die Merkfähigkeit. Alterungsanfällige Fähigkeiten zeigen in der Regel einen schnellen Anstieg im Kindes- und Jugendalter, eine annähernd lineare Abnahme im Erwachsenenalter sowie eine Beschleunigung dieses Rückgangs im hohen Alter.

Im Vergleich zu den alterungsanfälligen Fähigkeiten nehmen Leistungen in Aufgaben, die das Niveau von Fertigkeiten und die Größe und Qualität von Wissensbeständen erfassen, im Kindes- und Jugendalter ebenfalls zu. Jedoch herrschen im Erwachsenenalter Stabilität und Wachstum vor und erst im hohen Alter gibt es Hinweise auf Leistungseinbußen. Als ein typisches Beispiel für Fertigkeiten ist das Kopfrechnen zu nennen, als Beispiel für einen Wissensbestand verbale Fähigkeiten, wie sie im Wortschatz zu Tage treten. Der Übergang zwischen Wissensbeständen (d. h. deklarativem Wissen) und Fertigkeiten (d. h. prozeduralem Wissen) ist fließend und besteht in erster Linie darin, dass Fertigkeiten weitgehend automatisiert sind, während Wissensbestände bewusst verfügbar sind.

Neben dem Modell der biologisch bestimmten *Mechanik* und der kulturell geprägten *Pragmatik* der Kognition von Paul Baltes (1987, 1997) sind zwei weitere Zweikomponentenmodelle historisch und konzeptuell besonders bedeutsam. Johann Nicolaus Tetens (1736–1807) führte im Jahre 1777 die Unterscheidung zwischen Vermögen und Kenntnissen ein, die bereits alle wesentlichen Bestimmungsstücke der nachfolgenden Modelle enthält (vgl. Lindenberger & Baltes, 1999). So nahm Tetens (1777) auf Grund eigener Beobachtungen an, dass Kinder in den ersten Lebensjahren zunächst vorrangig die Vermögen entwickeln, und es anschließend, aufbauend auf den Vermögen, zu einem Zuwachs an Kenntnissen kommt, im Erwachsenenalter nur noch die Kenntnisse einen Zugewinn zu verzeichnen haben und im hohen Alter sowohl Vermögen als auch Kenntnisse abnehmen.

2 In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe Alterung und Seneszenz synonym zur Bezeichnung biologienahen, alterskorrelierter, negativer Veränderungen insbesondere der zweiten Lebenshälfte bezeichnet. Hingegen werden mit dem Begriff des Alterns, ähnlich wie mit dem der Entwicklung, zeitlich ausgedehnte ontogenetische Veränderungen unterschiedlicher Art und Ursache bezeichnet (z. B. Reifung, Lernen, Alterung sowie deren Interaktion).

Auf dem Gebiet der standardisierten Erfassung intellektueller Fähigkeiten sind Zweikomponentenmodelle vor allem durch die Theorie fluider (*Gf*) und kristalliner (*Gc*) Fähigkeiten nach Cattell (1971) und Horn (1982, 1989) vertreten. Während die *Gf/Gc*-Theorie den Rahmen der psychometrischen Forschungstradition selten verlässt, besteht der theoretische Anspruch des Mechanik-Pragmatik-Modells darin, die vor allem im Rahmen der *Gf/Gc*-Theorie generierte psychometrische Evidenz mit kognitions-, evolutions- und kulturpsychologischen sowie entwicklungsbiologischen Erkenntnissen zu verbinden (siehe auch Baltes, 1987, 1997; Baltes, Lindenberger & Staudinger, 1998; Lindenberger, 2001, 2002a; vgl. Denney, 1984; Labouvie-Vief, 1982; Rybash, Hoyer & Rodin, 1986). Im Folgenden werden die Mechanik und Pragmatik der Kognition sowie deren wechselseitige Abhängigkeiten im Erwachsenenalter näher erläutert.³

1.1 Die Mechanik der Kognition

Die Mechanik der Kognition repräsentiert die biologische Komponente der kognitiven Leistungsfähigkeit und des kognitiven Entwicklungspotenzials. Sie ist Ausdruck der neurophysiologischen Architektur des Gehirns (vgl. McClelland, 1996; Singer, 1995), hat sich im Laufe der Evolution entwickelt (vgl. Tooby & Cosmides, 1995) und entfaltet sich vorwiegend im Laufe der frühen Ontogenese (Rakic, 1995). Folglich sind, wie schon Tetens (1777) bemerkte, die Ursachen für den Zuwachs der Mechanik zu Beginn des Lebens von den Ursachen für die Abnahme in der zweiten Lebenshälfte zu trennen. In der Embryogenese, dem Säuglingsalter und der frühen Kindheit reflektieren die Altersveränderungen der Mechanik den interaktiven Aufbau neuronaler Strukturen, bei dem Reifung und Erfahrung in evolutionär optimierter Weise ineinander greifen (Elman et al., 1996; Wellman & Gelman, 1992). Dieser Vorgang findet in den seneszenten (alterungsbedingten) Einbußen der intellektuellen Leistungsfähigkeit keine direkte Entsprechung. Vielmehr sind die ontogenetisch späten, negativen Altersveränderungen der Mechanik als indirekte Auswirkungen des nachlassenden phylogenetischen Selektionsdrucks sowie weiterer seneszenten Dysfunktionen anzusehen. Bedeutsam ist hier vor allem der Umstand, dass evolutionäre Mechanismen auf Genexpressionen nach der reproduktiven Phase wesentlich weniger direkt einwirken können als auf Lebensabschnitte vor und während der reproduktiven Phase (s. a. die „*disposable soma theory*“; vgl. Kirkwood, 2003; Martin, 2002).

³ Eine detaillierte Darstellung der Unterschiede und Gemeinsamkeiten verschiedener Zweikomponentenmodelle der Intelligenz ist a. a. O. erfolgt (z. B. Baltes et al., 1998; Lindenberger, 2001; Lindenberger & Baltes, 1999). An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass viele Standardmaße der fluiden Intelligenz aus Sicht des Mechanik-Pragmatik-Modells nicht als reiner Ausdruck der Mechanik gewertet werden können, weil bei ihrer Bearbeitung auch biografisch erworbene individuelle Unterschiede in aufgabenrelevantem Wissen zum Tragen kommen.

Auch aus Sicht der Psychologie der Lebensspanne erscheint es demnach ratsam, die unterschiedlichen Ursachen altersbezogener Veränderungen in der Mechanik der Kognition begrifflich zu differenzieren, etwa durch die Begriffe der biologischen Reifung und Seneszenz (Alterung). Dies ermöglicht dann in einem zweiten Analyseschritt die Identifikation von Gemeinsamkeiten und Unterschieden zwischen beiden Veränderungstypen. Bei einem derartigen Vergleich fällt auf, dass mechanische Leistungen, deren neuronale Strukturen relativ spät ausreifen, in der Regel auch stärker von seneszenten Veränderungen betroffen zu sein scheinen als andere Aspekte der Mechanik („Ribotsches Gesetz“; Ribot, 1882). Als Beispiel können Aspekte der Verhaltensregulation genannt werden, die mit altersbedingten Veränderungen des dorsolateralen präfrontalen Kortexes in Zusammenhang gebracht werden (vgl. Prull, Gabrieli & Bunge, 2000; Raz, 2000). Das Ribotsche „Gesetz“ könnte den Umstand reflektieren, dass ontogenetisch und evolutionär späte Leistungen auf besonders zahlreichen und komplex verknüpften neuronalen Verbindungen aufbauen und deswegen störanfälliger sind als ontogenetisch und evolutionär frühe Leistungen.

1.2 Die Pragmatik der Kognition

Die Pragmatik der Kognition erfasst die kulturelle Dimension der intellektuellen Entwicklung. Sie lenkt die Aufmerksamkeit auf die funktionale Bedeutung kulturgebundenen Wissens, das sowohl internal (d. h. neuronal, z. B. in semantischen Netzwerken) als auch external (z. B. in Büchern oder intelligent unterstützenden Umwelten; siehe unten) repräsentiert werden kann. Entwicklungszugewinne in der Pragmatik erfolgen dementsprechend durch den Erwerb kulturell verankerter Bestände deklarativen und prozeduralen Wissens, die den Individuen im Laufe der Sozialisation zugänglich gemacht werden. Einige dieser Sozialisationsvorgänge finden sich nur in manchen Gesellschaften, sind dort jedoch normativ (z. B. allgemeine Schulpflicht), andere sind universell (z. B. informelle Unterweisung durch Mentoren) und wiederum andere sind hoch spezialisiert und idiosynkratisch (z. B. professionelle Expertise).

Interindividuelle Unterschiede in normativen Aspekten der Pragmatik sind mit Bildungschancen und anderen Aspekten sozialer Ungleichheit korreliert und gut im Rahmen der psychometrischen Tradition messbar und beschreibbar. So „investieren“ Personen während der Schulzeit und in späteren Abschnitten der Ontogenese fluide Fähigkeiten (d. h. ihr „mechanisches“ kognitives Potenzial) in allgemein relevante Wissensbereiche (vgl. Cattell, 1971). Die dabei entstehenden *normativ-pragmatischen Wissensbestände* werden im Rahmen der *Gf/Gc*-Theorie als kristalline Fähigkeiten bezeichnet. Auf Grund der Investitionsbeziehung ist zu erwarten, dass Leistungszuwächse in kristallinen Fähigkeiten den Zuwächsen in fluiden Fähigkeiten, auf denen sie aufbauen, ontogenetisch nachfolgen.

Außerdem sollten fluide Fähigkeiten stärker als kristalline mit dem gegenwärtigen Leistungsniveau des Gehirns, kristalline Fähigkeiten hingegen stärker als fluide mit soziobiografischen Faktoren verknüpft sein. Die Daten der Berliner Altersstudie belegen, dass diese divergenten Außenbeziehungen fluider und kristalliner Fähigkeiten auch im hohen Alter zu beobachten sind (Lindenberger & Baltes, 1997; siehe Abb. 2).

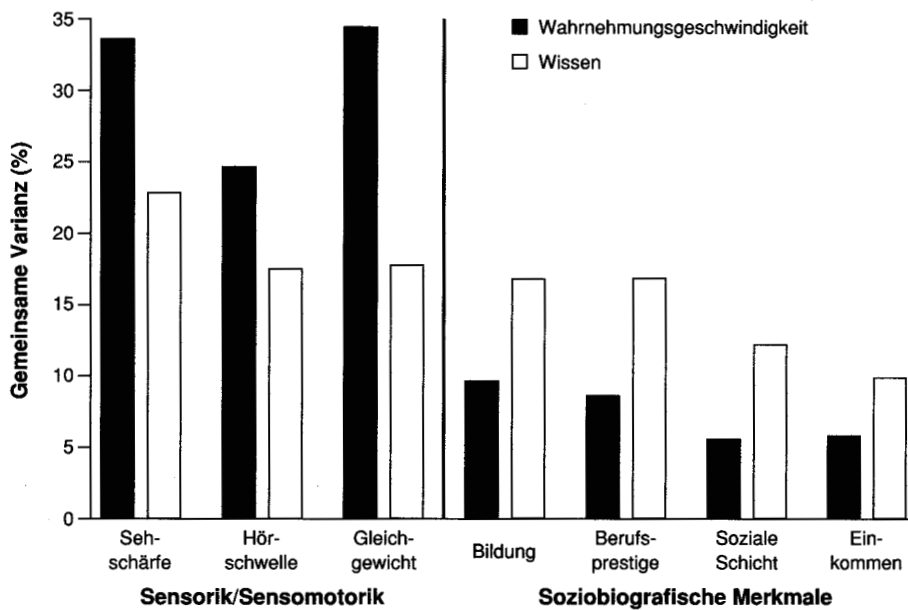


Abbildung 2:

Fortbestand der divergenten Beziehung mechanischer und pragmatischer Fähigkeiten zu biologischen und kulturellen Einflussystemen im hohen Alter. Die mechanische Fähigkeit Wahrnehmungsgeschwindigkeit ist stärker mit sensorisch-sensomotorischen Variablen verknüpft als die pragmatische Fähigkeit Wissen (Wortschatz). Umgekehrt korreliert das Wissen höher mit sozialstrukturell-biografischen Variablen als die Wahrnehmungsgeschwindigkeit. Die sensorisch-sensomotorischen Variablen repräsentieren das biologische Einflussystem, die sozialstrukturell-biografischen Variablen das kulturelle. $N = 516$, Altersbereich 70 bis 103 Jahre (nach Lindenberger & Baltes, 1997)

Schließlich sollte eine etwaige Abnahme kristalliner Fähigkeiten im hohen Alter dadurch verursacht werden, dass die Mechanik der Kognition unter ein gewisses, von Person zu Person und Aufgabe zu Aufgabe unterschiedliches Niveau absinkt, so dass die für die Repräsentation oder Expression der Wissensbestände erforderlichen Mechanismen nicht mehr hinreichend zuverlässig funktionieren. Demnach sollte sich in dieser Lebensphase, getrieben durch das Nachlassen der Mechanik der Kognition, die Kopplung der kristallinen an die fluiden Fähigkeiten

wieder verstärken. Dynamische Strukturgleichungsmodelle gekoppelter Veränderungen (z. B. das bivariate *dual change score model*; vgl. McArdle, Hamagami, Meredith & Bradway, 2000) erlauben es, die Hypothese einer zunehmenden Dominanz der Mechanik über die Pragmatik im hohen Alter als Gleichungssystem zu spezifizieren und an längsschnittlichen oder gemischt längsschnittlich-querschnittlichen Datensätzen zu überprüfen. Eine erste Anwendung dieser Modelle auf Daten der Berliner Altersstudie führte zu einem hypothesenkonformen Ergebnis (Ghisletta & Lindenberger, 2003).

Personenspezifisches pragmatisches Wissen zweigt von normativen Pfaden des Wissenserwerbs ab (vgl. Staudinger & Pasupathi, 2000). Es resultiert aus personenspezifischen Konstellationen von Erfahrung, Motivation, Handlungskontrollerleben und bereichsspezifischer sowie genereller Begabung (siehe auch Ackerman, 1996; Staudinger, in diesem Band). Auf Grund ihrer relativ geringen Allgemeinheit entgehen diese Wissensbestände teilweise einer Erfassung durch standardisierte Tests. Angemessener ist in diesen Fällen die Untersuchung mit dem Expertise-Paradigma (Ericsson & Lehmann, 1996), das die Bedingungen und Prozesse der Genese von Höchstleistungen in verschiedenen Bereichen (z. B. Schach, Sport, bestimmte Berufe) näher untersucht.

Aus den vorangegangenen Überlegungen folgt, dass ein Großteil der Zugewinne an kognitiver Kompetenz im mittleren Erwachsenenalter auf den Erwerb und die Pflege von personenspezifischem pragmatischem Wissen zurückgeht. Interindividuelle Unterschiede in diesen Wissensbeständen lassen sich durch traditionelle Maße der fluiden und kristallinen Intelligenz zu einem großen Teil, jedoch nicht vollständig vorhersagen (siehe z. B. Ackerman, 2000). Zu den im Rahmen des Expertise-Paradigmas untersuchten Beispielen gehören die Wissensbereiche Schach (Charness, 1981), Kartenspiele (Bosman & Charness, 1996; Charness, 1983; Knopf, Preußler & Stefanek, 1995) und Musik (Krampe & Ericsson, 1996). Die positiven Auswirkungen von Expertise überschreiten jedoch in der Regel nicht die Grenzen des entsprechenden Wissensbereichs. Insbesondere gibt es kaum Hinweise darauf, dass die Mechanik der Kognition durch den Erwerb von Expertenwissen im Erwachsenenalter verändert wird (Krampe & Ericsson, 1996; Salthouse, 1991a, 2003). Werden Effekte jenseits des Inhaltsbereichs der Expertise beobachtet, so ist in den meisten Fällen eher von einem Transfer pragmatischen Wissens (mit positiven oder negativen Auswirkungen) auszugehen als von Veränderungen in den Determinanten der Mechanik der Kognition. Zugleich nimmt die Wirkung interindividueller Unterschiede in der Mechanik der Kognition bei steigendem bereichsspezifischem Wissen nicht zwangsläufig ab. So berichten Hambrick und Engle (2002), dass die Vorhersagekraft der Arbeitsgedächtniskapazität für Behaltensleistungen im Bereich *Baseball* bei Personen mit hohem Bereichswissen größer war als bei Personen mit niedrigem Bereichswissen.

1.3 Mechanik und Pragmatik: Evolutionäre und ontogenetische Abhängigkeiten

Kognitive Entwicklung ist von vornherein auf *Interaktionen* zwischen Pragmatik und Mechanik angewiesen; Qualität und Funktion dieser Interaktionen verändern sich im Laufe der Ontogenese (siehe auch Lindenberger, 2002a). Im Erwachsenenalter bestimmen reifungs- und alterungsbedingte Veränderungen im Zustand und Potenzial der Mechanik zum einen die Fähigkeit zum Erwerb weiteren pragmatischen Wissens sowie zum anderen die Wahrscheinlichkeit, mit der zuvor erworbenes Wissen erhalten und eingesetzt werden kann. Der Unterschied im Höchstleistungsalter zwischen Turnier- und Korrespondenzschach verdeutlicht dies (Bosman & Charness, 1996). Das mittlere Alter, in dem Personen zum ersten Mal Weltmeister werden, beträgt cirka 46 Jahre für Korrespondenzschach und zirka 30 Jahre für Turnierschach. Beim Korrespondenzschach hat man drei Tage Zeit, über den nächsten Zug nachzudenken; beim Turnierschach sind es im Durchschnitt drei Minuten. Die Unterschiede im Höchstleistungsalter reflektieren demnach die relative Wichtigkeit von kognitiver Geschwindigkeit und Schachwissen. Unterschiede im Höchstleistungsalter zwischen Fertigkeiten sind aus dieser Perspektive als Variationen ontogenetischer Kompromisse zwischen dem Alter zu Beginn des Fertigkeitserwerbs, der zum Fertigkeitserwerb benötigten Zeit und dem alterskorrelierten Nachlassen der Mechanik anzusehen.

Intellektueller Zugewinn und Leistungserhalt im Erwachsenenalter werden vor allem durch die selektive Pflege und kompensatorische Erweiterung bereits bestehender, wertgeschätzter und lebenswichtiger Wissensbestände verwirklicht. Biografisch erworbenes Wissen befähigt alternde Individuen, die negativen Auswirkungen der Abnahme der Mechanik im jeweiligen Wissensbereich auszugleichen oder zumindest abzuschwächen. Diese positiven Auswirkungen bereichsspezifischen Wissens auf das Leistungsniveau in ausgewählten Funktionsbereichen stützen Annahmen über Voraussetzungen erfolgreicher Entwicklung im Erwachsenenalter, wie sie unter anderem im Modell der selektiven Optimierung mit Kompensation (SOK; Baltes & Baltes, 1990; Freund & Baltes, 2000) formuliert worden sind. Die Resilienz wissensbasierter Leistungen gegen negative Veränderungen der Mechanik der Kognition hat auch persönlichkeitspsychologische und bewältigungstheoretische Implikationen (Brandstädter & Rothermund, 2002; Staudinger, Marsiske & Baltes, 1995; Staudinger & Pasupathi, 2000).

2 Kognitive Entwicklung aus psychometrischer Sicht

Die psychometrische Forschungstradition hat über viele Jahre einen reichhaltigen Fundus an Beobachtungen zur kognitiven Entwicklung im Erwachsenenalter angehäuft. Neben der Unterscheidung zwischen alterungsanfälligen und

alterungsresilienten Fähigkeiten, die wesentlich zur Formulierung der *Gf-Gc*-Theorie beigetragen hat, sind hier vor allem Befunde zur relativen Stabilität, Heritabilität und Faktorenstruktur zu nennen, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

2.1 Relative Stabilität intellektueller Leistungen im Erwachsenenalter

Einschränkend sei vorausgeschickt, dass der Großteil der Befunde zur relativen Stabilität auf unspezifischen Maßen intellektueller Leistungsfähigkeit basiert (d. h. auf so genannten IQ-Tests). Diese Maße stellen Konglomerate mechanischer und normativ-pragmatischer Komponenten dar, die unterschiedlich weit vom Generalfaktor der Intelligenz (d. h. vom Zentrum des Raums intellektueller Fähigkeiten) entfernt sind; ihre Undifferenziertheit verdeckt unter anderem strukturelle Eigenschaften der intellektuellen Entwicklung.

In der Regel nehmen Korrelationen zwischen wiederholten Messungen der intellektuellen Leistungsfähigkeit mit zunehmendem zeitlichen (d. h. ontogenetischen) Abstand zwischen den Messungen ab.⁴ Zugleich nimmt bei gegebenem Zeitabstand die Höhe der Korrelationen wiederholter Messungen von der Kindheit über das Jugendalter bis ins mittlere und späte Erwachsenenalter deutlich *zu*. So fanden Humphreys und Davey (1988) Ein-Jahres-Stabilitäten von .76 für den Altersbereich zwischen fünf und sechs Jahren und von .90 für den Altersbereich zwischen acht und neun Jahren. Hertzog und Schaie (1986) berichteten, dass die Sieben-Jahres-Stabilitäten eines reliabilitätskorrigierten Aggregats mehrerer intellektueller Fähigkeiten, das als valider Indikator der generellen Intelligenz gelten kann, im Alter zwischen 25 und 67 Jahren zwischen .89 und .96 variierten; die entsprechenden Ein-Jahres-Stabilitäten lägen nahe bei 1.0.

Die Interpretation der beobachteten Veränderungen der relativen Stabilität über die Lebensspanne sollte im Kontext gleichzeitig erfolgender Niveauveränderungen der intellektuellen Leistungsfähigkeit interpretiert werden (Molenaar, Bosman & Dolan, 1991). Demnach verändern sich interindividuelle Unterschiede zu Beginn der Ontogenese relativ schnell, weil die Ausgangsgröße des intellektuellen Repertoires zunächst gering ist und dann schnell zunimmt, so dass eine größere Menge an *neuer* Varianz pro Zeiteinheit entsteht als in den nachfolgenden Lebensabschnitten. Umgekehrt könnten seneszente Veränderungen im

⁴ Eine wichtige Ausnahme zu dieser Regel bilden die Korrelationen zwischen Maßen des Habitationsverhaltens im Säuglingsalter und Maßen der allgemeinen intellektuellen Leistungsfähigkeit im Kindesalter (s. a. McCall, 1994; McCall & Carriger, 1993; für eine zusammenfassende Darstellung vgl. Baltes et al., 1998; Lindenberger, 2000a).

hohen Alter neben Rückgängen im Niveau der intellektuellen Leistungsfähigkeit auch eine partielle Neuordnung interindividueller Unterschiede auslösen (Ghisletta & Lindenberger, 2003; Mitrushina & Satz, 1991).

2.2 Heritabilität

Heritabilitätskoeffizienten beziehen sich auf das Ausmaß, in dem *interindividuelle Unterschiede* in einem Verhaltensmerkmal mit interindividuellen Unterschieden in der genetischen Ausstattung zusammenhängen. Sie enthalten also keine direkten Informationen über Mechanismen der Genexpression und sie variieren mit dem Größenverhältnis umweltbedingter und genetischer Varianzen. Außerdem bleiben Einflüsse unberücksichtigt, die Leistungen aller Mitglieder der Population *im gleichem Ausmaß* erhöhen oder erniedrigen.

Genetisch bedingte interindividuelle Unterschiede intellektueller Leistungsfähigkeit kommen unmittelbar in der Mechanik zum Ausdruck.⁵ Jedoch können sie sich, vermittelt durch die ontogenetische Interaktion zwischen Mechanik und Pragmatik, auch auf die Pragmatik auswirken. Ähnlich wie die relative Stabilität nimmt auch die Heritabilität in der ersten Lebenshälfte zu, mit Werten von 40 Prozent bis 50 Prozent in Kindheit und Jugend und Werten bis zu 80 Prozent im mittleren Erwachsenenalter (McGue, Bouchard, Iacono & Lykken, 1993). Im Gegensatz dazu haben Umwelteinflüsse, die den Zwillingen bzw. den Geschwistern gemeinsam sind, selten über die Kindheit hinaus Bestand. Die Zunahme der Heritabilität der intellektuellen Leistungsfähigkeit mit dem Lebensalter stützt die Vermutung, dass Jugendliche und Erwachsene, zumindest in den untersuchten Gesellschaften, eher als Kinder die Möglichkeit haben, Umwelten aufzusuchen (d. h. zu selektieren), die ihrem genetischen Potenzial entsprechen (d. h. es besteht eine positive Gen-Umwelt-Korrelation; Scarr & McCartney, 1983). In Bezug auf Heritabilität im hohen Alter legen Untersuchungen der *Swedish Adoption Twin Study of Aging (SATSA)* nahe, dass die Heritabilität genereller Intelligenz im hohen Alter wieder auf einen (nach wie vor hohen) Wert um 60 Prozent zurückgeht (McClearn et al., 1997). Insgesamt ergeben die Daten das Bild eines kurvilinearen Verlaufs über die Lebensspanne, bei dem die Zunahme an Heritabilität während früher Abschnitte der Ontogenese die Abnahme während später Abschnitte übertrifft.

5 Daraus folgt nicht, dass jede Varianz in der Mechanik der Kognition auf interindividuelle Unterschiede im Genom zurückzuführen ist. So legen evolutionsbiologische und molekularbiologische Überlegungen nahe, dass die Abnahme der Mechanik der Kognition im hohen Alter auf Einflüsse zurückgeht, die indirekt, gegenläufig oder gar nicht mit den in früheren Lebensabschnitten beobachtbaren genetisch bedingten Leistungsunterschieden zusammenhängen (Martin, 2002; Thaler, 2002).

2.3 Relative Stabilität und Heritabilität im Vergleich

Die vorangegangenen Zusammenfassungen zeigen, dass relative Stabilität und Heritabilität sich in ähnlicher Weise über die Lebensspanne verändern. Zum besseren Verständnis dieser Parallelität bedarf es längsschnittlicher, multivariat angelegter verhaltensgenetischer Untersuchungen über die gesamte Lebensspanne sowie der Nutzung und Weiterentwicklung statistischer Verfahren, die es erlauben, die ontogenetischen Dynamiken von Stabilität und Heritabilität aufeinander zu beziehen. Derartige Untersuchungen könnten die Vermutung stützen, dass die relative Stabilität intellektueller Leistungen im mittleren Erwachsenenalter im Vergleich zu anderen Lebensabschnitten vor allem aus zwei Gründen besonders hoch ist: (1) Die genetischen Varianzquellen haben sich auf hohem Niveau stabilisiert (d. h. der relative Anteil an genetischen Varianzquellen ist hoch und es kommt nur wenig neue genetische Varianz über die Zeit hinzu); (2) die Umweltbedingungen, deren Unterschiedlichkeit wegen der erwähnten personenspezifischen Selektionen in diesem Lebensabschnitt höher mit genetischen Unterschieden korreliert ist als in der Kindheit, weisen in diesem Lebensabschnitt ebenfalls eine relativ hohe Stabilität auf. Die auf Grund des weniger wirksamen Selektionsdrucks nachlassende Koordination der Genexpression im hohen Alter könnte wiederum zu miteinander verknüpften Abnahmen der relativen Stabilität, der Heritabilität sowie des Leistungsniveaus führen. Paradoerweise würde dieser Vorgang in dem Maße, in dem er nicht mit genetischen interindividuellen Unterschieden korreliert ist, sondern stochastischer Natur ist, in verhaltensgenetischen Versuchsplänen als Zunahme personenspezifischer *Umweltfaktoren* (*nonshared environmental variance*) zu Tage treten (vgl. Martin, 2002). Die weitere Klärung des Zusammenhangs zwischen Heritabilität und Leistungsfähigkeit der Intelligenz im hohen Alter bedarf der Kombination verhaltensgenetischer und molekulargenetischer Ansätze (McClearn, 2003).

2.4 Fähigkeitsstruktur: Differenzierung und Dedifferenzierung über die Lebensspanne

Gemäß der Differenzierungshypothese der Intelligenz oder des von Spearman (1927; siehe auch Deary & Pagliari, 1991) erklärten „Gesetzes der nachlassenden Gewinne“ steht das Ausmaß an positiver Kovariation zwischen verschiedenen intellektuellen Fähigkeiten, das heißt die relative Stärke des Generalfaktors der Intelligenz, in gegenläufiger Beziehung zum durchschnittlichen Fähigkeitsniveau einer Population. Das Ausmaß an Kovariation zwischen verschiedenen Fähigkeiten nimmt demnach mit zunehmendem Leistungsniveau ab. Beispielsweise wird erwartet, dass Wortschatz und Wahrnehmungsgeschwindigkeit in einer Population von Personen mit überdurchschnittlicher genereller intellektueller

Leistungsfähigkeit niedriger miteinander korreliert sein sollten als in einer Population von Personen mit unterdurchschnittlicher Leistungsfähigkeit.

Die Differenzierungshypothese beruht zum Teil auf der Vorstellung, dass niedrige Leistungen vorwiegend durch ein Ensemble bereichsübergreifender leistungsbegrenzender Faktoren verursacht werden, hohe Leistungen hingegen ein intaktes kognitives System voraussetzen und vorwiegend durch bereichsspezifische Bedingungen begrenzt werden (vgl. Spearman, 1927). Aus entwicklungspsychologischer Sicht legt die Differenzierungshypothese nahe, dass der Generalfaktor der Intelligenz im Laufe der Kindheit in Folge der Reifung und Ausdifferenzierung des Gehirns sowie im Zuge des Erwerbs bereichsspezifischer Wissensbestände an Gewicht verliert, vom Jugendalter bis ins späte Erwachsenenalter relativ konstant bleibt und im hohen Alter auf Grund übergreifender struktureller und funktionaler Begrenzungen erneut an Bedeutung gewinnt (vgl. Baltes, Cornelius, Spiro III, Nesselroade & Willis, 1980).

Befunde aus dem Kindesalter (Deary et al., 1996; Fitzgerald, Nesselroade & Baltes, 1973), dem hohen Alter (Lindenberger & Baltes, 1997; Mitrushina & Satz, 1991) sowie die Ergebnisse einer weiteren Querschnittsstudie mit einem kontinuierlichen Altersbereich von 6 bis 89 Jahren (Li, Lindenberger, Hommel, Aschersleben, Prinz & Baltes, 2004) stützen die Auffassung intellektueller Entwicklung über die Lebensspanne als Abfolge von Differenzierung und Dedifferenzierung (vgl. Schaie, 1962). Besonders deutlich sind die Befunde der Berliner Altersstudie für das hohe Alter (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994, 1997). Im Einzelnen konnte gezeigt werden: (1) Die querschnittlichen Altersgradienten mechanischer und normativ-pragmatischer intellektueller Fähigkeiten konvergieren im hohen Alter und ergeben ein Bild des generalisierten linearen Leistungsrückgangs (*Richtungsdifferenzierung*); (2) die Interkorrelationen verschiedener intellektueller Fähigkeiten sind im hohen Alter deutlich höher und gleichförmiger als im Erwachsenenalter (*intrasystemische Kovarianzdifferenzierung*); (3) grundlegende sensorische und sensomotorische Fähigkeiten (z. B. Sehschärfe, Hörschwelle und Gleichgewicht), die ebenfalls deutliche alterskorrelierte Einbußen zeigen, weisen im hohen Alter wesentlich stärkere korrelative Beziehungen zu intellektuellen Fähigkeiten auf als im Erwachsenenalter (Anstey, Stankov & Lord, 1993; Lindenberger & Baltes, 1994; Baltes & Lindenberger, 1997) (*intersystemische Kovarianzdifferenzierung*). Die Gleichzeitigkeit und Stärke dieser drei Befunde lässt die Suche nach bereichsübergreifend wirksamen seneszenten Veränderungen des Gehirns ratsam erscheinen (Li & Lindenberger, 1999).

Zugleich ist bei der Interpretation der vorliegenden Befunde zur Differenzierungshypothese aus mindestens zwei Gründen Vorsicht geboten. Erstens beruht die Mehrzahl der Befunde auf querschnittlichen, altersheterogenen Datensätzen.

Die hier beobachteten ontogenetischen Unterschiede in der Faktorenstruktur könnten auch auf Einflussquellen zurückgehen, die nur insoweit miteinander in Beziehung stehen, als sie in manchen Altersabschnitten (z. B. Kindheit und hohes Alter) stärkere und gleichsinnigere altersbezogene Veränderungen aufweisen als in anderen (vgl. Hertzog, 1985; Reinert, Baltes & Schmidt, 1966; Hofer & Sliwinski, 2001). Um diesem Einwand zu entgegnen und gegebenenfalls zu entkräften, werden längsschnittliche, multivariate Datensätze benötigt, mit denen *Altersunterschiede* in der Höhe und Homogenität der Interkorrelationen von *Fähigkeitsveränderungen* bestimmt werden können. Soweit vorhanden, stützen derartige Analysen die Annahme einer Dedifferenzierung kognitiver Leistungen im Alter (z. B. Hultsch, Hertzog, Dixon & Small, 1998; Wilson et al., 2002). Zweitens basieren nahezu alle einschlägigen Analysen, ob nun querschnittlich oder längsschnittlich, auf Unterschieden *zwischen verschiedenen Personen*; die theoretische Deutung der Befunde erfolgt jedoch in den meisten Fällen auf der Ebene *intraindivideller Strukturen und Strukturveränderungen*. Eine Überprüfung der Gültigkeit der Annahmen, die diesen Wechsel der Interpretationsebene rechtfertigen, ist mit herkömmlichen, an der Untersuchung interindividueller Unterschiede orientierter Datensätze in den meisten Fällen unmöglich (Molenaar, Huizenga & Nesselroade, 2003). Dringend erforderlich sind hier intensive Untersuchungen einzelner Personen und die vermehrte Anwendung personenzentrierter Auswertungsverfahren (Lindenberger & von Oertzen, in press; Lövdén & Lindenberger, in press; Molenaar, 1985; Nesselroade & Schmidt McCollam, 2000).

Die Anwendung und Erweiterung der Kernannahmen Spearman's (1927) auf systemische Veränderungen von Intelligenz und Verhalten über die Lebensspanne bleibt ein lohnendes Ziel entwicklungspsychologischer Forschung. Im Anschluss an den deskriptiven Nachweis ontogenetischer Differenzierung und Dedifferenzierung wird es zunehmend darauf ankommen, Mechanismen zu erfassen und voneinander abzugrenzen, die systemische Veränderungen in unterschiedlichen Abschnitten der Lebensspanne vorhersagen. So berichteten Li et al. (2004), dass das Ausmaß an intraindividuelle Variabilität der Reaktionszeiten im Kontext einfacher kognitiv-experimenteller Aufgaben in den Altersgruppen über 56 Jahren zusätzlich zur Durchschnittsgeschwindigkeit, mit der diese Aufgaben gelöst werden, interindividuelle Unterschiede auf Maßen der fluiden Intelligenz vorhersagt; Personen mit niedrigerer Variabilität zeigten, auch nach statistischer Kontrolle der Durchschnittsgeschwindigkeit, niedrigere Leistungen. Für frühere Abschnitte der Lebensspanne traf dies nicht zu. Im Kontext der Differenzierungs-Dedifferenzierungs-Hypothese ist dieser Befund deswegen von Bedeutung, weil sowohl die Stichprobe im Altersbereich von 6 bis 11 Jahren als auch die in Stichproben in den Altersbereichen von 56 bis 69 und von 70 bis 89 Jahren eine im Vergleich zu den mittleren Altersabschnitten dedifferenzierte Fähigkeitsstruktur zeigten. Die Autoren vermuten, dass das Nachlassen der Zuverlässigkeit

sigkeit elementarer kognitiver Operationen ein besonderes Kennzeichen seneszenten Veränderungen darstellt (siehe auch Li, Lindenberger & Sikström, 2001). Dieses Beispiel zeigt, dass alterungsbedingte Dedifferenzierungsprozesse des späteren Erwachsenenalters und reifungsbedingte Differenzierungsprozesse der mittleren Kindheit ähnliche Auswirkungen, aber zumindest teilweise unterschiedliche Ursachen haben.

3 *Plastizität intellektueller Leistungen im Erwachsenenalter*

Plastizität bezeichnet das Potenzial eines Organismus zur Änderung seines Verhaltens im Allgemeinen und zur Steigerung seiner Leistungen im Besonderen (z. B. Singer & Lindenberger, 2000). Die Plastizität der intellektuellen Leistungsfähigkeit im Erwachsenenalter lässt sich indirekt durch die Analyse historischer und kultureller Variabilität sowie direkt durch Interventionen (z. B. Trainingsstudien) untersuchen. Im Folgenden werden wesentliche Befunde zur kognitiven Plastizität im Alter im Kontext dieser Forschungsstrategien zusammengefasst.

3.1 Kohorteneffekte, Periodeneffekte und gesellschaftlicher Wandel

Veränderungen in intellektuellen Leistungen können Antezedens, Korrelat und Folge einer Vielzahl unterschiedlicher Einflussgrößen sein. Auf Grund dieser überdeterminierten Natur wird das Leistungsniveau, im Rahmen der von der Mechanik gesetzten altersabhängigen Grenzen, auch durch Veränderungen der dinglichen und soziokulturellen Umwelt beeinflusst. Manche dieser Veränderungen sind historischer Art und betreffen ganze Gesellschaften (z. B. Verbesserungen in der Ernährung), andere sind auf kleine Personengruppen beschränkt und erfordern wesentlich weniger Zeit (z. B. kognitive Interventionsstudien).

Bei den historischen Einflussystemen lassen sich drei Wirkungstypen voneinander abgrenzen: (a) stabile Unterschiede zwischen Personen unterschiedlicher Geburtsjahrgänge (Kohorteneffekte); (b) ein spezifischer Einfluss bestimmter historischer Ereignisse über alle Altersgruppen hinweg (Periodeneffekte); und (c) generelle und zeitlich ausgedehnte Veränderungen in den Umweltbedingungen, die alle Mitglieder der Gesellschaft sowie die nachfolgenden Generationen betreffen (gesellschaftlicher Wandel). Die Abgrenzung dieser Wirkungstypen und die Bestimmung ihres relativen Gewichts bereiten konzeptuelle und methodologische Schwierigkeiten (Baltes, 1968; Rabbitt, Diggle, Smith, Holland & Innes, 2001).

Zur Bestimmung von Wirkungen des generellen gesellschaftlichen Wandels ist der Vergleich von Personen desselben chronologischen Alters zu verschiedenen historischen Zeitpunkten geeignet. Mit einigen Ausnahmen (z. B. Kopfrechnen; Schaie, 1996) ergeben derartige Vergleiche durchweg, dass in jüngeren histori-

schen Zeiten höhere Leistungen erzielt werden (Flynn, 1987). Es ist unwahrscheinlich, dass diese Zunahmen auf Veränderungen in der genetischen Zusammensetzung der Population oder auf verzerrende Effekte der Stichprobenziehung zurückgehen. Vielmehr kommen in diesen Zunahmen vermutlich gesundheitliche (z. B. ernährungsbezogene), ausbildungs- und arbeitsbezogene Faktoren zum Ausdruck.

Untersuchungen, deren Erhebungsplan einem Kohortensequenzdesign folgt, erlauben Altersvergleiche unterschiedlichen Typs: querschnittliche und längsschnittliche Vergleiche sowie Vergleiche unabhängiger (d. h. zu jedem Messzeitpunkt neu gezogener) Stichproben identischer Geburtsjahrgänge. Im Falle der *Seattle Longitudinal Study* (Schaie, 1996) führten querschnittliche Altersvergleiche einerseits und Vergleiche unabhängiger Stichproben identischer Geburtsjahrgänge andererseits (Letztere über verschiedene Kohorten hinweg sowie bei statistischer Kontrolle von Effekten des gesellschaftlichen Wandels) zu äußerst ähnlichen Schätzungen durchschnittlicher Altersveränderungen (Salthouse, 1991b). Diese Ergebnisse standen im Gegensatz zu längsschnittlichen Beobachtungen am gleichen Datensatz, die (ebenfalls nach statistischer Kontrolle der Effekte gesellschaftlichen Wandels) negative Altersveränderungen von deutlich geringerem Ausmaß erkennen ließen. Das beobachtete Befundmuster stützt die Annahme, dass die positive Abweichung der längsschnittlich beobachteten Verläufe zumindest teilweise auf Übungeffekte und Stichprobenausfall mit positiv selektierender Wirkung zurückzuführen ist (siehe auch Lindenberger, Singer & Baltes, 2002; Singer, Lindenberger & Baltes, 2003). Demnach hatte die zunehmende Vertrautheit mit den Tests einen positiven Einfluss auf die Leistungen an nachfolgenden Messzeitpunkten (Übungeffekte), und Personen mit höheren Leistungen sowie mit positiveren bzw. weniger negativen Veränderungen über die Zeit konnten mit größerer Wahrscheinlichkeit an nachfolgenden Messzeitpunkten beobachtet werden als Personen mit niedrigeren Leistungen und negativeren bzw. weniger positiven Veränderungen (Stichprobenausfall mit positiv selektierender Wirkung). Daraus folgt, dass längsschnittliche Untersuchungen, deren Wert zur Identifikation von interindividuellen Unterschieden intraindividuel-ler Veränderungen unbestritten ist, nicht unbedingt zu genaueren Schätzungen der durchschnittlichen Größe von Entwicklungsveränderungen in der Population führen als Untersuchungen mit querschnittlichen Erhebungsplänen.

3.2 Kognitive Intervention im Alter: Aktivierung des Lernpotenzials

Im Vergleich zur Analyse historischer Einflussysteme stellt kognitive Intervention einen direkteren Weg dar, das Ausmaß an Plastizität in unterschiedlichen Bereichen intellektueller Leistungen zu bestimmen (Kramer & Willis, 2002;

Singer & Lindenberger, 2000). Der Schwerpunkt der folgenden Darstellung liegt auf der *fluiden Intelligenz* im engen Sinne (d. h. auf dem Denkvermögen im Zusammenspiel von Induktion und Deduktion; Horn, 1989) sowie auf dem *episodischen Gedächtnis*. Diese Schwerpunktsetzung geschieht aus drei Gründen. Erstens stammt die überwiegende Zahl der empirischen Arbeiten aus diesen beiden Bereichen. Zweitens sind fluide Intelligenz und episodisches Gedächtnis auf einem Analyseniveau angesiedelt, dessen Validität durch zahlreiche Untersuchungen zur Faktorenstruktur intellektueller Fähigkeiten besonders gut dokumentiert ist. Drittens ist die Frage der Trainierbarkeit dieser Funktionsbereiche von besonderem theoretischem und praktischem Interesse, weil querschnittliche und längsschnittliche Untersuchungen darin übereinstimmen, dass das durchschnittliche Leistungsniveau in beiden Bereichen im Laufe des Erwachsenenalters nachlässt (Schaie, 1996). Im Folgenden werden drei zentrale Befunde der kognitiven Interventionsforschung zusammengefasst (siehe auch Lindenberger, 2002a).

3.2.1 Entwicklung kognitiver Plastizität im Alter

Geistig gesunde ältere Erwachsene zeigen deutliche Leistungszugewinne auf jenen Maßen, die im Zentrum der kognitiven Intervention stehen. Dabei variiert die Größe der Leistungszugewinne in Abhängigkeit von manchen Eigenschaften der Intervention. So führt bei Interventionen im Bereich der fluiden Intelligenz reine Testwiederholung zu geringeren Leistungssteigerungen als ausgedehntes selbstgesteuertes Üben oder angeleitetes Trainieren, die zu ähnlich großen Leistungszugewinnen führen (z. B. Baltes, Sowarka & Kliegl, 1989; siehe Abb. 3).

Bei der *Seattle Longitudinal Study* (Schaie, 1996) wurden die querschnittliche und längsschnittliche Beobachtung mehrerer Geburtsjahrgänge über das gesamte Erwachsenenalter sowie Trainingsstudien auf dem Gebiet der fluiden Intelligenz im Alter an denselben oder einander überlappenden Stichproben vorgenommen. Diese kombinierte Nutzung unterschiedlicher Forschungsdesigns erlaubt die Aussage, dass die Größenordnung der in den Trainingsstudien erzielten Leistungszugewinne in etwa dem Ausmaß des zuvor über 15 bis 20 Jahre beobachteten längsschnittlichen Verlustes entspricht (z. B. Schaie, 1996; Schaie & Willis, 1986). Ferner deuten die Ergebnisse einiger Studien im Bereich episodischer Gedächtnisleistungen darauf hin, dass die durch Training und Üben erzeugten Leistungszugewinne in den trainierten Aufgaben über mehrere Monate und bisweilen Jahre erhalten bleiben (z. B. Stigsdotter Neely & Bäckman, 1993).

Gesunde ältere Erwachsene zeigen folglich ein beträchtliches Ausmaß an kognitiver Plastizität, und zwar sowohl in Bezug auf Testleistungen im Bereich der fluiden Intelligenz (Schaie & Willis, 1986) als auch bei dem Erwerb und der Nutzung von Gedächtnistechniken (Verhaeghen, Marcoen & Goossens, 1992).

Kognitive Entwicklung

315

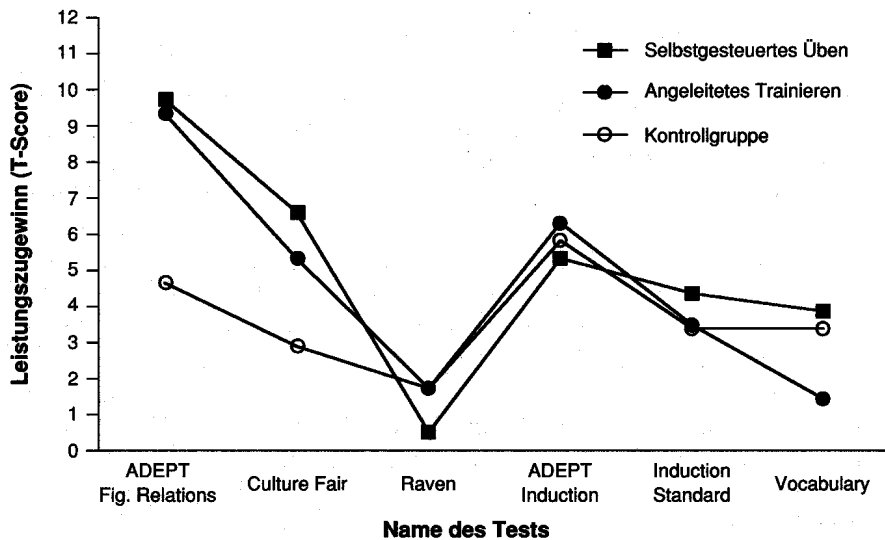


Abbildung 3:

Typisches Ergebnis einer Trainingsstudie im Bereich der fluiden Intelligenz (Baltes, Sowarka & Kliegl, 1989). Geübt bzw. trainiert wurden der *ADEPT Figural Relations*. Im Vergleich zur Kontrollgruppe (Messwiederholung ohne Intervention) war selbstgesteuertes Üben genauso effektiv wie angeleitetes Trainieren. Dies deutet darauf hin, dass das angeleitete Training in erster Linie bereits vorhandene Strategien und Heuristiken reaktivierte. Der positive Transfer der Intervention beschränkte sich auf Aufgaben hoher äußerlicher Ähnlichkeit derselben Fähigkeit; bereits für den Raven Matrizen test ließen sich keine trainings- oder übungsbedingten Leistungszugewinne nachweisen. Dies stützt die Annahme, dass die Intervention eher auf dem Niveau aufgabenspezifischer Fertigkeiten als auf dem Niveau aufgabenübergreifender Fähigkeiten wirksam war.

Im hohen Alter (d. h. im Altersbereich über 85 Jahre) besitzt dieser Befund jedoch nur eingeschränkte Gültigkeit. Zum Beispiel sind die hier erzielbaren Trainingszugewinne auf dem Gebiet episodischer Gedächtnisleistungen deutlich niedriger und weniger optimierbar als in anderen Abschnitten des Erwachsenenalters (Singer et al., 2003; Willis & Nesselrode, 1990). Schließlich sind die interventionsbedingten Leistungszugewinne bei Personen mit beginnenden oder fortgeschrittenen demenziellen Erkrankungen deutlich reduziert oder nicht mehr nachweisbar. Aus diesem Grund kann eine Verminderung kognitiver Plastizität zur Frühdiagnose demenzieller Erkrankungen genutzt werden (Baltes, Kühl, Gutzmann & Sowarka, 1995; Bäckman, 1992).

Selbstgesteuertes Üben führt bei fluiden Testleistungen oft genau zu ähnlich großen Leistungszugewinnen wie angeleitetes Trainieren. Dies hat zu der Vermutung geführt, dass die Wirksamkeit der kognitiven Intervention bei älteren Erwachsenen in erster Linie auf einer Reaktivierung vorhandener und nicht so sehr auf dem Lernen neuer Strategien und Heuristiken beruht (Baltes et al., 1989).

3.2.2 Altersunterschiede in den Leistungsbergrenzen

Bei der Mehrzahl der Studien sind das Ausmaß und die Intensität der Intervention zu gering, um zu den Leistungsbergrenzen vorzustoßen. Dies erkennt man unter anderem daran, dass die im Laufe des Trainings beobachteten Leistungszugewinne linear sind und deswegen kein Anlass zu der Vermutung besteht, die Probanden hätten sich den Obergrenzen ihrer Leistungsfähigkeit genähert. Aus entwicklungspsychologischer Sicht sind Altersunterschiede an den Leistungsbergrenzen jedoch von besonderem theoretischem Interesse (Baltes, 1997; Kliegl & Baltes, 1987). Im Normalbereich werden Leistungen durch zahlreiche Faktoren beeinflusst, so zum Beispiel durch präexperimentelle Unterschiede in der Vertrautheit mit dem Aufgabenmaterial oder der Testängstlichkeit. Trainiert man Personen über einen längeren Zeitraum in einer neu erlernten Fertigkeit, so lassen sich diese unerwünschten Einflüsse weitgehend unterdrücken. Zudem verschiebt sich der Kontext der Messung in Richtung der Leistungsbergrenzen, so dass man zu einer besseren Abschätzung des ehemals latenten Entwicklungspotenzials der Personen im trainierten Bereich gelangt.

Ein gutes Beispiel für die Forschungsstrategie des Testing-the-Limits ist der Erwerb und das Training mit der Methode der Orte, einer Fertigkeit zum seriellen Erinnern von Wortlisten. Individuelle Unterschiede in Gedächtnisleistungen mit der Methode der Orte sind mit einem sehr breiten Bündel fluider intellektueller Fähigkeiten korreliert, so zum Beispiel mit der Wahrnehmungsgeschwindigkeit, dem Denkvermögen sowie mit dem bildlichen und räumlichen Vorstellungsvermögen (Kliegl, Smith & Baltes, 1990). Trainiert man junge und ältere Erwachsene in der Methode der Orte, so treten sowohl das latente Potenzial der älteren Probanden als auch die deutlichen Altersunterschiede in der Größe dieses latenten Potenzials deutlich zu Tage. Zum Beispiel erreichte bei einer Untersuchung von Baltes und Kliegl (1992) am Ende des Trainings kein Einziger der älteren Erwachsenen die mittlere Leistung der jungen Erwachsenen. Die Länge des Trainings, die nachlassenden Trainingsgewinne und die hohe Stabilität der Leistungsunterschiede am Ende des Trainings erlauben den Schluss, dass die beobachteten Altersunterschiede in den Obergrenzen der Leistungsfähigkeit außerordentlich stabil und vermutlich irreversibel sind.

3.2.3 Transfereffekte

Ein dritter, ebenfalls gut abgesicherter Befund besteht darin, dass die interventionsbedingten Leistungszugewinne auf die jeweils geübten oder trainierten Aufgaben begrenzt sind. Leistungszugewinne treten in der Regel nur bei jenen Aufgaben auf, die trainiert worden sind, sowie bei Aufgaben, die äußerlich und strukturell eine hohe Ähnlichkeit zu den trainierten Aufgaben aufweisen (siehe

aber Kramer, Larish & Strayer, 1995). 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. Abbildung 3 veranschaulicht diesen Befund ebenfalls (siehe auch Baltes et al., 1989; vgl. Fisk, Rogers, Cooper & Gilbert, 1997). Der positive Transfer ist offensichtlich eng an die Oberflächenmerkmale der benutzten Aufgaben gebunden.

Eine Ausnahme zu dieser Regel bilden die Ergebnisse einer Untersuchung von Kramer und andere (1995), die nahe legen, dass junge und ältere Erwachsene in der Lage sind, Trainingszugewinne, die beim gleichzeitigen Bearbeiten zweier verschiedener Aufgaben entstehen, auf eine neue Doppelaufgabensituation zu übertragen. Eine mögliche Erklärung der Unterschiedlichkeit in den Befunden könnte darin bestehen, dass es sich bei den Aufgaben von Kramer und andere (1995) um relativ einfache Reaktionszeitaufgaben handelte, während sich die übrigen Untersuchungen zumeist auf Tests der fluiden Intelligenz beziehen.

3.2.4 Generalisierbarkeit interventionsbedingter Leistungszugewinne

Betrachtet man die Befunde im Zusammenhang, so gerät man in Versuchung, die klassische Frage der Trainingsforschung zu stellen (vgl. Hasselhorn, 1995; Weinert, 1983): Was wird durch Training verändert, Fähigkeiten oder Fertigkeiten? Die Beantwortung dieser Frage ist folgenreich. Wir wissen von korrelativen Untersuchungen, dass intellektuelle Fähigkeiten, wie sie mit standardisierten psychometrischen Tests erfasst werden, eine hohe Alltagsrelevanz (ökologische Validität) aufweisen, insbesondere im hohen Alter (Lindenberger & Baltes, 1995). Wenn kognitive Interventionen nun das Fähigkeitsniveau veränderten, so wäre es aus angewandter Sicht sinnvoll, ältere Personen in jenen Tests der fluiden Intelligenz zu trainieren, die sich als gute Indikatoren der zu verändernden Fähigkeit erwiesen haben. Nimmt man zum Beispiel an, dass sich Wahrnehmungsgeschwindigkeit trainieren lässt, dann sollte ein Training mit dem Zahlensymboltest des Hamburg-Wechsler-Intelligenztests nicht nur zu Leistungssteigerungen in diesem Test führen, sondern die Wahrnehmungsgeschwindigkeit der trainierten älteren Erwachsenen generell verbessern. Diese Verbesserung sollte positive Auswirkungen auf all jene Aspekte des täglichen Lebens haben, die das schnelle Wahrnehmen und Vergleichen visueller Reize erfordern.

Betrachtet man jedoch die Befunde zur kognitiven Intervention im Zusammenhang, so erhält man den Eindruck, dass das kognitive System auf der Ebene von Fähigkeiten in den meisten Fällen kaum verändert wird. Was verbessert oder erlernt wird, sind vorwiegend aufgaben- und kontextspezifische *elements of skill* (Thorndike, 1906), also Fertigkeiten. Die „absoluten Vermögen“, um mit

Tetens (1777) zu sprechen, verhalten sich hingegen weitgehend trainingsresistent. Die engen Grenzen des positiven Transfers sowie die Interventionsresistenz der Altersunterschiede in den Leistungsobergrenzen sind Indizien für die Richtigkeit dieser Annahme. In Bezug auf das Zweikomponentenmodell der Mechanik und Pragmatik der Kognition legen diese Befunde nahe, dass die Mehrzahl der beobachteten Trainingsgewinne auf Veränderungen in der Pragmatik, nämlich auf den Erwerb aufgabenspezifischen prozeduralen und deklarativen Wissens, zurückzuführen ist und nicht auf Veränderungen in der Mechanik.

Die Ergebnisse der bereits zitierten Trainingsstudie von Kramer und andere (1995) scheinen dieser Schlussfolgerung zu widersprechen. Im Gegensatz zu den meisten anderen Untersuchungen konnten in dieser Studie generalisierbare Trainingszugewinne erzielt werden. Junge und ältere Erwachsene, die im flexiblen Umgang mit einer Doppelaufgabenanforderung trainiert wurden, erzielten beim Übergang zu einer aus zwei neuen Aufgaben bestehenden Doppelaufgabenanforderung höhere Leistungen als Personen, die lediglich Einzelaufgabentraining oder Doppelaufgabentraining unter fixer Aufmerksamkeitsaufteilung erhielten. Offensichtlich waren die Probanden in der Lage, die für den flexiblen Umgang mit der Doppelaufgabensituation erforderlichen Kontrollprozesse zu trainieren (siehe auch Kramer, Hahn & Gopher, 1999; Kray & Lindenberger, 2000) und diesen Trainingsgewinn zumindest teilweise auf eine neue, aus bislang untrainierten Aufgaben bestehende Doppelaufgabe zu übertragen. Ähnliche Ergebnisse mit positivem Transfer wurden kürzlich in einer weiteren Trainingsstudie berichtet (Minear, Shah & Park, 2002). Angesichts dieser neuen Befunde kann gegenwärtig nicht ausgeschlossen werden, dass Trainingsprogramme, die auf einer Steigerung der Adaptivität der Verhaltensregulation im Umgang mit mehreren, relativ einfachen Teilanforderungen abzielen, im Gegensatz zu Trainingsprogrammen im Bereich der fluiden Intelligenz zu generalisierbaren und womöglich alltagsrelevanten Leistungszugewinnen führen können.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im mittleren und höheren Erwachsenenalter mit wenigen Trainings- oder Übungssitzungen deutliche Leistungszugewinne erzielt werden können. Zugleich legen die weitgehende Abwesenheit oder geringe Größe positiven Transfers auf andere Tests derselben Fähigkeit sowie die Interventionsresistenz der Altersunterschiede in den Leistungsobergrenzen den Schluss nahe, dass die beobachteten Leistungsverbesserungen primär pragmatischen Aspekten der Kognition zu verdanken sind. Gemäß dieser Interpretation können gesunde ältere Erwachsene ein großes Spektrum an kognitiven Fertigkeiten reaktivieren, trainieren oder üben sowie neu erlernen. Die entsprechenden Erwerbsprozesse folgen lernpsychologischen Gesetzen und erfordern keine Veränderungen in der kognitiven Mechanik. Ihre Auswirkungen sind lokaler Natur und beziehen sich unmittelbar auf das, was trainiert wurde. Demnach sollte sich kognitive Intervention im Alter unter dem Gesichtspunkt

des praktischen Nutzens auf Fertigkeiten konzentrieren, die möglichst unverändert in den Alltag der betreffenden Person integriert werden können und dort zum Erhalt adaptiver Verhaltensmuster beitragen. Offen ist derzeit, ob die jüngst berichteten Transferleistungen älterer Erwachsener im Kontext von Trainingsprogrammen zur adaptiven Verhaltensregulation den Geltungsbereich der hier vertretenen theoretischen Position und der mit ihr verknüpften praktischen Implikationen einschränken.

4 Determinanten von Altersveränderungen in der Mechanik der Kognition

Ein zentrales Ziel der kognitiven Altersforschung (Craik & Salthouse, 2000) besteht darin, die Natur und Anzahl der Ursachen von Altersveränderungen in der Mechanik der Kognition näher zu bestimmen. Die Konfundierung zwischen chronologischem Alter und der Vielzahl von Alterungsprozessen, die wiederum von anderen Entwicklungsprozessen überlagert werden (z. B. Lernen) und mit ihnen interagieren, erweist sich hier als ein besonders schwieriges Problem (Baltes, Reese & Nesselroade, 1988; Lindenberger & Pötter, 1998). Ohne einen methodenkritischen und methodenpluralistischen Umgang mit diesem Problem greifen Antworten auf die Dimensionalität negativer Altersveränderungen in der Mechanik der Kognition von vornherein zu kurz (vgl. Baltes & Labouvie-Vief, 1973; Hertzog, 1985, 1996; Lindenberger & Pötter, 1998).

Gegenwärtig lassen sich bei der Suche nach den Determinanten von Altersveränderungen in der Mechanik der Kognition zwei forschungsstrategische und theoretische Ausrichtungen, die Ressourcenorientierung und die Prozessorientierung, unterscheiden. Vertreter der Ressourcenorientierung postulieren zunächst eine möglichst kleine Anzahl von Ursachen (kognitiven Ressourcen) zur Erklärung negativer Altersunterschiede im Erwachsenenalter und hohem Alter. Eine typische Ressource in diesem Sinne ist die Verarbeitungsgeschwindigkeit. Gemäß der Geschwindigkeitshypothese lassen intellektuelle Leistungen deswegen mit dem Alter nach, weil die ihnen zu Grunde liegenden kognitiven Prozesse langsamer ablaufen als im jungen Erwachsenenalter.

Der konzeptuelle Vorteil der Ressourcenorientierung ist Sparsamkeit: Eine große Zahl von negativen Veränderungen in der intellektuellen Leistungsfähigkeit wird mit einer einzigen erklärenden Variable in Verbindung gebracht. Diese Sparsamkeit wird jedoch mit einem Mangel an kognitionspsychologischer und neuropsychologischer Plausibilität erkaufte. Zum Beispiel erscheint die Annahme einer generellen und gleichförmigen Verlangsamung kognitiver Prozesse mit dem Alter aus neurokognitiver Sicht kaum haltbar (vgl. z. B. Bashore, Ridderinkhof & van der Molden, 1997).

Im Gegensatz zur Ressourcenorientierung wird bei der Prozessorientierung angenommen, dass die Anzahl der Ursachen von Altersveränderungen in der Mechanik der Intelligenz im Erwachsenenalter groß ist, da sich das (neuro-)kognitive System aus einer Vielzahl verschiedener Prozesse und Strukturen zusammensetzt. Jede intellektuelle Leistung basiert auf einer spezifischen Kombination von Prozessen. Dementsprechend bedürfen Altersveränderungen in verschiedenen Leistungen jeweils einer eigenen Erklärung auf der Grundlage der an ihr beteiligten Prozesse. Der Vorteil prozessbasierter Erklärungen liegt zunächst in der größeren kognitionspsychologischen und neurowissenschaftlichen Plausibilität. Erkauft wird dies jedoch mit einem Mangel an Sparsamkeit, da häufig nach einer großen Zahl spezifischer und nicht nach einer kleinen Zahl übergreifender Erklärungen gesucht wird.

Leider bevorzugen Vertreter der Ressourcenorientierung und Vertreter der Prozessorientierung in der Regel Versuchspläne und Auswertungsstrategien, die einen systematischen Bias zu Gunsten der jeweilig bevorzugten theoretischen Position aufweisen. Vertreter der Ressourcenorientierung bevorzugen altersheterogene querschnittliche Versuchspläne und führen gerne den statistischen Nachweis, dass in den entsprechenden Datensätzen der überwiegende Anteil der altersbezogenen Varianz in einer großen Zahl unterschiedlicher kognitiver Aufgaben durch einen gemeinsamen Faktor erster oder zweiter Ordnung dargestellt werden kann (siehe z. B. Salthouse & Czaja, 2000). Die Stärke dieses gemeinsamen Faktors ist jedoch in einem schwer zu bestimmenden Ausmaß als Ausdruck der Ähnlichkeit der durchschnittlichen Altersgradienten der untersuchten Leistungen zu werten; er reproduziert insoweit die bereits zuvor bekannten querschnittlichen Altersgradienten (vgl. Hertzog, 1985; Hofer & Sliwinski, 2001; Lindenberger & Pötter, 1998; Reinert et al., 1966). Für eine präzise Identifikation der Dynamik und Dimensionalität alterskorrelierter Veränderungen im Allgemeinen und seneszenten Veränderungen im Besonderen ist diese Auswertungsstrategie kaum geeignet (siehe aber Schmiedek, 2002, für kriteriumsvalidierte Verfahren zur Trennung gemeinsamer und spezifischer Varianzanteile).

Bei Vertretern der Prozessorientierung wiederum ist die Überinterpretation ordinaler Alter-mal-Bedingungsinteraktionen nach wie vor üblich. Der Nachweis, dass eine Aufgabenbedingung größere Altersunterschiede produziert als eine andere – also das typische Datenmuster in der kognitiven Altersforschung – ist mit der Annahme, dass die Altersunterschiede in beiden Aufgaben auf eine gemeinsame, unterschiedlich stark wirksame Ursache zurückgehen, ohne weiteres vereinbar. Dennoch werden derartige Befundmuster immer wieder im Sinne einer „Prozessdissoziation“ gedeutet. Die entsprechende methodologische Kritik an dieser Praxis sowie konstruktive und messtheoretisch elegante methodologische Lösungsvorschläge sind seit Jahren bekannt (Dunn & Kirsner, 1988; Kliegl, Mayr

& Krampe, 1994; Loftus, 1978). Neben härteren Kriterien zum Nachweis von Dissoziationen, etwa im Sinne der „*reversed association*“ von Dunn und Kirsner (1988), bedarf die kognitiv-experimentelle Altersforschung vor allem der Entwicklung und verstärkten Nutzung sparsamer und konkurrierender formaler Modelle, um Altersunterschiede auf Modellparametern abzubilden und theoretisch interpretierbar zu machen (vgl. Kliegl & Lindenberger, 1993; Kliegl et al., 1994; Oberauer & Kliegl, 2001; Ratcliff, Spieler & McKoon, 2000; Thapar, Ratcliff & McKoon, 2003).

4.1 Ausgewählte Determinanten von Veränderungen in der Mechanik der Kognition im Rahmen des Informationsverarbeitungsansatzes

Im Rahmen des Informationsverarbeitungsansatzes hat sich das theoretische und empirische Interesse ressourcenorientierter Ansätze vornehmlich auf drei Konstrukte konzentriert: (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) Inhibition (Hasher & Zacks, 1988) oder die Fähigkeit, irrelevante Informationen automatisch oder intentional zu hemmen.⁶

Zurzeit erscheint die Verarbeitungsgeschwindigkeit, und zwar insbesondere dann, wenn sie mit relativ komplexen, der psychometrischen Tradition entstammenden Maßen der Wahrnehmungsgeschwindigkeit gemessen wird, als stärkster Prädiktor von Altersunterschieden in anderen Aspekten der kognitiven Mechanik (Lindenberger, Mayr & Kliegl, 1993; Verhaeghen & Salthouse, 1997). Psychometrisch definierte Wahrnehmungsgeschwindigkeit ist aber keine einfache und einheitliche Ursache oder „basale Determinante“ von Altersveränderungen der kognitiven Mechanik (z. B. im Sinne neuronaler Geschwindigkeit), sondern eine zusammengesetzte Größe mit relativ hohem Arbeitsgedächtnisanteil. So haben Versuche, ein einheitliches biologisches Korrelat altersbedingter Unterschiede in

6 Der Status einer Ressource kommt diesen Konstrukten dadurch zu, dass die genannten Autoren sie als Ursache einer großen Zahl nachgeordneter Altersveränderungen ansehen. Dies schließt nicht aus, dass diese oder andere Autoren dieselben Konstrukte auch aus prozessorientierter Perspektive erforscht haben. Der Versuch einer Integration ressourcen- und prozessorientierter Ansätze erfolgt exemplarisch weiter unten im Text.

der Verarbeitungsgeschwindigkeit zu identifizieren, bislang zu keinem positiven Ergebnis geführt (z. B. Bashore et al., 1997; Wickett & Vernon, 1994; vgl. Neubauer, 1995).

Der Erklärungsgehalt des Arbeitsgedächtniskonstrukts ist ebenfalls schwer bestimmbar. Erstens werden Altersveränderungen des Arbeitsgedächtnisses oft mit Veränderungen der Verarbeitungseffizienz oder Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie mit Hemmungsprozessen in Verbindung gebracht. Zweitens besteht eine wesentliche Funktion des Arbeitsgedächtnisses in der Kontrolle zielgerichteten Handelns und Denkens (siehe zum Beispiel Moscovitch & Winocur, 1992). Diese Funktion rückt das Arbeitsgedächtnis in das Zentrum intelligenten Verhaltens und führt zu der Frage, ob man dann noch von einer „basalen Determinante“ sprechen kann.⁷

Inhibition (Hemmung) wird im Erwachsenenalter oft mit Aufgaben erfasst, bei denen Personen eine starke Verhaltens- oder Handlungstendenz unterdrücken müssen, um zur angemessenen Antwort zu gelangen. Ein Beispiel hierfür ist der Stroop-Test. Bei diesem Test sind die Farbwörter „grün“ und „rot“ in kongruenter (d. h. grün in grüner und rot in roter) oder inkongruenter (d. h. grün in roter und rot in grüner) Farbe geschrieben. Sollen unter inkongruenten Bedingungen möglichst schnell die Farben, in der die Wörter geschrieben sind, benannt wer-

7 In jüngster Zeit hat Oberauer (2002) eine differenzialpsychologisch und experimentell validierte Theorie der Arbeitsgedächtniskapazität vorgelegt, die geeignet scheint, beide Einwände zu entkräften. Diese Theorie begründet die postulierte Struktur des Arbeitsgedächtnissystems, darstellbar als drei hierarchisch geordnete Kreise zunehmender Aktivierung, mit den funktionalen Erfordernissen des Handelns und gelangt somit zu einer sparsamen Erklärung von Kapazitätsgrenzen. Demnach kommt es im Kontext einer Handlung zunächst darauf an, effizient die jeweils erforderlichen Repräsentationen des Langzeitgedächtnisses zu aktivieren und zu hemmen; die Menge der aktivierten Repräsentationen entspricht dem äußeren Kreis. Zweitens kommt die Kapazitätsbegrenzung des mittleren Kreises (der das Arbeitsgedächtnis im eigentlichen Sinne darstellt und auch als *region of direct access* bezeichnet wird) durch Prozesse des Überschreiben und des Crosstalk, also strikt funktional, zu Stande: „*Overwriting means that representations sharing features tend to overwrite each other's feature codes ... Crosstalk refers to the competition among items in the region of direct access when it comes to selectively retrieve one of them at the exclusion of the others*“ (Oberauer, 2002, S. 412). Im innersten Kreis befindet sich jeweils nur eine, und zwar die derzeit handlungsrelevante Repräsentation. Somit stellt und beantwortet Oberauers Theorie die Frage, warum die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses eine gewisse Größe weder über- noch unterschreitet, aus funktionalistisch-handlungstheoretischer Sicht. Nach oben hin gefährden Überschreibung und Crosstalk die Zuverlässigkeit der Handlungswahl; ein unendlich großes Arbeitsgedächtnis wäre keines mehr, mit dem man gut arbeiten (d. h. zielgerichtet handeln) könnte. Andererseits würde eine Begrenzung des Arbeitsgedächtnisses auf eine Kapazität unter der durch Überschreibung und Crosstalk gesetzten Schwellen die Flexibilität der Handlungsauswahl, und damit die Adaptivität menschlichen Verhaltens, unnötig reduzieren. Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist somit das Resultat gegenläufiger funktionaler *Constraints*. Eine weitere Ausformulierung der Implikation dieser Theorie sowie ihre verstärkte Anwendung auf entwicklungspsychologische Fragestellungen erscheinen viel versprechend.

den, so müssen die Wortbedeutungen jeweils gehemmt werden. Es gibt einige Hinweise darauf, dass die Inhibition nicht mehr handlungsrelevanter Repräsentationen bei älteren Erwachsenen weniger effizient erfolgt als bei jüngeren Erwachsenen (z. B. Mayr & Liebscher, 2001; Zacks, Radvansky & Hasher, 1996). Allerdings hat es sich als schwierig erwiesen, Altersunterschiede in der Hemmung von Altersunterschieden in der Aktivierung abzugrenzen. Dementsprechend ist die Größe des Beitrags der Hemmung zu Altersveränderungen in der Mechanik insgesamt derzeit schwer bestimmbar (siehe auch Mayr, 2001).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die im Rahmen der Ressourcenorientierung vorgeschlagenen Konstrukte bislang weder konzeptuell noch empirisch zu überzeugenden Erklärungen negativer Altersveränderungen in der Mechanik der Kognition geführt haben. Unklare Konstruktdefinitionen, konzeptuelle Abgrenzungsprobleme sowie die übermäßige Nutzung korrelativer Analysen altersheterogener querschnittlicher Stichproben schränken den Erklärungsgehalt der vorgeschlagenen Konstrukte stark ein.

4.2 Ausgewählte Determinanten von Veränderungen in der Mechanik der Kognition aus neurokognitiver Sicht

In jüngerer Zeit wurde die Suche nach biologischen Korrelaten der mechanischen Entwicklung im Erwachsenenalter durch den Einbezug der kognitiven Neurowissenschaften als „*cognitive neuroscience of aging*“ intensiviert und grundlegend transformiert (Cabeza, 2001; Li et al., 2001; Prull et al., 2000; Raz, 2000; für eine ausführliche und differenziertere Darstellung, siehe auch Markowitsch in diesem Band). Die kognitiven Neurowissenschaften des Alterns untersuchen, welche anatomischen, neurochemischen und funktionalen Veränderungen des Gehirns in besonders starker Weise mit generellen oder spezifischen Altersunterschieden im Verhalten zusammenhängen. Auf neuroanatomischer Ebene sind hier vor allem Veränderungen des Stirnhirns zu nennen (insbesondere des dorsolateralen präfrontalen Kortexes; vgl. Raz, 2000). In neurochemischer Hinsicht ist die Abnahme von Rezeptoren des Neurotransmitters Dopamin eng mit negativen Altersunterschieden in der intellektuellen Leistungsfähigkeit verknüpft (Bäckman et al., 2000; Volkow et al., 2000). Die beiden Phänomene könnten miteinander zusammenhängen, weil die funktionale Integrität des Stirnhirns unter anderem auf dopamingestützte Verarbeitungswege angewiesen ist (Raz, 2000).

Einige Eigenschaften des Verhaltens, die besonders eng mit präfrontalen Verarbeitungswegen verknüpft sind, zeigen besonders deutliche alterskorrelierte Einbußen. Dies betrifft vor allem Prozesse der Verhaltenskoordination und -regulation, die auch als „exekutive Funktionen“ oder kognitive Kontrolle bezeichnet werden (Duncan, Emslie, Williams, Johnson & Freer, 1996; Smith & Jonides,

1999). Eine Vielzahl an Befunden legt nahe, dass negative Altersunterschiede im Erwachsenenalter vor allem dann besonders groß sind, wenn hohe Anforderungen an kognitive Kontrolle gestellt werden. So sind ältere Erwachsene besonders dann gegenüber jungen Erwachsenen im Nachteil, wenn gleichzeitig an mehreren Aufgaben oder Aufgabenaspekten gearbeitet werden soll. Typische Beispiele sind die Koordination von Handlungen und Wahrnehmungsinhalten (Frensch, Lindenberger & Kray, 1999; Mayr & Kliegl, 1993), die Unterdrückung reizgetriebener Handlungstendenzen (Salthouse & Meinz, 1995), die gleichzeitige Bearbeitung mehrerer Aufgaben (Korteling, 1994; Kramer et al., 1995; K. Z. H. Li, Lindenberger, Freund & Baltes, 2001) sowie die Auswahl und der Wechsel zwischen einfachen Aufgaben bei hoher Mehrdeutigkeit der Aufgabensituation (Kramer, Hahn & Gopher, 1999; Kray & Lindenberger, 2000; Mayr, 2001). Die entsprechenden Altersunterschiede bleiben trotz Leistungszuwachs auch nach intensivem Üben erhalten (Frensch et al., 1999; Kramer et al., 1995; Kray & Lindenberger, 2000; Mayr & Kliegl, 1993). Koordinationsschwierigkeiten sind vermutlich auch ein Grund dafür, dass Altersunterschiede zwischen jungen und älteren Erwachsenen in typischen Tests der fluiden Intelligenz wie dem Raven-Matrizen test auch dann zu beobachten sind, wenn man den Probanden unbegrenzt viel Zeit zur Aufgabenbearbeitung gibt (vgl. den „*simultaneity mechanism*“ bei Salthouse, 1996). Denn die Anforderung, mehrere Informationseinheiten gleichzeitig aktiv zu halten und aufeinander zu beziehen, bleibt bei diesen Aufgaben auch dann erhalten, wenn der Zeitdruck gering ist (vgl. Kliegl, Krampe & Mayr, 2003).

Auch bei Altersunterschieden in episodischen Gedächtnisleistungen (Aggleton & Brown, 1999; Markowitsch, 1999; Wheeler, Stuß & Tulving, 1997) spielen Altersveränderungen präfrontaler Hirnareale sowie der mit ihnen funktional verknüpften Basalganglien, neben altersassoziierten Veränderungen in anderen Arealen wie dem Hippocampus, eine zentrale Rolle. Dabei scheint sich die spezifische Funktion präfrontaler Verarbeitungswege vor allem auf die strategische Komponente episodischer Gedächtnisleistungen zu beziehen, das heißt auf die Qualität und das Ausmaß an Planung, Organisation, Bewertung und Elaboration beim Enkodieren und Abrufen von Gedächtnisepisoden. Beim Gedächtnisabruf wird Wiedererkennen als Anforderung mit relativ geringem strategischen Anteil betrachtet, da die Antworten auf der Grundlage von Vertrauensurteilen gegeben werden können. Entsprechend weist freie Wiedergabe im Vergleich zum Wiedererkennen einen höheren strategischen Anteil auf. Ähnliches gilt in der Regel für Anforderungen, die das Einprägen und Abrufen spezifischer zeitlicher oder räumlicher Kontexte verlangen, so zum Beispiel Quellengedächtnis, Listendiskriminierung, Häufigkeitsurteile und Reihenfolgegedächtnis.

Strategische Komponenten episodischer Gedächtnisleistungen sind stärker von seneszenten Veränderungen des Gehirns betroffen als nichtstrategische (Prull

et al., 2000). So sind Altersunterschiede beim Wiedererkennen in der Regel kleiner als beim freien Erinnern. Ferner nehmen innerhalb desselben Aufgabenformats die Altersunterschiede zwischen jungen und älteren Erwachsenen als Funktion von Anforderungserhöhungen an die strategische Komponente zu, so zum Beispiel mit Erhöhung der Listenähnlichkeit (Kliegl & Lindenberger, 1993). In Übereinstimmung mit diesen Befunden ergab eine Metaanalyse von Spencer und Raz (1995), dass der Abruf des Kontexts von Gedächtnisepisoden mit größeren Altersunterschieden einhergeht als der Abruf ihres Inhalts (Cohen's d : 0.87 vs. 0.57). Im Allgemeinen wird angenommen, dass Verarbeitungswege, die den dorsolateralen präfrontalen Kortex einschließen, für die strategische Komponente episodischer Gedächtnisleistungen – das heißt für das *working with memory* (Moscovitch & Winocur, 1992) – von besonderer Bedeutung sind (LePage, Ghaffar, Nyberg & Tulving, 2000). Die strategische Komponente episodischer Gedächtnisleistungen könnte die Wirkung der kognitiven Kontrolle im Kontext episodischer Gedächtnisleistungen darstellen.

4.3 Zur Dialektik zwischen ressourcen- und prozessorientierten Sichtweisen

Aller Voraussicht nach beruhen Altersveränderungen in der Mechanik der Kognition im Erwachsenenalter und hohen Alter auf einer Mischung übergreifender und spezifischer Ursachen. Übergreifende Ursachen werden oft als Ressourcen beschrieben, spezifische Ursachen eher als Prozesse. Deswegen ist es sinnvoll, beide Orientierungen gleichzeitig zu verfolgen und miteinander zu verknüpfen (vgl. Kliegl et al., 1994). Zudem ist eine verstärkte Hinwendung zu längsschnittlichen und personenorientierten Ansätzen (*repeated single-subject designs*; vgl. Nesselroade & Molenaar, 1999) unerlässlich, um sich der Anzahl, Dynamik und interindividuellen Unterschiedlichkeit relevanter Einflussgrößen mit größerem Erfolg anzunähern, als dies gegenwärtig der Fall ist. So ist die Annahme der Stichprobenhomogenität, auf der fast alle querschnittlichen und experimentellen Befunde aufbauen, bei Untersuchungen alter und sehr alter Personen allein deswegen nicht haltbar, weil ein zunehmend großer Anteil der untersuchten Personen unter einer beginnenden, klinisch noch nicht manifesten demenziellen Erkrankung leidet (Bäckman et al., 2002; Sliwinski, Lipton, Buschke & Stewart, 1996).

Die oben berichteten Befunde zur Bedeutung frontal-striataler Verarbeitungswege für Altersveränderungen in der Mechanik der Kognition machen deutlich, wie eine erfolgreiche Vermittlung zwischen ressourcen- und prozessorientierten Sichtweisen aussehen könnte. Gesucht wird nach verursachenden Mechanismen, die im Rahmen von Prozessmodellen als kognitive Ressourcen wirksam werden. Annahmen über die Wirkungsweise derartiger Mechanismen können mit Hilfe

formaler Modelle simuliert und überprüft werden (siehe auch Braver et al., 2001; Kliegl & Lindenberger, 1993; Li & Lindenberger, 1999; Lindenberger, Li & Brehmer, 2002; Nieuwenhuis et al., 2002; Thapar, Ratcliff & McKoon, 2003). Ein Beispiel für diese Forschungsstrategie sind neuronale Netzwerkmodelle über mögliche generelle Auswirkungen der altersbedingten Abnahme des Signal-Rausch-Verhältnisses dopaminergere Verarbeitungswege (Lindenberger et al., 2002; Li & Lindenberger, 1999; Li, Lindenberger & Frensch, 2000; Li et al., 2001). In diesen Simulationen konnten zentrale Altersveränderungen in der Mechanik der Kognition – z. B. niedrigere Lernraten, niedrigere asymptotische Lernleistungen, höhere Interferenzanfälligkeit sowie größere interindividuelle und intraindividuelle Variabilität – durch die Veränderung eines einzigen Modellparameters abgebildet werden.

5 Das Dilemma behavioralen Alterns und Möglichkeiten, ihm zu begegnen: Ausgewählte Perspektiven künftiger Forschung und Anwendung

Die vorliegenden Befunde zu Altersveränderungen in der Mechanik der Kognition verweisen auf ein grundlegendes Dilemma behavioralen Alterns, an dem neben kognitivem auch motorische und sensorische Aspekte des Verhaltens teilhaben. Auf der einen Seite nimmt der Bedarf an kognitiver Kontrolle unseres Verhaltens mit dem Alter zu, weil die Zuverlässigkeit der Sinne und des Bewegungsapparats stark nachlässt. Belegt wird dies unter anderem durch den starken Rückgang der Sinnesleistungen mit dem Alter (Fozard, Thomas & Waugh, 1990; Winter, 1991), die deutliche Zunahme von Doppelaufgabenkosten bei der gleichzeitigen Ausführung sensomotorischer und intellektueller Aufgaben (K. Z. H. Li et al., 2001; Lindenberger et al., 2000; Maylor & Wing, 1996; Teasdale, Bard, LaRue & Fleury, 1993) sowie durch die hohen Korrelationen zwischen intellektuellen, sensorischen und sensomotorischen Leistungen im hohen Alter (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994, 1997).

Auf der anderen Seite finden sich, wie oben dargestellt, deutliche, durch entsprechende neuroanatomische und neurochemische Befunde gestützte Hinweise auf eine Abnahme der Effektivität kognitiver Kontrolle im Erwachsenenalter. Die Kombination der beiden Befunde ergibt die Bestimmungsstücke des Dilemmas: Verhalten ist zunehmend auf kognitive Kontrolle angewiesen, doch lässt deren Funktionsniveau in besonders starkem Maße mit dem Alter nach. *Behaviorales Altern lässt sich demnach als Verknappung einer zunehmend nachgefragten Ressource begreifen* (vgl. Lindenberger et al., 2000).

Abschließend skizzieren wir zwei Gebiete gegenwärtiger und zukünftiger Forschung, die unseres Erachtens in besonderem Maße geeignet sein könnten, zur Abschwächung dieses Dilemmas beizutragen.

5.1 Aerobe Fitness

Eine wachsende Zahl ausreichend gut kontrollierter Interventionsstudien stützt die Annahme, dass eine Steigerung der aeroben Fitness mit Steigerungen in kognitiven Leistungen einhergeht (für Übersichtsdarstellungen, siehe Churchill et al., 2002; Colcombe & Kramer, 2003; Hall, Smith & Keele, 2001). Dabei treten die fitnessinduzierten Leistungssteigerungen im kognitiven Bereich vor allem in jenen Aufgaben zu Tage, die hohe Anforderungen an kognitive Kontrollprozesse stellen (Kramer et al., 1999). Vor dem Hintergrund des oben skizzierten Dilemmas sind diese Befunde von herausragender Bedeutung, da beide Bestimmungsstücke des Dilemmas, der Kontrollbedarf der Sensomotorik und die kognitive Kontrolle, in positiver Richtung beeinflusst werden. Eine nähere Betrachtung der einschlägigen human- und tierexperimentellen Befunde sowie eine Analyse möglicher Ursachen des positiven Transfers von Fitnessinterventionen auf kognitive Leistungen weist darauf hin, dass die positiven Auswirkungen fitnessbezogener Interventionen bei niedriger Ausgangsfitness größer zu sein scheinen als bei durchschnittlichen oder hohen fitnessbezogenen Ausgangsleistungen. Auch in kognitiver Hinsicht scheinen vor allem jene Personen von einem aeroben Training zu profitieren (z. B. *walking*; vgl. Kramer et al., 1999), die sich vor Beginn des Trainings im Alltag kaum bewegt haben (vgl. Kramer et al., 2001).

Über die möglichen Ursachen positiver Zusammenhänge zwischen aerober Fitness und kognitiven Leistungen mit hohem Kontrollbedarf herrscht zurzeit wenig Klarheit. Denkbar sind unter anderem die folgenden vermittelnden Einflüsse (s.a. Churchill et al., 2002): (a) eine selektive Steigerung der Durchblutung frontaler Hirnregionen (siehe aber Madden, Blumenthal, Allen & Emery, 1989); (b) eine Zunahme der neuronalen Plastizität (Cotman & Berchtold, 2002; van Praag, Kampermann & Gage, 1999); (c) eine Abnahme des Kontrollbedarfs von Sensorik und Sensomotorik, die kognitive Kontrollressourcen freisetzt und der Bearbeitung der kognitiven Aufgaben zugute kommt (Lindenberger et al., 2000). Bemerkenswert sind in diesem Zusammenhang die Ergebnisse einer querschnittlichen Untersuchung über den Zusammenhang zwischen Alter, aerober Fitness und den kernspintomografisch erfassten Volumina verschiedener Hirnareale (Colcombe et al., 2003). Jene Hirnregionen wie der präfrontale Kortex, deren Volumina die stärkste negative Beziehung zum Alter aufwiesen, zeigten

zugleich die stärkste positive Beziehung zwischen aerober Fitness und Volumen im Alter. Dieser Befund deutet darauf hin, dass aerobe Fitness (bzw. die Abwesenheit aerober Nichtfitness) dazu beitragen kann, alterungsbedingte strukturelle Veränderungen des Gehirns hinauszuzögern.

5.2 Intelligent unterstützende Umwelten: Altersforschung und Technologie

Angesichts der altersbezogenen Abnahme des Leistungsniveaus der Mechanik der Kognition, die sich am stärksten auf Leistungen in komplexen Aufgaben mit hohem Kontrollaufwand auswirkt, stellt sich die Frage, in welchem Ausmaß externe Hilfsmittel die Auswirkungen dieser Leistungseinbußen abzuschwächen und zum Erhalt der Alltagskompetenz beizutragen vermögen (siehe auch Rudinger & Jansen, in diesem Band). Die Bearbeitung dieser Frage kann sich auf zwei theoretische Konzeptionen stützen: (a) das Modell der selektiven Optimierung mit Kompensation als Theorie erfolgreicher Entwicklung im Alter (Baltes & Baltes, 1990), insbesondere in seiner handlungstheoretischen Ausgestaltung (Freund & Baltes, 2000); (b) die von Craik (1983) eingeführte Unterscheidung zwischen selbst-initiiertes Verarbeitung und Umweltunterstützung.

Aus kontrolltheoretischer Sicht (Goschke, 2000; Miller & Cohen, 2001; Hommel, 2000) wird beim Übergang von selbst-initiiertes Verarbeitung zu Umweltunterstützung kognitive Kontrolle von der handelnden Person an die Umwelt delegiert. Dieser Übergang erfolgt mithilfe eines externalisierenden Hilfsmittels, das zwischen den Handlungszielen der Person und der Unterstützungsstruktur der Umwelt vermittelt. Wenn der Kontrollaufwand zum Bedienen eines derartigen Hilfsmittels geringer ausfällt als der Kontrollaufwand beim Handeln ohne Hilfsmittel, dann ergibt sich aus kontrolltheoretischer Sicht eine positive Kosten-Nutzen-Bilanz. Experimentell konnte nachgewiesen werden, dass ältere Erwachsene auch neue kompensatorische Hilfsmittel erlernen und adaptiv einsetzen können (Li et al., 2001).

Ein anwendungsorientiertes Beispiel soll verdeutlichen, wie Computertechnologie (hier: *ubiquitous computing* in instrumentierten Umwelten) den Einsatzbereich derartiger Hilfsmittel erweitern kann (Baus, Krüger & Wahlster, 2002; Wahlster, Baus, Kray & Krüger, 2001). Man stelle sich vor, eine Person möchte in einem weitläufigen Einkaufszentrum eine Reihe von Artikeln erwerben. Die relevanten Läden sind über das gesamte Einkaufszentrum verstreut. Die Person führt einen Handcomputer mit sich, auf dem die gewünschten Artikel abgespeichert sind. Der Handcomputer ist mit einer Infrarotschnittstelle ausgestattet, die mit fest installierten, über das ganze Einkaufszentrum verteilten Infrarotschnittstellen Daten austauscht. Der Handcomputer errechnet auf Grund

der Topografie des Einkaufszentrums und der Einkaufsliste der Person einen optimalen Weg durch das Einkaufszentrum (z. B. den kürzesten) und navigiert die Person mit Richtungsfeilen, die auf dem Display des Handcomputers erscheinen, von Laden zu Laden. Falls ein Artikel in einem Laden ausverkauft ist, wird ein Laden, der diesen Gegenstand ebenfalls führen könnte (wenngleich mit geringerer Vorabwahrscheinlichkeit), in die verbleibende Wegstrecke eingebaut.

Dieses Beispiel zeigt, wie eine relativ komplexe kognitive Aufgabe mit hohem Kontrollaufwand weitgehend an die Umwelt abgegeben werden kann. Ein entsprechender Prototyp existiert bereits und wurde erfolgreich getestet (Baus et al., 2002; Wahlster et al., 2001). Es ließe sich einwenden, dass unterstützende Umwelten dem Nichtgebrauch kognitiver Fähigkeiten Vorschub leisten und somit kognitiven Leistungsabbau begünstigen. Aus handlungstheoretischer Sicht erscheint dies wenig wahrscheinlich. Vermutlich werden Personen kognitive Kontrolle immer dann an die Umwelt delegieren, wenn die Aufgabe zu schwierig ist (d. h. wenn internale kognitive Kontrolle die verfügbaren Ressourcen übersteigt) oder wenn die Ausübung internaler Kontrolle nur in geringem Maße mit dem Gefühl von Selbstwirksamkeit und anderen Selbst-bezogenen Motivsystemen verknüpft ist (Baltes & Baltes, 1986; Staudinger & Pasupathi, 2000). Denkbar ist auch, dass die kompetente Nutzung der externalisierenden Hilfsmittel den Selbstwert steigert. In jedem Fall können die freiwerdenden kognitiven Ressourcen in andere, leichtere oder wertgeschätzte Aufgabenbereiche investiert werden.

Die Entwicklung und situativ angepasste Bereitstellung und Anwendung von Hilfsmitteln zur Delegation kognitiver Kontrolle an instrumentierte Umgebungen ist eine genuin interdisziplinäre Aufgabe. Ihre Bewältigung erfordert sowohl technologisches Wissen als auch Kenntnisse über die Stärken, Schwächen und Vorlieben der Personen, die als Nutzer dieser Instrumente in Betracht kommen (Howard & Howard, 1997). Vor allem ist darauf zu achten, dass die Nutzer die zur Bedienung des Hilfsmittels erforderlichen Prozesse möglichst nahtlos in den Kontext ihrer eigenen Handlungen einpassen können. Dies zu bewerkstelligen, ist nicht immer leicht. So zeigen Untersuchungen über Altersunterschiede beim Wechseln zwischen einfachen Aufgaben, dass Hinweisreize, die einen bevorstehenden Aufgabenwechsel anzeigen und ihn somit im Sinne eines kontroll erleichternden externen Hilfsmittels erleichtern sollten, insbesondere bei älteren Erwachsenen leistungsmindernd wirken können, wenn sie zu früh dargeboten werden (Kray, 2002).⁸

8 Vermutlich führte die frühe Darstellung zu einer vermehrten Arbeitsgedächtnisbelastung, weil der Hinweisreiz nicht unmittelbar handlungswirksam werden kann, sondern durch zusätzlich unterstützende Prozesse (z. B. subvokales *rehearsal*) aktiv gehalten werden muss (vgl. Kray, 2002).

Das Design intelligenter unterstützender Umwelten gehört zu den wichtigen Zukunftsaufgaben einer alternden Gesellschaft (Lindenberger, 2002b). Eine unterstützende Funktion kommt diesen Umwelten aber nur dann zu, wenn sie die sensorischen, motorischen und kognitiven Voraussetzungen der sich in ihnen bewegenden Personen berücksichtigen. Zugleich sollten unterstützende Umweltangebote nicht auf jene Personen beschränkt werden, die ohne Unterstützung nicht in der Lage wären, die entsprechende Aufgabe zu lösen, sondern, etwa im Sinne des „*universal design*“ (Salvendy, 1997), für Personen unterschiedlicher Altersstufen und Fähigkeitsniveaus attraktiv und geeignet sind. Für die kognitive Entwicklungspsychologie entsteht hier in Zusammenarbeit mit Informatik und *Human Factors* ein Forschungs- und Praxisfeld, das in den kommenden Jahren an Bedeutung gewinnen dürfte.

Literatur

- Ackerman, P. L. (1996). A theory of adult intellectual development: Process, personality, interests, and knowledge. *Intelligence, 22*, 227–257.
- Ackerman, P. L. (2000). Domain-specific knowledge as the „dark matter“ of adult intelligence: Gf/Gc, personality, and interest correlates. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 55B*, P69–P84.
- Aggleton, J. P. & Brown, M. W. (1999). Episodic memory, amnesia, and the hippocampal-anterior thalamic axis. *Behavioral and Brain Sciences, 22*, 425–489.
- Anstey, K. J., Stankov, L. & Lord, S. R. (1993). Primary aging, secondary aging, and intelligence. *Psychology and Aging, 8*, 562–570.
- Bäckman, L. (1992). Memory training and memory improvement in Alzheimer's disease: Rules and exceptions. *Acta Neurologica Scandinavica, 139*, 84–89.
- Bäckman, L., Ginovart, N., Dixon, R. A., Robins Wahlin, T.-B., Wahlin, A., Winblad, B., Hall-din, C. & Farde, L. (2000). Age-related cognitive deficits mediated by changes in the striatal dopamine system. *American Journal of Psychiatry, 157*, 635–637.
- Bäckman, L., Jones, S., Berger, A.-K., Jonsson Laukka, E. & Small, B. J. (2002). *Cognitive impairment in preclinical Alzheimer's disease: A meta-analysis*. Unpublished manuscript. Karolinska Institut, Stockholm.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 49A*, 5–28.
- Baltes, M. M. & Baltes, P. B. (Eds.) (1986). *The psychology of control and aging*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Baltes, M. M., Kühl, K.-P., Gutzmann, H. & Sowarka, D. (1995). Potential of cognitive plasticity as a diagnostic instrument: A cross-validation and extension. *Psychology and Aging, 10*, 167–172.
- Baltes, P. B. (1968). Longitudinal and cross-sectional sequences in the study of age and generation effects. *Human Development, 11*, 145–171.

- 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. (1997). On the incomplete architecture of human ontogeny: Selection, optimization, and compensation as foundation of developmental theory. *American Psychologist, 52*, 366–380.
- Baltes, P. B. & Baltes, M. M. (1990). Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. In P. B. Baltes & M. M. Baltes (Eds.), *Successful aging: Perspectives from the behavioral sciences* (pp. 1–34). New York, NY: Cambridge University Press.
- Baltes, P. B., Cornelius, S. W., Spiro III, A., Nesselroade, J. R. & Willis, S. L. (1980). Integration vs. differentiation of fluid-crystallized intelligence in old age. *Developmental Psychology, 16*, 625–635.
- 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. & Labouvie-Vief, G. (1973). Adult development of intellectual performance: Description, explanation, modification. In C. Eisdorfer & M. P. Lawton (Eds.), *The psychology of adult development and aging* (pp. 157–219). Washington, DC: American Psychological Association.
- Baltes, P. B. & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: A new window to the study of cognitive aging? *Psychology and Aging, 12*, 12–21.
- Baltes, P. B., Lindenberger, U. & Staudinger, U. M. (1998). Life-span theory in developmental psychology. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child development* (5th ed., Vol. 1: Theoretical models of human development, pp. 1029–1143). New York, NY: Wiley.
- Baltes, P. B., Reese, H. W. & Nesselroade, J. R. (1988). *Life-span developmental psychology: Introduction to research methods* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 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.
- Bashore, T. R., Ridderinkhof, K. R. & van der Molen, M. W. (1997). The decline of cognitive processing speed in old age. *Current Directions in Psychological Science, 6*, 163–169.
- Baus, J., Krüger, A. & Wahlster, W. (2002). A resource-adaptive mobile navigation system, 2002: *International Conference on Intelligent User Interfaces* (pp. 15–22). New York, NY: ACM.
- Bosman, E. A. & Charness, N. (1996). Age-related differences in skilled performance and skill acquisition. In F. Blanchard-Fields & T. M. Hess (Eds.), *Perspectives on cognitive change in adulthood and aging* (pp. 428–453). New York, NY: McGraw-Hill.
- Brandtstädter, J. & Rothermund, K. (2002). The life-course dynamics of goal pursuit and goal adjustment: A two-process framework. *Developmental Review, 22*, 117–150.
- Braver, T. S., Barch, D. M., Keys, B. A., Carter, C. S., Cohen, J. D., Kaye, J. A., Janowsky, J. S., Taylor, S. F., Yesavage, J. A., Mumenthaler, M. S., Jagust, W. J. & Reed, B. R. (2001). Context processing in older adults: Evidence for a theory relating cognitive control to neurobiology in healthy aging. *Journal of Experimental Psychology: General, 130*, 746–763.

- 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.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Cerella, J. (1990). Aging and information-processing rate. In K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 201–221). New York, NY: Academic.
- Charness, N. (1981). Search in chess: Age and skill differences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 467–476.
- Charness, N. (1983). Age, skill, and bridge bidding: A chronometric analyses. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 406–416.
- Churchill, J. D., Galvez, R., Colcombe, S., Swain, R. A., Kramer, A. F. & Greenough, W. T. (2002). Exercise, experience, and the aging brain. *Neurobiology of Aging*, 23, 941–955.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Raz, N., Webb, A. G., Cohen, N. J., McAuley, E. & Kramer, A. F. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *Journals of Gerontology: Serie A – Biological Sciences and Medical Sciences*, 58, 176–180.
- Colcombe, S. J. & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychological Science*, 14, 125–130.
- Cotman, C. W. & Berchtold, N. C. (2002). Exercise: A behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends in Neuroscience*, 25, 295–301.
- Craik, F. I. M. (1983). On the transfer of information from temporary to permanent memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B* 302, 341–359.
- Craik, F. I. M. & Salthouse, T. A. (2000). *The handbook of aging and cognition*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Deary, I. J., Egan, V., Gibson, G. J., Austin, E. J., Brand, C. R. & Kellaghan, T. (1996). Intelligence and the differentiation hypothesis. *Intelligence*, 23, 105–132.
- Deary, I. J. & Pagliari, C. (1991). The strength of g at different levels of ability: Have Detterman and Daniel rediscovered Spearman's law of diminishing returns? *Intelligence*, 15, 251–255.
- Denney, N. W. (1984). A model of cognitive development across the life span. *Developmental Review*, 4, 171–191.
- 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.
- Dunn, J. C. & Kirsner, K. (1988). Discovering functionally independent mental processes: The principle of reversed association. *Psychological Review*, 95, 91–101.
- Elman, J. L., Bates, E. A., Johnson, M. H., Karmiloff-Smith, A., Parisi, D. & Plunkett, K. (1996). *Rethinking innateness: A connectionist perspective on development*. Cambridge, MA: MIT.
- Ericsson, K. A. & Lehmann, A. C. (1996). Expert and exceptional performance: Evidence of maximal adaption to task constraints. *Annual Review of Psychology*, 47, 273–305.
- Fisk, A. D., Rogers, W. A., Cooper, B. P. & Gilbert, D. K. (1997). Automatic category search and its transfer: Aging, type of search, and level of learning. *Journals of Gerontology: Psychological Science*, 52B, P91–P102.

- Fitzgerald, J. M., Nesselroade, J. R. & Baltes, P. B. (1973). Emergence of adult intellectual structure: Prior to or during adolescence? *Developmental Psychology*, *9*, 114–119.
- Flynn, J. R. (1987). Massive IQ gains in 14 nations: What IQ tests really measure. *Psychological Bulletin*, *101*, 171–191.
- Fozard, J. L., Thomas, J. C. & Waugh, N. C. (1990). Vision and hearing in aging. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (3rd ed., pp. 150–170). San Diego, CA: Academic Press.
- Frensch, P. A., Lindenberger, U. & Kray, J. (1999). Imposing structure on an unstructured environment: Ontogenetic changes in the ability to form rules of behavior under conditions of low environmental predictability. In A. G. Friederici & R. Menzel (Eds.), *Learning. Rule extraction and representation* (pp. 139–162). Berlin: de Gruyter.
- Freund, A. M. & Baltes, P. B. (2000). The orchestration of selection, optimization, and compensation: An action-theoretical conceptualization of a theory of developmental regulation. In W. J. Perrig & A. Grob (Eds.), *Control of human behavior, mental processes, and consciousness* (pp. 35–58). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Ghisletta, P. & Lindenberger, U. (2003). Age-based structural dynamics between perceptual speed and knowledge in the Berlin Aging Study: Direct evidence for ability dedifferentiation with age. *Psychology and Aging*, *18*, 696–713.
- Goschke, T. (2000). Intentional reconfiguration and involuntary persistence in task-set switching. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Attention and performance XVIII* (pp. 331–355). Cambridge, MA: MIT Press.
- Hall, C. D., Smith, A. L. & Keele, S. W. (2001). The impact of aerobic activity on cognitive function in older adults: A new synthesis based on the concept of executive control. *European Journal of Cognitive Psychology*, *13*, 279–300.
- Hambrick, D. Z. & Engle, R. W. (2002). Effects of domain knowledge, working memory capacity, and age on cognitive performance: An investigation of the knowledge-is-power hypothesis. *Cognitive Psychology*, *44*, 339–387.
- Hasher, L. & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. *The Psychology of Learning and Motivation*, *22*, 193–225.
- Hasselhorn, M. (1995). Kognitive Trainings: Grundlagen, Begrifflichkeiten und Desiderate. In W. Hager (Hrsg.), *Programme zur Förderung des Denkens bei Kindern: Konstruktion, Evaluation und Metaevaluation* (S. 14–40). Göttingen: Hogrefe.
- Hertzog, C. (1985). An individual differences perspective: Implications for cognitive research in gerontology. *Research on Aging*, *7*, 7–45.
- Hertzog, C. (1996). Research design in studies on aging and cognition. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 24–37). San Diego, CA: Academic.
- Hertzog, C. & Schaie, K. W. (1986). Stability and change in adult intelligence: 1. Analysis of longitudinal covariance structures. *Psychology and Aging*, *1*, 159–171.
- Hofer, S. M. & Sliwinski, M. J. (2001). Understanding aging: An evaluation of research designs for assessing the interdependence of ageing-related changes. *Gerontology*, *47*, 341–352.
- Hommel, B. (2000). The prepared reflex: Automaticity and control in stimulus-response translation. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII* (pp. 247–273). Cambridge, MA: MIT.

- 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 & G. E. Trehub (Eds.), *Aging and cognitive processes: Advances in the study of communication and affect* (Vol. 8, pp. 237–278). New York, NY: Plenum.
- Horn, J. L. (1989). Models of intelligence. In R. L. Linn (Ed.), *Intelligence: Measurement, theory, and public policy* (pp. 29–73). Urbana, ILL: University of Illinois.
- Howard, J. H. J. & Howard, D. V. (1997). Learning and memory. In A. D. Fisk & W. A. Rogers (Eds.), *Handbook of human factors and the older adult* (pp. 7–26). San Diego, CA: Academic Press.
- Hultsch, D. F., Hertzog, C., Dixon, R. A. & Small, B. J. (1998). *Memory change in the aged*. Cambridge, UK: Cambridge University.
- Humphreys, L. G. & Davey, T. C. (1988). Continuity in intellectual growth from 12 months to 9 years. *Intelligence, 12*, 183–197.
- Jones, H. E. & Conrad, H. (1933). The growth and decline of intelligence: A study of a homogeneous group between the ages of ten and sixty. *Genetic Psychological Monographs, 13*, 223–298.
- 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.
- Kirkwood, A. (2003). Age differences in evolutionary selection benefits. In U. M. Staudinger & U. Lindenberger (Eds.), *Understanding human development: Dialogues with lifespan psychology* (pp. 45–57). Dordrecht, NL: Kluwer Academic.
- 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, NJ: Ablex.
- Kliegl, R., Krampe, R. T. & Mayr, U. (2003). Formal models of age differences in task-complexity effects. In U. M. Staudinger & U. Lindenberger (Eds.), *Understanding human development: Lifespan psychology in exchange with other disciplines* (pp. 289–313). Dordrecht, NL: Kluwer Academic.
- Kliegl, R. & Lindenberger, U. (1993). Modeling intrusions and correct recall in episodic memory: Adult age differences in encoding of list context. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 19*, 617–637.
- 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. (1990). On the locus and process of magnification of age differences during mnemonic training. *Developmental Psychology, 26*, 894–904.
- Knopf, M., Preußler, W. & Stefanek, J. (1995). „18, 20, ...2“ – Kann Expertise im Skatenspiel Defizite des Arbeitsgedächtnisses älterer Menschen kompensieren? *Swiss Journal of Psychology, 54*, 225–236.
- Korteling, J. E. (1994). Effects of aging, skill modification, and demand alternation on multiple-task performance. *Human Factors, 36*, 27–43.
- Kramer, A. F., Hahn, H. & Gopher, D. (1999). Task coordination and aging: explorations of executive control processes in the task switching paradigm. *Acta Psychologica, 101*, 339–378.

- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., Chason, J., Vakil, E., Bardell, L., Boileau, R. A. & Colcombe, A. (1999). Ageing, fitness, and neurocognitive function. *Nature*, *400*, 418–419.
- Kramer, A. F., Hahn, S., McAuley, E., Cohen, N. J., Banich, M. T., Harrison, C. R., Chason, J., Vakil, E., Bardell, L., Boileau, R. A. & Colcombe, A. (2001). Exercise, aging, and cognition: Healthy body, healthy mind? In W. Rogers & A. D. Fisk (Eds.), *Human factors interventions for the health care of older adults* (pp. 91–120). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- 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. & Willis, S. L. (2002). Enhancing the cognitive vitality of older adults. *Current Directions in Psychological Science*, *11*, 173–177.
- Krampe, R. T. & Ericsson, K. A. (1996). Maintaining excellence: Deliberate practice and elite performance in young and old pianists. *Journal of Experimental Psychology: General*, *125*, 331–359.
- Kray, J. (2002). *Selecting among ambiguous task sets in younger and older adults: The role of task cueing and item-specific learning*. Unveröffentlichtes Manuskript, Universität des Saarlands, Saarbrücken.
- Kray, J. & Lindenberger, U. (2000). Adult age differences in task switching. *Psychology and Aging*, *15*, 126–147.
- Labouvie-Vief, G. (1982). Dynamic development and mature autonomy: A theoretical prologue. *Human Development*, *25*, 161–191.
- LePage, M., Ghaffar, O., Nyberg, L. & Tulving, E. (2000). Prefrontal cortex and episodic memory retrieval failure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *97*, 506–511.
- Li, K. Z. H., Lindenberger, U., Freund, A. M. & Baltes, P. B. (2001). Walking while memorizing: Age-related differences in compensatory behavior. *Psychological Science*, *12*, 230–237.
- Li, S.-C., Lindenberger, U. & Sikström, S. (2001). Aging cognition: From neuromodulation to representation. *Trends in Cognitive Science*, *5*, 479–486.
- 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 & M. Markowitsch (Eds.), *Cognitive neuroscience of memory* (pp. 104–146). Toronto: Hogrefe & Huber.
- Li, S.-C., Lindenberger, U. & Frensch, P. A. (2000). Unifying cognitive aging: From neuromodulation to representation to cognition. *Neurocomputing*, *32–33*, 879–890.
- Li, S.-C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W. & Baltes, P. B. (2004). Transformations in the couplings among intellectual abilities and constituent cognitive processes across the life span. *Psychological Science*, *15*, 155–163.
- Lindenberger, U. (2001). Lifespan theories of cognitive development. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International encyclopedia of the social and behavioral sciences* (pp. 8848–8854). Amsterdam, NL: Elsevier Science.
- Lindenberger, U. (2002a). Erwachsenenalter und Alter. In R. Oerter & L. Montada (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (S. 350–391). Weinheim: Psychologie Verlags Union.

- Lindenberger, U. (2002b). *Life-span psychology: Co-construction of neural mechanisms and intelligent environments*. Unveröffentlichtes Manuskript. Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Lindenberger, U. & Baltes, P. B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age: A powerful connection. *Psychology and Aging, 9*, 339–355.
- Lindenberger, U. & Baltes, P. B. (1995). Kognitive Leistungsfähigkeit im hohen Alter: Erste Ergebnisse aus der Berliner Altersstudie. *Zeitschrift für Psychologie, 203*, 283–317.
- 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. & Baltes, P. B. (1999). Die Entwicklungspsychologie der Lebensspanne (Lifespan-Psychologie): Johann Nicolaus Tetens zu Ehren (1736–1807). *Zeitschrift für Psychologie, 207*, 299–323.
- Lindenberger, U., Li, S.-C. & Brehmer, Y. (2002). La variabilité dans le vieillissement comportemental: Conséquence et agent du changement ontogénétique. In J. Lautrey & B. Mazoyer & P. v. Geert (Eds.), *Invariants et variabilités dans les sciences cognitives*. Paris: Presses de la MSH.
- 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., Mayr, U. & Kliegl, R. (1993). Speed and intelligence in old age. *Psychology and Aging, 8*, 207–220.
- 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.
- Lindenberger, U., Singer, T. & Baltes, P. B. (2002). Longitudinal selectivity in aging populations: Separating mortality-associated versus experimental components in the Berlin Aging Study (BASE). *Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 57B*, P474–P482.
- Lindenberger, U. & von Oertzen, T. (in press). Variability in cognitive aging: From taxonomy to theory. In F. I. M. Craik & E. Bialystok (Eds.), *Life-span cognition: Mechanisms of change*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Lövdén, M. & Lindenberger, U. (in press). Development of intellectual abilities in old age: From age gradients to individuals. In O. Wilhelm & R. W. Engle (Eds.), *Understanding and measuring intelligence*. Thousand Oaks, CA: Sage
- Loftus, G. R. (1978). On interpretation of interactions. *Memory and Cognition, 6*, 312–319.
- Madden, D. J., Blumenthal, J. A., Allen, P. A. & Emery, C. F. (1989). Improving aerobic capacity in healthy older adults does not necessarily lead to improved cognitive performance. *Psychology and Aging, 4*, 307–320.
- Markowitsch, H. J. (1999). Gestalt view of the limbic system and the Papez circuit – another approach to unity and diversity of brain structures and functions. *Behavioral and Brain Sciences, 22*, 459–460.
- Martin, G. M. (2002). Gene action in the aging brain: An evolutionary biological perspective. *Neurobiology of Aging, 23*, 647–654.
- Maylor, E. A. & Wing, A. M. (1996). Age differences in postural stability are increased by additional cognitive demands. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 51B*, P143–P154.

- Mayr, U. (2001). Age differences in the selection of mental sets: The role of inhibition, stimulus ambiguity, and response-set overlap. *Psychology and Aging, 16*, 96–109.
- Mayr, U. & Kliegl, R. (1993). Sequential and coordinative complexity: Age-based processing limitations in figural transformations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 19*, 1297–1320.
- 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 life-span data. *Learning and Individual Differences, 12*, 53–79.
- McCall, R. B. (1994). What process mediates predictions of childhood IQ from infant habituation and recognition memory? Speculations on the roles of inhibition and rate of information processing. *Intelligence, 18*, 107–125.
- McCall, R. M. & Carriger, M. S. (1993). A meta-analysis of infant habituation and recognition memory performance as predictors of later IQ. *Child Development, 64*, 57–79.
- McClearn, G. E. (2003). Combining molecular and quantitative genetics: Decomposing the architecture of lifespan development. In U. M. Staudinger & U. Lindenberger (Eds.), *Understanding human development: Dialogues with lifespan psychology* (pp. 361–379). Dordrecht, NL: Kluwer Academic.
- McClearn, G. E., Johansson, B., Berg, S., Pedersen, N. L., Ahern, F., Petrill, S. A. & Plomin, R. (1997). Substantial genetic influence on cognitive abilities in twins 80 or more years old. *Science, 276*, 1560–1563.
- McClelland, J. L. (1996). Integration of information: Reflections on the theme of Attention and Performance XVI. In I. Toshiu & J. L. McClelland (Eds.), *Attention and performance XVI* (pp. 633–656). Cambridge, MA: MIT Press.
- McGue, M., Bouchard, T. J. Jr., Iacono, W. G. & Lykken, D. T. (1993). Behavioral genetics of cognitive ability: A life-span perspective. In R. Plomin & G. E. McClearn (Eds.), *Nature, nurture, and psychology* (pp. 59–76). Washington, DC: American Psychological Association.
- Miller, E. K. & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience, 24*, 167–202.
- Minear, M., Shah, P. & Park, D. (2002, April). *Age, task switching, and transfer of training*. Paper presented at the Cognitive Aging Conference, Atlanta, GA.
- Mitrushina, M. & Satz, P. (1991). Stability of cognitive functions in young-old versus old-old individuals. *Brain Dysfunction, 4*, 174–181.
- Molenaar, P. C. M. (1985). A dynamic factor model for the analysis of multivariate time series. *Psychometrika, 50*, 181–202.
- Molenaar, P. C. M., Boomsma, D. I. & Dolan, C. V. (1991). Genetic and environmental factors in a developmental perspective. In D. Magnusson & L. R. Bergman & G. Rudinger & B. Törestad (Eds.), *Problems and methods in longitudinal research: Stability and change* (pp. 250–273). Cambridge, UK: Cambridge University.
- Molenaar, P. C. M., Huizenga, H. M. & Nesselroade, J. R. (2003). The relationship between the structure of interindividual and intraindividual variability: A theoretical and empirical vindication of developmental systems theory. In U. M. Staudinger & U. Lindenberger (Eds.), *Un-*

- derstanding human development: Dialogues with lifespan psychology* (pp. 339–360). Dordrecht, NL: Kluwer Academic.
- Moscovitch, M. & Winocur, G. (1992). The neuropsychology of memory and aging. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 315–372). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Nesselroade, J. R. & Molenaar, P. C. M. (1999). Pooling lagged covariance structures based on short, multivariate time-series for dynamic factor analysis. In R. H. Hoyle (Ed.), *Statistical strategies for small sample research*. Newbury Park, CA: Sage.
- Nesselroade, J. R. & Schmidt McCollam, K. M. (2000). Putting the process in developmental processes. *International Journal of Behavioral Development*, 24, 295–300.
- Neubauer, A. (1995). *Intelligenz und Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung*. Wien: Springer.
- Nieuwenhuis, S., Ridderinkhof, K. R., Talsma, D., Coles, M. G. H., Holroyd, C. B., Kok, A. & van der Molen, M. W. (2002). A computational account of altered error processing in older age: Dopamine and the error-related negativity. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 2, 19–36.
- 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.
- Oberauer, K. & Kliegl, R. (2001). Beyond resources: Formal models for complexity effects and age differences in working memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, 187–215.
- 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* (2nd ed., pp. 91–153). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Rabbitt, P., Diggle, P., Smith, D., Holland, F. & Innes, L. M. (2001). Identifying and separating the effects of practice and of cognitive ageing during a large longitudinal study of elderly community residents. *Neuropsychologia*, 39, 532–543.
- Rakic, P. (1995). Corticogenesis. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 127–145). Cambridge, MA: MIT Press.
- Ratcliff, R., Spieler, D. H. & McKoon, G. (2000). Explicitly modeling the effects of aging on response time. *Psychonomic Bulletin and Review*, 7, 1–25.
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (2nd ed., pp. 1–90). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Reinert, G., Baltes, P. B. & Schmidt, L. R. (1966). Kritik einer Kritik der Differenzierungshypothese der Intelligenz. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 13, 602–610.
- Ribot, T. (1882). *Diseases of memory*. New York, NY: Appleton.
- Rybash, J. M., Hoyer, W. J. & Rodin, P. A. (1986). *Adult cognition and aging: Developmental changes in processing, knowing and thinking*. Elmsford, NY: Pergamon.
- Salthouse, T. A. (1991a). Expertise as the circumvention of human processing limitations. In K. A. Ericsson & J. Smith (Eds.), *Towards a general theory of expertise: Prospects and limits* (pp. 286–300). New York, NY: Cambridge University.
- Salthouse, T. A. (1991b). *Theoretical perspectives on cognitive aging*. Hilldale, NJ: Erlbaum.

- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, *103*, 403–428.
- Salthouse, T. A. (2003). Interrelations of aging, knowledge, and cognitive performance. In U. M. Staudinger & U. Lindenberger (Eds.), *Understanding human development: Dialogues with lifespan psychology* (pp. 265–287). Dordrecht, NL: Kluwer Academic.
- Salthouse, T. A. & Czaja, S. (2000). Structural constraints on process explanations in cognitive aging. *Psychology and Aging*, *15*, 44–55.
- Salthouse, T. A. & Meinz, E. J. (1995). Aging, inhibition, working memory, and speed. *Journals of Gerontology: Psychological Sciences*, *50B*, P297–P306.
- Salvendy, G. (Ed.). (1997). *Handbook of human factors and ergonomics* (2nd ed.). New York, NY: Wiley.
- Scarr, S. & McCartney, K. (1983). How people make their own environment: A theory of genotype-environment effects. *Child Development*, *54*, 424–435.
- Schaie, K. W. (1962). A field-theory approach to age changes in cognitive behavior. *Vita Humana*, *5*, 129–141.
- Schaie, K. W. (1996). *Intellectual development in adulthood: The Seattle Longitudinal Study*. New York, NY: 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. (2002). *Disentangling general and specific factors of cognitive abilities in old age. Towards an alternative representation of individual differences in age-heterogeneous cross-sectional data*. Unveröffentlichte Dissertation, Freie Universität Berlin und Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Berlin.
- 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.
- Singer, W. (1995). Development and plasticity of cortical processing architectures. *Science*, *270*, 758–764.
- Sliwinski, M., Lipton, R. B., Buschke, H. & Stewart, W. (1996). The effects of preclinical dementia on estimates of normal cognitive functioning in aging. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, *50B*, P162–P170.
- Smith, E. E. & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, *283*, 1657–1661.
- Spearman, C. E. (1927). *The abilities of man*. New York, NY: Macmillan.
- Spencer, W. D. & Raz, N. (1995). Differential effects of aging on memory for content and context: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, *10*, 527–539.
- Staudinger, U. M. & Lindenberger, U. (Eds.). (2003). *Understanding human development: Dialogues with lifespan psychology*. Dordrecht, NL: Kluwer Academic.
- Staudinger, U. M., Marsiske, M. & Baltes, P. B. (1995). Resilience and levels of reserve capacity in later adulthood: Potentials and limits of development across the life span. In D. Chicchetti &

- D. Cohen (Eds.), *Developmental psychopathology. Vol. 2: Risk, disorder, and adaptation* (pp. 801–847). New York, NY: Wiley.
- 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 Neely, A. & Bäckman, L. (1993). Long-term maintenance of gains from memory training in older adults: Two 3 1/2 years follow-up studies. *Journals of Gerontology: Psychological Sciences*, 48, P233–P237.
- Teasdale, N., Bard, C., LaRue, J. & Fleury, M. (1993). On the cognitive penetrability of posture control. *Experimental Aging Research*, 19, 1–13.
- Tetens, J. N. (1777). *Philosophische Versuche über die menschliche Natur und ihre Entwicklung*. Leipzig: Weidmanns Erben und Reich.
- Thaler, D. S. (2002). Design for an aging brain. *Neurobiology of Aging*, 23, 13–15.
- Thapar, A., Ratcliff, R. & McKoon, G. (2003). A diffusion model analysis of the effects of aging on letter discrimination. *Psychology and Aging*, 18, 415–429.
- Thorndike, E. L. (1906). Chapter XV: Formal discipline. In E. L. Thorndike (Ed.), *The principles of teaching based on psychology* (pp. 235–256). New York, NY: Seiler.
- Tooby, J. & Cosmides, L. (1995). Mapping the evolved functional organization of mind and brain. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 1185–1197). Cambridge, MA: MIT.
- van Praag, H., Kempermann, G. & Gage, F. H. (1999). Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus. *Nature Neuroscience*, 2, 266–270.
- 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.
- Verhaeghen, P. & Salthouse, T. A. (1997). Meta-analyses of age-cognition relations in adulthood: Estimates of linear and nonlinear age effects and structural models. *Psychological Bulletin*, 122, 231–249.
- Volkow, N. D., Logan, G. D., Fowler, J. S., Wang, G. J., Gur, R. C., Wong, C., Felder, C., Gatley, J., Ding, Y.-S., Hitzemann, R. & Pappas, N. (2000). Association between age-related decline in brain dopamine activity and impairment in frontal and cingulate metabolism. *American Journal of Psychiatry*, 157, 75–80.
- Wahlster, W., Baus, J., Kray, C. & Krüger, A. (2001). REAL: Ein ressourcenadaptierendes mobiles Navigationssystem. *Informatik Forschung und Entwicklung*, 16, 1–10.
- Weinert, F. E. (1983). Gedächtnistraining – Übung von Lernstrategien. *Universitas*, 38, 157–164.
- Wellman, H. M. & Gelman, S. A. (1992). Cognitive development: Foundational theories of core domains. *Annual Review of Psychology*, 43, 337–375.
- Wheeler, M. A., Stuss, D. T. & Tulving, E. (1997). Toward a theory of episodic memory: The frontal lobes and auto-noetic consciousness. *Psychological Bulletin*, 121, 331–354.

Kognitive Entwicklung

341

- Wickett, J. C. & Vernon, P. A. (1994). Peripheral nerve conduction velocity, reaction time, and intelligence: An attempt to replicate Vernon and Mori (1992). *Intelligence, 18*, 127–131.
- Willis, S. L. & Nesselroade, C. S. (1990). Long-term effects of fluid ability training in old-old age. *Developmental Psychology, 26*, 905–910.
- Wilson, R. S., Beckett, L. A., Barnes, L. L., Schneider, J. A., Back, J., Evans, D. A. & Bennett, D. A. (2002). Individual differences in rates of change in cognitive abilities in older persons. *Psychology and Aging, 17*, 179–193.
- Winter, D. A. (1991). *The biomechanics and motor control gait: Normal, elderly, and pathological* (2nd ed.). Waterloo, Canada: University of Waterloo Press.
- 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.