

**Originalia**

# Intellektuelle Entwicklung über die Lebensspanne: Überblick und ausgewählte Forschungsbrennpunkte

Ulman Lindenberger

**Zusammenfassung.** Aus der Perspektive des Zweikomponentenmodells der Kognitionsontogenese, das der biologischen *Mechanik* die kulturell geformte *Pragmatik* gegenüberstellt, wird die intellektuelle Entwicklung über die Lebensspanne nachgezeichnet. Besonders berücksichtigt werden folgende Gegenstände: (a) Formen der Abhängigkeit zwischen mechanischer und pragmatischer Entwicklung; (b) ontogenetische Veränderungen in relativer Stabilität, Heritabilität und Differenzierung intellektueller Fähigkeiten; (c) historische und ontogenetische Plastizität des Leistungsniveaus; (d) die Purifizierung der Messung von Altersunterschieden in der Mechanik; und (e) die Suche nach basalen Determinanten der mechanischen Entwicklung. Plädiert wird für eine Konzeptualisierung intellektueller Entwicklung, die bereichsspezifische und übergreifende Aspekte gleichermaßen berücksichtigt.

Schlüsselwörter: Lebensspanne, Entwicklung, Altern, Intelligenz, Kognition, Kindheit, Erwachsenenalter, Alter, Forschungsmethoden

## Intellectual development across the lifespan: Overview and research perspectives

**Abstract.** Informed by the distinction between biology-based mechanics and cultural pragmatics, this article summarizes intellectual development from a lifespan perspective. Topics include: (a) varieties of mechanic-pragmatic interdependence; (b) ontogenetic changes in relative stability, heritability, and factor structure differentiation; (c) historical and ontogenetic plasticity of intellectual performance; (d) age differences in the mechanics of cognition: purification of measurement; and (e) the search for basic determinants of age changes in the mechanics of cognition. It is argued that a valid conceptualization of intellectual development needs to do justice to both domain-general and domain-specific aspects of change.

Keywords: lifespan, development, intelligence, cognition, childhood, adulthood, old age, research methods

Die Entwicklungspsychologie der Lebensspanne verknüpft allgemeine Aussagen über die Struktur des Lebenslaufs mit funktions- und altersspezifischen entwicklungspsychologischen Forschungsprogrammen (P. Baltes, Staudinger & Lindenberger, 1999; Lindenberger & Baltes, in Druck). Die daraus resultierende konzeptuelle Integration disparater Perspektiven und Befunde kann auf die verknüpften Forschungsprogramme zurückwirken, indem das dort erzeugte Wissen in übergreifende Zusammenhänge gestellt sowie zur Erforschung neuer oder vernachlässigter Themen angeregt wird. Diese Dynamik zwischen allgemeinem Interpretationsrahmen und spezifischen Forschungsfragen wird im folgenden am Beispiel der intellektuellen Entwicklung dargestellt.

## Das Zweikomponentenmodell der intellektuellen Entwicklung

Das Zweikomponentenmodell der intellektuellen Entwicklung (P. Baltes, 1997; P. Baltes, Lindenberger &

[Staudinger, 1998](#)) stellt der primär biologisch determinierten *Mechanik* der Kognition die kulturell geprägte *Pragmatik* gegenüber. Die Mechanik der Kognition besteht in der phylogenetisch entstandenen und sich ontogenetisch entfaltenden Grundstruktur des Gehirns. Hingegen verweist die Pragmatik auf kulturell bestimmtes und individuell erworbenes Wissen. Das Modell verortet intellektuelle Entwicklung in einem System biologischer und kultureller Vererbung. Das ontogenetische Skript dieser Architektur zeichnet sich durch drei Prinzipien aus: (a) Abnahme des biologischen Potentials; (b) Zunahme des Bedarfs an Kultur zur Aufrechterhaltung adaptiver Leistungen; (c) Abnahme des Wirkungsgrads kultureller Faktoren.

Empirisch stützt sich das Zweikomponentenmodell vor allem auf die wohlbekanntere Unterscheidung zwischen altersresistenten und altersvulnerablen intellektuellen Fähigkeiten. Leistungen in Aufgaben, deren Schwierigkeit in erster Linie auf die Mechanik der Kognition zurückgeht und die sich intellektuellen Fähigkeiten wie zum Beispiel dem Denkvermögen (im Sinne von Induktion und Deduktion), dem räumlichem Vorstellungsvermögen oder der Wahrnehmungsgeschwindigkeit zuordnen lassen, 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 Gegensatz hierzu weisen Leistungen in Aufgaben, die das Niveau von Fertigkeiten (z.B. Kopfrechnen) und die Größe und Qualität deklarativer Wissensbestände (z.B. Wortschatz) erfassen, einen langsameren Anstieg im Kindes- und Jugendalter sowie stabile oder weiterhin positive Altersbeziehungen bis ins späte Erwachsenenalter, die im hohem Alter in negative Beziehungen übergehen.

Historisch und konzeptuell steht das Zweikomponentenmodell in einem engen Bezug zur Theorie fluider (*Gf*) und kristalliner (*Gc*) Fähigkeiten nach [Cattell \(1971\)](#) und [Horn \(1989\)](#) sowie zur Unterscheidung zwischen absoluten und relativen Vermögen im Werk des Philosophen und Psychologen Johann Nicolaus Tetens (s.a. [Lindenberger & Baltes, 1999](#)). Während die *Gf/Gc*-Theorie den Rahmen der psychometrischen Forschungstradition selten verläßt, besteht der theoretische Anspruch des Zweikomponentenmodells darin, die psychometrisch erfaßten entwicklungspsychologischen Befunde mit kognitions-, evolutions- und kulturpsychologischen sowie entwicklungsbiologischen Erkenntnissen zu verbinden.

Im folgenden werden die Mechanik und Pragmatik der Kognition sowie ihre wechselseitigen Beziehungen zunächst in drei getrennten Abschnitten näher bestimmt. Anschließend werden Befunde zu zentralen Themen der intellektuellen Entwicklung über die Lebensspanne vor dem Hintergrund des Modells zusammengefaßt und erläutert.

## Die Mechanik der Kognition

Die Qualität der kognitiven Mechanik definiert sich durch die Geschwindigkeit, Genauigkeit und Koordination elementarer kognitiver Prozesse, wie sie zum Beispiel in Aufgaben des sensorischen und motorischen Gedächtnisses, der selektiven Aufmerksamkeit, des assoziativen Lernens, des Diskriminationslernens, der Kategorisierung sowie beim Denken und Problemlösen in sehr vertrauten oder gänzlich neuen Wissensbereichen zum Ausdruck kommen. Das vorherrschende ontogenetische Muster der Mechanik ist Zuwachs, Stabilität und Abbau. In der Embryogenese, dem Säuglingsalter und der frühen Kindheit reflektieren die Altersveränderungen der Mechanik vorwiegend die Entfaltung und aktive Konstruktion von mehr oder minder bereichsspezifischen und genetisch prädisponierten Fähigkeiten ([Wellman & Gelman, 1992](#)). Hingegen sind die ontogenetisch späten, negativen Altersveränderungen der Mechanik der Kognition den gehirnbezogenen Konsequenzen der nachlassenden Wirksamkeit des phylogenetischen Selektionsdrucks sowie weiteren altersbezogenen Dysfunktionen geschuldet. Der Schwerpunkt dieser Übersicht liegt auf der mechanischen Komponente der intellektuellen Entwicklung (für Näheres zur Pragmatik, siehe [Staudinger & Pasupathi, in Druck](#)).

## Die Pragmatik der Kognition

Im Gegensatz zur Mechanik lenkt die Pragmatik der Kognition die Aufmerksamkeit der Lebensspannenpsychologie auf die im Laufe der Ontogenese zunehmende Bedeutung wissensbasierter intellektueller Leistungen. Pragmatisches Wissen ist, per definitionem, kulturell verankert und wird sowohl internal (z.B. in semantischen Netzwerken) als auch external (z.B. in Büchern) repräsentiert. Entwicklungsveränderungen in der Pragmatik reflektieren somit den Erwerb kulturell verankerter Bestände deklarativen und prozeduralen Wissens, die den Individuen im Verlauf der Sozialisation zugänglich gemacht werden. Einige der dem Erwerb pragmatischen Wissens dienenden 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).

Individuelle 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 gemäß der ursprünglichen Formulierung der *Gf/Gc*-Theorie während der Schulzeit und in späteren Abschnitten der Ontogenese fluide Fähigkeiten (d.h. ihr "mechanisches" kognitives Potential) in allgemein relevante Wissensbereiche. Die dabei entstehenden normativ-pragmatischen Wissensbestände werden als kristalline Fähigkeiten bezeichnet. Aufgrund der Investitionsbeziehung ist zu erwarten, daß fluide Fähigkeiten stärker als kristalline mit dem gegenwärtigen Leistungsniveau des Gehirns, kristalline Fähigkeiten hingegen stärker als fluide mit soziobiographischen Faktoren verknüpft sind. Die Daten der Berliner Altersstudie belegen, daß dieses divergente Korrelationsmuster auch im hohen Alter zu beobachten ist (siehe [Abbildung 1](#)).

Personenspezifisches Wissen zweigt von normativen Pfaden des Wissenserwerbs ab und stellt idiosynkratische Kombinationen aus Erfahrung, Persönlichkeit, Motivation, Handlungskontrollerleben und bereichsspezifischer Begabung dar. Aufgrund ihrer relativ geringen Verallgemeinerbarkeit entgehen diese Wissensbestände zumeist einer psychometrischen Operationalisierung und sind eher im Rahmen des Expertise-Paradigmas erfaßbar ([Ericsson & Lehmann, 1996](#)).

## **Mechanik und Pragmatik: Evolutionäre und ontogenetische Abhängigkeiten**

In jüngerer Zeit haben nativistisch orientierte Forschungen zur Säuglingsentwicklung die evolutionär vorstrukturierte Natur menschlicher Informationsverarbeitung hervorgehoben. Experimentalmethodische Innovationen der Säuglingsforschung haben deutlich gemacht, daß Säuglinge nicht als kognitive tabula rasa betrachtet werden können, wie dies durch extreme Versionen konstruktivistischer oder behavioristischer Theoriebildung nahegelegt wird. Vielmehr entwickeln Menschen, ähnlich wie Mitglieder anderer Arten, ihr Verhalten bereits vor der Geburt und beginnen ihr extrauterines Leben mit leistungsfähigen Lernmechanismen und bereichsspezifisch wirksamen Spezifikationen oder "constraints". Dies betrifft zum Beispiel Wahrnehmungsleistungen im Bereich der Sprache und des Gesichtererkennens sowie grundlegendes Wissen in physikalischen, biologischen und sozialen Bereichen. Die Pragmatik der Kognition baut auf diesen vorstrukturierten Kernbereichen auf, indem es sie, die spezifischen Erfordernisse von Kultur, Biographie und Kontext berücksichtigend, weiterentwickelt oder sich in Analogie zu diesen Kernbereichen herausbildet ([Siegler & Crowley, 1994](#)). Somit entstehen durch Prozesse der Erweiterung, des Anbaus und der analogen Konstruktion Wissensformen und Verhaltensmuster, die nicht als direkte Konsequenz des evolutionären Selektionsdrucks angesehen werden können.

Demnach sind Qualität und Funktion des Zusammenhangs zwischen Pragmatik und Mechanik selbst ontogenetischen Veränderungen unterworfen. Zum einen stellt die Pragmatik das Medium (d.h. den Inhalt) und, zumindest in der Kindheit, auch eine strukturelle Voraussetzung für die phänotypische Entfaltung der mechanischen Komponente dar. Zum anderen bestimmen reifungs- und altersbedingte Veränderungen im Zustand und Potential der Mechanik die Fähigkeit zum Erwerb pragmatischen Wissens sowie die Wahrscheinlichkeit, mit der einmal erworbenes Wissen erhalten und in bestimmten Kontexten eingesetzt werden kann. Für letzteres ist der Unterschied im Höchstleistungsalter zwischen Turnier- und Korrespondenzschach ein gutes Beispiel ([Bosman & Charness, 1996](#)). Das mittlere Alter, in dem Personen zum ersten Mal Weltmeister werden, beträgt zirka 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 also vermutlich die relative Wichtigkeit von kognitiver Geschwindigkeit und Schachwissen. Generell läßt sich sagen, daß Unterschiede im Höchstleistungsalter zwischen Fertigkeiten als ontogenetische Kompromisse zwischen der zum Fertigkeitserwerb benötigten Zeit und dem altersbedingten Nachlassen der Mechanik angesehen werden können.

Zugleich zeigen die Arbeiten im Rahmen des Expertiseparadigmas, daß und in welcher Weise die Pragmatik der Kognition intellektuelle Leistungen in wissensreichen und evolutionär nichtprivilegierten Bereichen zu steigern vermag. So schwächt pragmatisches Wissen die Auswirkungen mechanischer Leistungsgrenzen auf das Verhalten ab und setzt sie in einigen Fällen nahezu vollständig außer Kraft ([Gobet & Simon, 1996](#)). Folglich verlagert sich das Potential intellektuellen Zugewinns und Leistungserhalts im Laufe des Lebens zunehmend auf die selektive Pflege und kompensatorische Erweiterung wertgeschätzter und lebenswichtiger Wissensbestände ([M. Baltes & Carstensen, 1996](#)).

## Relative Stabilität intellektueller Leistungen über die Lebensspanne

Die folgenden drei Abschnitte dienen der Betrachtung von Entwicklungsveränderungen in drei Aspekten psychometrisch erfaßter Intelligenz: (a) Veränderungen in der *relativen Stabilität* oder dem Ausmaß, in dem interindividuelle Unterschiede in späteren durch interindividuelle Unterschiede in früheren Abschnitten der Ontogenese vorhergesagt werden können; (b) Veränderungen in der *Heritabilität* oder dem Ausmaß, in dem interindividuelle Unterschiede in intellektuellen Leistungen auf genetische Unterschiede zurückgehen; (c) Veränderungen im Ausmaß der *Kovariation* zwischen verschiedenen intellektuellen Fähigkeiten oder im Ausprägungsgrad des Generalfaktors der Intelligenz. Es wird argumentiert, daß die gemeinsame Betrachtung der Entwicklungsveränderungen in diesen drei Aspekten zu einem besseren Verständnis der Ontogenese intellektueller Leistungen beizutragen vermag (vgl. [Cardon & Fulker, 1994](#)). Auf den Versuch, eine stringente Theorie der Zusammenhänge zu entwickeln, wird an dieser Stelle verzichtet.

Einschränkend sei vorausgeschickt, daß der Großteil der Befunde zur relativen Stabilität nach dem Säuglingsalter auf unspezifischen Maßen intellektueller Leistungsfähigkeit basiert (d.h. sogenannten IQ-Tests). Die Undifferenziertheit dieser Maße verdeckt strukturelle Eigenschaften der intellektuellen Entwicklung; sie stellen Konglomerate mechanischer und normativ-pragmatischer Komponenten dar, die unterschiedlich weit vom Generalfaktor der Intelligenz (d.h. vom Spearman'schen *g* oder dem Zentrum des Raums intellektueller Fähigkeiten) entfernt sind.

## Verhalten im Säuglingsalter als Prädiktor intellektueller Leistungsfähigkeit

Im Gegensatz zu früheren Befunden mit standardisierten Maßen der Säuglingsentwicklung haben neuere Arbeiten mit Habituations- und Wiedererkennungsparadigmen ein beachtliches Ausmaß an relativer Stabilität zwischen Säuglingsverhalten und Intelligenz im Kindesalter zum Vorschein gebracht. Beide Paradigmen gehen auf die theoretischen Perspektiven des operanten Konditionierens und des Informationsverarbeitungsansatzes zurück und beziehen sich auf die Tendenz von Säuglingen, ihr Verhalten in Abhängigkeit früherer Begegnungen mit dem experimentellen Reiz zu verändern (z.B. Nachlassen der Aufmerksamkeit im Falle der Habituation oder Bevorzugung neuer Stimuli im Falle der Wiedererkennung). Im allgemeinen sind individuelle Unterschiede im Habituations- und Wiedererkennungsverhalten im Alter zwischen zwei und acht *Monaten* moderat mit Standardtests der Intelligenz (z.B. Wechsler, Bayley oder Binet) korreliert, die im Alter zwischen einem und acht *Jahren* verabreicht werden (Median der Korrelationen:  $r = .45$ ; nach Reliabilitätskorrektur:  $r = .70$ ; vgl. [McCall & Carriger, 1993](#)).

Zur Erklärung der Existenz relativer Stabilität zu Beginn der Ontogenese ist unter anderem der Vorschlag gemacht worden, daß Säuglinge, die schneller habituierten bzw. eine stärkere Präferenz für das neue Objekt zeigen, eher in der Lage sind, Handlungstendenzen, die mit bereits bestehenden Repräsentationen verknüpft sind, zu hemmen. Diese Annahme entspricht der Vorstellung, daß Inhibition und Bevorzugung des Neuen entwicklungsübergreifende Merkmale der Intelligenz darstellen.

## Relative Stabilität nach dem Säuglingsalter

Aus noch unbekanntem Gründen bleibt die Höhe der Korrelation zwischen Maßen des Habitationsverhaltens im Säuglingsalter (d. h. 2 bis 8 Monate) und Maßen der Intelligenz im Kindesalter (d.h. 1 bis 12 Jahre) ontogenetisch stabil oder nimmt mit größerem zeitlichen Abstand sogar noch zu. Im Gegensatz hierzu läßt sich relative Stabilität nach dem Säuglingsalter gut als ein sogenannter Quasisimplex beschreiben, das heißt, die Korrelation zwischen den Messungen nimmt mit zunehmendem zeitlichen (d.h. ontogenetischen) Abstand zwischen den Messungen ab. Zugleich nimmt die Höhe von Korrelationen, die sich auf denselben Zeitraum zwischen Meßzeitpunkten beziehen, 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 wären nahe bei 1.0.

Die beobachteten Veränderungen der relativen Stabilität über die Lebensspanne können im Kontext der gleichzeitig erfolgenden Veränderungen im Niveau der intellektuellen Leistungsfähigkeit interpretiert werden (vgl. [Molenaar, Bosman & Dolan, 1991](#)). Nach dieser Vorstellung 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. Diese Überlegung führt zu der komplementären Vorhersage, daß es im hohen Alter nicht nur zu Rückgängen im Niveau der intellektuellen Leistungsfähigkeit, sondern auch zu einer partiellen Neuordnung individueller Unterschiede kommen sollte ([Lindenberger & Baltes, 1994](#)).

## Heritabilität

Eine detaillierte Darstellung der Verhaltensgenetik einschließlich ihrer Beziehungen zur Molekulargenetik sowie ihrer Rolle bei der Erforschung von Entwicklungspathologien kann an dieser Stelle nicht erfolgen. Statt dessen geht es um Altersveränderungen in der Heritabilität intellektueller Leistungen in normalen Stichproben. Um Mißverständnisse zu vermeiden, sei daran erinnert, daß sich Heritabilitätskoeffizienten auf das Ausmaß beziehen, in dem individuelle Unterschiede in einem Verhaltensmerkmal mit interindividuellen Unterschieden in der genetischen Ausstattung zusammenhängen. Sie enthalten also keine direkten Informationen über Mechanismen der Genexpression und variieren in Abhängigkeit von der relativen Größe umweltbedingter und genetischer Varianzquellen. Außerdem werden keine Einflüsse berücksichtigt, die die Leistungen aller Mitglieder der Population *in gleicher Weise* verändern.

Genetisch bedingte individuelle Unterschiede kommen unmittelbar in der Mechanik zum Ausdruck; doch können sie sich, vermittelt durch die Investmentbeziehung der Mechanik zur Pragmatik auch auf die Pragmatik auswirken. Ähnlich wie die relative Stabilität nimmt auch die Heritabilität zu, mit Werten von 40% bis 50% während der Kindheit und der Jugend bis zu Werten um 80% im mittleren Erwachsenenalter ([McGue et al., 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 stützt die Vermutung, daß Jugendliche und Erwachsene eher als Kinder die Möglichkeit haben, Umwelten zu selektieren, die ihrem genetischen Potential entsprechen (vgl. [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 auf einen (nach wie vor hohen) Wert von 60% zurückgeht ([McClearn et al., 1997](#)).

Die vorangegangenen Zusammenfassungen legen den Schluß nahe, daß relative Stabilität und Heritabilität sich in ähnlicher Weise über die Lebensspanne verändern. Zum besseren Verständnis der Kovarianzdynamik dieser Parallelität bedarf es längsschnittlich und multivariat angelegter verhaltensgenetischer Untersuchungen über die gesamte Lebensspanne. So wäre es möglich, daß die relative Stabilität intellektueller Leistungen im mittleren Erwachsenenalter deswegen extrem hoch ist, weil sich die genetischen Varianzquellen auf hohem Niveau stabilisiert haben (d.h. der relative Anteil an genetischen Varianzquellen ist hoch, und es kommt nur wenig neue genetische Varianz über die Zeit hinzu) und weil die Umweltbedingungen (deren Unterschiedlichkeit mit genetischen Unterschieden korreliert ist) in diesem Lebensabschnitt ebenfalls eine relativ hohe Stabilität aufweisen. In ähnlicher Weise könnte die aufgrund des weniger wirksamen Selektionsdrucks nachlassende Koordination der Genexpression im hohen Alter zu Abnahmen in der relativen Stabilität, der Heritabilität und des Leistungsniveaus führen. Paradoxerweise würde ein derartiger Zusammenbruch der Genexpression, sofern er nicht mit genetischen interindividuellen Unterschieden korreliert ist, in verhaltensgenetischen Versuchsplänen als Zunahme personenspezifischer *Umweltfaktoren* (nonshared environmental variance) zutage treten.

## Fähigkeitsstruktur

Gemäß der Differenzierungshypothese der Intelligenz oder des von [Spearman \(1927\)](#) erklärten "Gesetzes der nachlassenden Gewinne" steht das Ausmaß an positiver Kovariation zwischen intellektuellen Fähigkeiten, das heißt die relative Bedeutung des Generalfaktors, in inverser Beziehung

zum durchschnittlichen Fähigkeitsniveau einer Population. Das Ausmaß an Kovariation nimmt demnach mit zunehmenden Leistungsniveau ab. Diese Hypothese beruht zum Teil auf der Vorstellung, daß niedrige Leistungen vorwiegend durch ein Ensemble bereichsübergreifender Faktoren verursacht werden, hohe Leistungen hingegen ein intaktes kognitives System voraussetzen und vorwiegend durch bereichsspezifische Bedingungen begrenzt werden. Aus entwicklungspsychologischer Sicht legt die Differenzierungshypothese nahe, daß die Bedeutung des Generalfaktors während Kindheit und früher Jugend in Folge der Reifung und Ausdifferenzierung des Gehirns sowie im Zuge des Erwerbs bereichsspezifischer Wissensbestände nachläßt, vom späten Jugendalter bis ins späte Erwachsenenalter relativ konstant bleibt und im hohen Alter aufgrund der Zunahme umfassender Begrenzungen der Effizienz der Informationsverarbeitung erneut zunimmt.

Befunde aus dem Kindesalter (Deary et al., 1996) und dem hohen Alter (Lindenberger & Baltes, 1997) stützen die Differenzierungs-Dedifferenzierungs-Hypothese. Besonders deutlich sind die Befunde der Berliner Altersstudie für das hohe Alter (P. Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994, 1997). Im einzelnen konnte gezeigt werden: (a) Die querschnittlichen Altersgradienten mechanischer und normativ-pragmatischer intellektueller Fähigkeiten konvergieren im hohen Alter und ergeben ein Bild des generalisierten linearen Leistungsrückgangs (*Richtungsdedifferenzierung*). (b) Die Interkorrelationen intellektueller Fähigkeiten sind im hohen Alter deutlich höher und gleichförmiger als im Erwachsenenalter (*intrasystemische Kovarianzdedifferenzierung*). (c) Basale sensorische und sensomotorische Fähigkeiten, die ebenfalls deutliche altersbedingte Einbußen zeigen, weisen im hohen Alter wesentlich stärkere korrelative Beziehungen zu intellektuellen Fähigkeiten auf als im Erwachsenenalter (P. Baltes & Lindenberger, 1997) (*intersystemische Kovarianzdedifferenzierung*). Gemäß der Dedifferenzierungshypothese kommt in der Gleichzeitigkeit dieser drei Befunde die wichtige Rolle übergreifender Alterungsprozesse des Gehirns zum Ausdruck. Zur Überprüfung dieser Interpretation bedarf es multivariat-längsschnittlicher Folgeanalysen, quasi-experimenteller Untersuchungen sowie der formalen Simulation des Zusammenhangs zwischen Leistungsniveau, Varianz und Kovarianz (Li & Lindenberger, 1999; Lindenberger, in Druck-b).

## Historische und ontogenetische Plastizität

Veränderungen in intellektuellen Leistungen über die Lebensspanne können als Antezedens, Korrelat und Folge einer Vielzahl unterschiedlicher Einflußgrößen fungieren. Aufgrund 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 können ganze Gesellschaften betreffen (z.B. Verbesserungen in der Ernährung), andere sind auf kleine Personengruppen beschränkt und erfordern wesentlich weniger Zeit (z.B. kognitive Interventionsstudien).

## Kohorteneffekte, Periodeneffekte und gesellschaftlicher Wandel

Altersgradienten intellektueller Fähigkeiten werden durch Einflußsysteme historischer Art moduliert, so zum Beispiel durch zeitlich stabile Unterschiede zwischen Personen unterschiedlicher Geburtsjahrgänge (*Kohorteneffekte*), durch den spezifischen Einfluß bestimmter historischer Ereignisse über alle Altersgruppen hinweg (*Periodeneffekte*) sowie durch generelle und zeitlich ausgedehnte Veränderungen in den Umweltbedingungen, die alle Mitglieder der Gesellschaft sowie die nachfolgenden Generationen betreffen (*gesellschaftlicher Wandel*). Es ist methodisch schwierig, den Einfluß dieser drei Größen zu bestimmen (P. Baltes, 1968; Erdfelder, Rietz & Rudinger, 1996).

Ein erster Schritt zur Bestimmung von Wirkungen des generellen gesellschaftlichen Wandels besteht in dem Vergleich von Personen desselben chronologischen Alters zu verschiedenen historischen Zeitpunkten. Mit einigen Ausnahmen (z.B. Kopfrechnen; vgl. Schaie, 1996), ergeben derartige Vergleiche durchweg, daß in jüngeren Zeiten höhere Leistungen erzielt werden. 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 führten querschnittliche Altersvergleiche

und solche unabhängiger Stichproben identischer Geburtsjahrgänge bei statistischer Kontrolle von Effekten des gesellschaftlichen Wandels zu äußerst ähnlichen Schätzungen durchschnittlicher Altersveränderungen (Salthouse, 1991). Dieses Ergebnis stand 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. Die Konvergenz zwischen den querschnittlichen Ergebnissen und Befunden, die auf unabhängigen Stichproben identischer Geburtsjahrgänge beruhen, sowie die Diskrepanz dieser Ergebnisse zu genuin längsschnittlichen Befunden deuten darauf hin, daß die positive Abweichung der längsschnittlich beobachteten Verläufe zumindest teilweise auf Übungeffekte und selektiven Stichprobenausfall zurückzuführen ist. Längsschnittliche Untersuchungen, deren Wert zur Identifikation von interindividuellen Unterschieden intraindividuell Veränderungen unbestritten ist, führen also nicht unbedingt zu genaueren Schätzungen der durchschnittlichen Größe von Entwicklungsveränderungen in der Population als Untersuchungen mit querschnittlichen Erhebungsplänen.

## Kognitive Intervention im Alter: Aktivierung des Lernpotentials

Im Vergleich zur Analyse historischer Einflußsysteme stellt kognitive Intervention einen direkteren Weg dar, das Ausmaß an Plastizität in unterschiedlichen Bereichen intellektueller Leistungen zu bestimmen als kohortenvergleichende Forschung. In Bezug auf das Erwachsenenalter wurde mit derartigen Untersuchungen vorrangig geprüft, ob die Leistungsabnahme in psychometrischen Standardtests intellektueller Fähigkeiten durch Übung und Training rückgängig gemacht werden kann. Mit einigen Ausnahmen (z.B. Klauer, 1994) betrafen Interventionen im Erwachsenenalter ausschließlich ältere Erwachsene und konzentrierten sich auf Standardtests fluider Fähigkeiten oder auf den Erwerb gedächtnisbezogener Fertigkeiten.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeiten wurden a.a.O. zusammengefaßt (Lindenberger, in Druck-a). Insgesamt unterstreichen sie den Fortbestand kognitiver Plastizität bei geistig gesunden älteren Erwachsenen; wenige Trainings- oder Übungssitzungen reichen aus, um deutliche Leistungszugewinne zu erzeugen. Zugleich legen die weitgehende Abwesenheit oder geringe Größe positiven Transfers auf andere Tests derselben Fähigkeit sowie die Interventionsresistenz der Altersunterschiede in den Leistungsobergrenzen (s.u.) 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 Prozesse folgen bekannten lernpsychologischen Gesetzen und erfordern vermutlich keine Veränderungen in der kognitiven Mechanik. Ihre Auswirkungen sind lokaler Natur und beziehen sich unmittelbar auf das, was trainiert wurde. Falls diese Überlegungen zutreffen, so 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 oder Erwerb adaptiver Verhaltensmuster beitragen.

## Altersunterschiede in der Mechanik: Purifizierung der Messung

Ein zentrales Problem entwicklungspsychologischer Forschung besteht darin, daß Altersunterschiede oder Altersveränderungen, die in herkömmlichen Querschnitts- oder Längsschnittuntersuchungen beobachtet werden, zumeist nicht als reiner und direkter Ausdruck von Veränderungen in der interessierenden Entwicklungsdimension angesehen werden können. Dies gilt insbesondere für Entwicklungsveränderungen in der kognitiven Mechanik. So können sich Personen unterschiedlichen Alters systematisch im Ausmaß an aufgabenspezifischer Vorerfahrung unterscheiden. Weiterhin wird der Kontext der Messung durch Faktoren beeinflusst, die zwar mit dem Alter kovariieren, aber nicht oder nur mittelbar mit der Mechanik der Kognition zusammenhängen. Beispiele hierfür sind wissensbasierte Einflüsse in Form von aufgabenrelevanten Strategien und Heuristiken, die der Pragmatik der Kognition zugerechnet werden müssen, sowie motivationale oder emotionale Faktoren wie Testängstlichkeit und Erregungsniveau.

Folgt man diesen Überlegungen, so beruht unser Wissen über Altersveränderungen in der Mechanik der Kognition größtenteils auf Messungen eingeschränkter Validität. Daraus ergibt sich die Forderung, zu Indikatoren interindividueller Unterschiede im mechanischen Leistungspotential zu gelangen, die möglichst wenig durch pragmatische und andere Einflüsse kontaminiert sind (vgl. Guthke & Wiedl, 1996). In der Lebensspannenpsychologie wurde dieses Ziel vor allem mit der Strategie des

Grenztestens oder *testing-the-limits* verfolgt. Beim *testing-the-limits* werden Personen durch intensives Üben oder Training sowie durch leistungsabhängige Veränderungen der Aufgabenschwierigkeit möglichst nahe an ihre asymptotischen Leistungsmaxima herangeführt. So erbrachten, in Übereinstimmung mit theoretischen Erwartungen, *testing-the-limits*-Untersuchungen bei Erwachsenen, daß Altersunterschiede im episodischen Gedächtnis an den Leistungsobergrenzen besonders deutlich ausgeprägt sind (Baltes & Kliegl, 1992). Neben der Abschätzung von Altersunterschieden in den Leistungsobergrenzen eignet sich *testing-the-limits* auch zur Prozessanalyse zeitlich komprimierter Veränderungsfunktionen (Lindenberger & Baltes, 1995). Bestehen Annahmen über das Verhältnis zwischen Mikrogenese und Ontogenese, so können derartige Analysen zu einem besseren Verständnis der Mechanismen und Streubreite ontogenetischer Veränderungen beitragen.

Es erscheint sinnvoll, *testing-the-limits* auf die gesamte Lebensspanne sowie auf verschiedene Aspekte der Mechanik der Kognition auszudehnen, um zu ontogenetisch umfassenden und validen Entwicklungsfunktionen zu gelangen. Es kann erwartet werden, daß sich das Lebensalter der höchsten Leistung bei derartigen Untersuchungen systematisch zugunsten jüngerer Altersbereiche verschieben sollte, da der Einfluß der Pragmatik im Vergleich zu anderen Verfahren minimiert wird (siehe [Abbildung 2](#)).

## Die Suche nach basalen Determinanten der mechanischen Entwicklung

Sowohl auf dem Gebiet der kognitiven Kindesentwicklung als auch auf dem Gebiet der kognitiven Altersforschung wurden Versuche unternommen, *bereichsübergreifende, basale Determinanten von Altersveränderungen in der Mechanik der Kognition* zu identifizieren. Darüber hinaus haben einige Forscher im Rahmen dieses Ansatzes damit begonnen, die Struktur und Effizienz der Informationsverarbeitung von Kindern und alten Erwachsenen vergleichend darzustellen (Mayr, Kliegl & Krampe, 1996). Die Suche nach derartigen "processing primitives" der mechanischen Entwicklung orientiert sich an der Beobachtung, daß die kurvilinearen Altersverläufe bei einigen Parametern des kognitiven Systems besonders deutlich ausgeprägt sind. Bislang konzentrierte sich das theoretische und empirische Interesse vorwiegend auf drei Konstrukte: (a) Die *Verarbeitungsgeschwindigkeit* (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 zu inhibieren und/oder intentional zu unterdrücken.

Zur Zeit erscheint die Verarbeitungsgeschwindigkeit, und zwar insbesondere dann, wenn sie mit relativ komplexen, psychometrisch validierten Maßen indiziert wird, in Kindheit (Fry & Hale, 1996), Erwachsenenalter (Verhaeghen & Salthouse, 1997) und hohem Alter (Lindenberger, Mayr & Kliegl, 1993) als der stärkste Prädiktor von Altersunterschieden in anderen Aspekten der kognitiven Mechanik. Psychometrisch definierte Wahrnehmungsgeschwindigkeit ist aber vermutlich kein "processing primitive" im Sinne neuronaler Geschwindigkeit, sondern ein zusammengesetztes, faktoriell komplexes Konstrukt mit relativ hohem Arbeitsgedächtnisanteil. So haben Versuche, das biologische Korrelat individueller und spezifisch altersbedingter Unterschiede in der Verarbeitungsgeschwindigkeit zu identifizieren, zu keinem klaren Ergebnis geführt.

Der Erklärungsgehalt des Arbeitsgedächtniskonstrukts ist ebenfalls schwer bestimmbar. Erstens werden Altersveränderungen des Arbeitsgedächtnisses, so zum Beispiel die Zunahme seiner "Kapazität" in der mittleren Kindheit, oft mit Veränderungen der Verarbeitungseffizienz oder Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie mit inhibitorischen Prozessen in Verbindung gebracht. Zweitens besteht eine wesentliche Funktion des Arbeitsgedächtnisses in der Kontrolle zielgerichteten Handelns und Denkens. Diese Funktion rückt das Arbeitsgedächtnis in das Zentrum intelligenten Verhaltens und führt zu der Frage, ob man es überhaupt noch als einheitliche "basale Determinante" oder "processing primitive" ansehen kann.

Bei der Inhibition schließlich bleibt zumeist unklar, ob die mit typischen Maßen der Interferenzanfälligkeit wie dem Stroop-Test beobachteten kurvilinearen Altersgradienten über die Lebensspanne tatsächlich Altersveränderungen in inhibitorischen Prozessen widerspiegeln oder nicht vielmehr auf Altersunterschiede in der Verarbeitungsgeschwindigkeit, in der selektiven Aufmerksamkeit und im Diskriminationslernen zurückgehen.



Diese und weitere Ambiguitäten der konzeptuellen Definition und empirischen Identifikation potentieller Determinanten der mechanischen Entwicklung haben zu forschungsstrategischen Kontroversen an den Schnittstellen multivariat-psychometrischer (Lindenberger & Pötter, 1998), kognitiv-experimenteller (Kliegl, Mayr & Krampe, 1994) und radikal reduktionistischer (Cerella, 1990) Ansätze geführt. Zur Weiterentwicklung des Forschungsgebiets sollte vermehrt Kontakt zu den kognitiven Neurowissenschaften aufgenommen werden, damit die entsprechenden Konstrukte tatsächlich auf der gewünschten basalen Ebene angesiedelt werden können. Zugleich sollten die systemischen Eigenschaften sich entwickelnder Gehirne sowie die interindividuellen Unterschiede intraindividuelle Entwicklungspfade stärker als bisher berücksichtigt werden.

Schließlich sei auf die begrenzte Aussagekraft der in den meisten einschlägigen Arbeiten benutzten statistischen Verfahren hingewiesen. Diese Verfahren folgen in der einen oder anderen Weise der linearen hierarchischen Regressionsanalyse querschnittlich erhobener Datensätze. Besonders beliebt sind Mediatormodelle, bei denen das Alter als unabhängige, das als basal postulierte Konstrukt als vermittelnde und die interessierende kognitive Leistung als abhängige Variable fungieren. Derartige Verfahren liefern lediglich eine strukturelle Beschreibung der Daten unter Annahme der Gültigkeit des Modells, und eine hohe Anpassungsgüte darf keinesfalls als Verifikation der Modellannahmen interpretiert werden (siehe auch Lindenberger & Pötter, 1998).

## Synopse

In dieser Übersicht wurde das Nachzeichnen der Entwicklungsfunktionen spezifischer kognitiver Prozesse und Funktionen zugunsten des Versuchs vernachlässigt, die intellektuelle Entwicklung über die Lebensspanne im Überblick darzustellen. Dabei lag der Schwerpunkt der Betrachtung auf der Mechanik der Kognition. Die zentralen Ergebnisse dieses Versuchs lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Mechanik und Pragmatik der Kognition sind ontogenetisch miteinander verbunden und beeinflussen sich gegenseitig. Das Entstehen pragmatischer Wissensbestände in der Kindheit ist in vielfältiger *und im einzelnen noch zu erforschender Weise* mit der Entfaltung evolutionär prädisponierter Kernbereiche verknüpft. In späteren Phasen des Lebenslaufs dient der Erhalt und Erwerb pragmatischen Wissens zunehmend zur Abschwächung negativer Auswirkungen mechanischer Leistungsrückgänge. Dabei nimmt die kompensatorische Funktion der Pragmatik mit dem Alter an Bedeutung zu, verliert jedoch zugleich an Effizienz.
2. Heritabilität (d.h. die Größe des Beitrags genetischer Faktoren zu interindividuellen Unterschieden in intellektuellen Leistungen), relative Stabilität (d.h. das Ausmaß an ontogenetischer Kontinuität interindividueller Unterschiede), normativ-pragmatisches Wissen sowie die Differenziertheit der Struktur intellektueller Fähigkeiten nehmen von der Kindheit bis ins späte Erwachsenenalter zu und im hohen Alter wieder ab. Die Parallelität dieser vier Entwicklungsfunktionen über die Lebensspanne bezeugt eine wirkungsvolle Synergie zwischen sozialstruktureller und genetischer Differenzierung über die Lebensspanne, zumindest unter den in industrialisierten Gesellschaften westlichen Typs vorhandenen Möglichkeiten ontogenetischer Entwicklung.
3. Intellektuelle Leistungen lassen sich über die gesamte Lebensspanne positiv verändern. Die in kognitiven Interventionsstudien bei älteren Erwachsenen beobachtete weitgehende Abwesenheit positiven Transfers auf andere Tests derselben Fähigkeit sowie die Interventionsresistenz der Altersunterschiede in den Leistungsobergrenzen legen aber den Schluß nahe, daß die beobachteten Leistungsverbesserungen primär pragmatischen Aspekten der Kognition zu verdanken sind.
4. Standardmaße der Mechanik der Kognition (z.B. Tests der fluiden Intelligenz) sind durch individuelle Unterschiede in aufgabenrelevanter Vorerfahrung und andere pragmatische Einflüsse kontaminiert. Um die Altersgradienten der Mechanik der Kognition genauer zu bestimmen und die Identifikation kritischer Komponenten und Mechanismen zu erleichtern, bedarf es der Purifizierung der Messung durch Methoden, die geeignet sind, die Obergrenzen des Leistungspotentials einer Person zu bestimmen. Werden solche Methoden eingesetzt, so ergibt sich, wie vom Zweikomponentenmodell vorhergesagt, eine deutlichere Alterstrennung der Leistungen als mit üblichen Verfahren.
5. Als basale Determinanten oder Schrittmacher der mechanischen Entwicklung werden zur Zeit vor allem Altersveränderungen in der Verarbeitungsgeschwindigkeit, dem Arbeitsgedächtnis und

der Inhibition in Betracht gezogen. Alle drei Konstrukte weisen Mängel in der theoretischen und operationalen Definition auf und lassen eine direkte Anbindung an neuronale Veränderungen kaum zu. Ein intensiverer Kontakt dieses Forschungsfelds zu den kognitiven Neurowissenschaften sowie die vermehrte Verwendung multivariat-längsschnittlicher und quasi-experimenteller Versuchsplänen sind geboten.

## Epilog

Abschließend sei ein Spannungsfeld der gegenwärtigen entwicklungspsychologischen Forschung hervorgehoben (vgl. Weinert & Perner, 1996). Auf der einen Seite betonen nativistische, evolutionsbiologische und neurowissenschaftliche Ansätze die Bereichsspezifität der intellektuellen Entwicklung. Auf der anderen Seite unterstreichen konstruktivistische und differentielle Ansätze bereichsübergreifende Aspekte, wenn auch in unterschiedlicher Weise. Konstruktivistische Ansätze stellen die als reflektierende Abstraktion (Piaget, 1977) bezeichnete Eigentümlichkeit des Denkens in den Vordergrund, durch Selbstbezug über sich hinauszugehen und zu neuen Aufgabenlösungen zu gelangen. Differentielle Ansätze verweisen auf die hierarchisch geordnete Struktur, die hohe Heritabilität und die hohe relative Stabilität intellektueller Fähigkeiten.

Die zukünftige Forschung sollte bereichsspezifische und bereichsübergreifende Aspekte intellektueller Entwicklung gleichermaßen berücksichtigen. Bezüglich übergreifender Aspekte erscheint es lohnend, die Entwicklung neuronaler Strukturen zu erforschen, deren Funktion u.a. in der reflektierenden Abstraktion zu bestehen scheint (Fischer & Rose, 1994). Derartige Strukturen könnten sich als Träger des konstruktiven Elements der ontogenetischen Entwicklung erweisen und zugleich eine wesentliche Quelle ontogenetischer und interindividueller Unterschiede in der intellektuellen Leistungsfähigkeit darstellen. Gestützt wird diese Überlegung durch psychometrische Konzeptionen, die den Generalfaktor der Intelligenz unter Verweis auf den Begriff der "exekutiven Kontrolle" in ähnlicher Weise definieren wie Piaget den Begriff der reflektierenden Abstraktion (vgl. Marshalek, Lohman & Snow, 1983, S. 124-125 mit Piaget, 1977, S. 6).

## Literatur

- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive.. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 5-28.
- Baltes, M. M. & Carstensen, L. L. (1996). The processes of successful ageing.. *Ageing and Society*, 16, 397-422.
- 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. (1997). Die unvollendete Architektur der menschlichen Ontogenese: Implikationen für die Zukunft des vierten Lebensalters.. *Psychologische Rundschau*, 48, 191-210.
- Baltes, P. B. & Kliegl, R. (1992). Further testing of limits of cognitive plasticity: Negative age differences in a mnemonic skill are robust.. *Developmental Psychology*, 28, 121-125.
- Baltes, P. B. & Lindenberger, U. (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 (Eds.) & R. M. Lerner (Bd. Hrsg.), *Handbook of child psychology: Vol. 1. Theoretical models of human development* (5. Aufl., pp. 1029-1143). New York: Wiley. .
- Baltes, P. B., Staudinger, U. M. & Lindenberger, U. (1999). Lifespan psychology: Theory and application to intellectual functioning.. *Annual Review of Psychology*, 50, 471-507.
- 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: McGraw-Hill. .
- Cardon, L. R. & Fulker, D. W. (1994). A model of developmental change in hierarchical phenotypes with application to specific cognitive abilities.. *Behavior Genetics*, 24, 1-16.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*.. Boston, MA: Houghton Mifflin. .

- Cerella, J. (1990). Aging and information-processing rate.. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (3. Aufl., pp. 201-221). San Diego, CA: Academic Press. .
- Deary, I. J., Egan, V., Gibson, G. J., Austin, E. J., Brand, C. &Kellaghan, T. (1996). Intelligence and the differentiation hypothesis.. *Intelligence*, *23*, 105-132.
- Erdfelder, E., Rietz, C. &Rudinger, G. (1996). Methoden der Entwicklungspsychologie.. In E. Erdfelder, R. Mausfeld, T. Meiser & G. Rudinger (Eds.), *Handbuch Quantitative Methoden* (pp. 539-550). Weinheim: Psychologie Verlags Union. .
- 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.
- Fischer, K. W. &Rose, S. P. (1994). Dynamic development of coordination of components in brain and behavior: A framework for theory and research.. In G. Dawson & K. W. Fischer (Hrsg.), *Human behavior and the developing brain* (S. 3-66). New York: Guilford. .
- Fry, A. F. &Hale, S. (1996). Processing speed, working memory, and fluid intelligence: Evidence for a developmental cascade.. *Psychological Science*, *7*, 237-241.
- Guthke, J. &Wiedl, K. H.Hrsg. (1996). *Dynamisches Testen*.. Göttingen: Hogrefe. .
- Gobet, F. &Simon, H. A. (1996). The roles of recognition processes and look-ahead search in time-constrained expert problem solving: Evidence from grand-master-level chess.. *Psychological Science*, *7*, 52-55.
- Hasher, L. &Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view.. In G. H. Bower (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (Bd. 22, pp. 193-225). .
- Hertzog, C. &Schaie, K. W. (1986). Stability and change in adult intelligence: 1. Analysis of longitudinal covariance structures.. *Psychology and Aging*, *1*, 159-171.
- Horn, J. L. (1989). Models of intelligence.. In R. L. Linn (Eds.), *Intelligence: Measurement, theory, and public policy* (pp. 29-73). Urbana, IL: University of Illinois Press. .
- Humphreys, L. G. &Davey, T. C. (1988). Continuity in intellectual growth from 12 months to 9 years.. *Intelligence*, *12*, 183-197.
- 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.
- Klauer, K. J. (1994). Über den Einfluß eines Trainings zum induktiven Denken auf Variablen der fluiden Intelligenz und des Lernens bei älteren Menschen.. *Zeitschrift für Gerontopsychologie und -psychiatrie*, *7*, 29-46.
- 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.
- Li, S.-C. &Lindenberger, U. (1999). Cross-level unification: A computational exploration of the link between deterioration of neurotransmitter systems and dedifferentiation of cognitive abilities in old age.. In L.-G. Nilsson & H. J. Markowitsch (Eds.), *Cognitive neuroscience of memory* (pp. 103-146). .
- Lindenberger, U. (in Druck-a). Kognitive Intervention im Alter: Anwendungsorientierte Interpretation zentraler Befunde.. In H.-W. Wahl & C. Tesch-Römer (Hrsg.), *Angewandte Gerontologie in Schlüsselbegriffen*. Stuttgart: Kohlhammer. .
- Lindenberger, U. (in Druck-b). Avec l'âge, il existe un lien entre fonctionnement sensoriel ou sensorimoteur et fonctionnement cognitif.. In *Le vieillissement normal: Approche cognitive*. Belgium: DeBoek. .
- 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). Testing-the-limits and experimental simulation: Two methods to explicate the role of learning in development.. *Human Development*, *38*, 349-360.
- Lindenberger, U. &Baltes, P. B. (1997). Intellectual functioning in old and very old age: Cross-sectional results from the Berlin Aging Study.. *Psychology and Aging*, *12*, 410-432.
- Lindenberger, U. &Baltes, P. B. (1999). Die Entwicklungspsychologie der Lebensspanne (Lifespan-Psychologie): Johann Nicolaus Tetens (1736-1807) zu Ehren.. *Zeitschrift für Psychologie*, *207*, 299-323.
- Lindenberger, U. &Baltes, P. B. (in Druck). Lifespan psychology: Theory.. In A. E. Kazdin (Ed.), *Encyclopedia of psychology*. Washington: APA and Oxford University Press. .
- 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.
- Marshalek, B., Lohman, D. F. & Snow, R. E. (1983). The complexity continuum in the radex and hierarchical models of intelligence.. *Intelligence*, 7, 107-127.
- Mayr, U., Kliegl, R. & Krampe, R. T. (1996). Sequential and coordinative processing dynamics in figural transformations across the life span.. *Cognition*, 59, 61-90.
- 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., 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.
- 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. .
- Molenaar, P. C. M., Boomsma, D. I. & Dolan, C. V. (1991). Genetic and environmental factors in a developmental perspective.. In D. Magnusson, L. Bergman, G. Rudinger & B. Törestad (Eds.), *Problems and methods in longitudinal research: Stability and change* (pp. 250-273). Cambridge, England: Cambridge University Press. .
- Piaget, J. (1977). *Recherches sur l'abstraction réfléchissante. 1: L'abstraction des relations logico-arithmétiques*.. Paris: Presses Universitaires de France. .
- Salthouse, T. A. (1991). *Theoretical perspectives on cognitive aging*.. Hillsdale, NJ: Erlbaum. .
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition.. *Psychological Review*, 103, 403-428.
- 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. (1996). *Adult intellectual development: The Seattle Longitudinal Study*.. New York: Cambridge University Press. .
- Siegler, R. S. & Crowley, K. (1994). Constraints on learning in nonprivileged domains.. *Cognitive Psychology*, 27, 194-226.
- Spearman, C. E. (1927). *The abilities of man*.. London: Macmillan. .
- Staudinger, U. M. & Pasupathi, M. (in Druck). Life-span perspectives on self, personality, and social cognition.. In T. Salthouse & F. I. M. Craik (Eds.), *Handbook of cognition and aging*. Hillsdale: Erlbaum. .
- Verhaeghen, P. & Salthouse, T. A. (1997). Meta-analyses of age-cognition relations in adulthood: Estimates of linear and non-linear age effects and structural models.. *Psychological Bulletin*, 122, 231-249.
- Weinert, F. E. & Perner, J. (1996). Cognitive development.. In D. Magnusson (Eds.), *The life-span development of individuals: Behavioural, neurobiological, and psychosocial perspectives. A synthesis*. (S. 207-222). Cambridge, England: Cambridge University Press. .
- Wellman, H. M. & Gelman, S. A. (1992). Cognitive development: Foundational theories of core domains.. *Annual Review of Psychology*, 43, 337-375.

---

Diese Arbeit entstand im Rahmen der Tätigkeit des Autors als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin.

Der Autor dankt Paul Baltes und Ursula Staudinger für produktive Diskussionen sowie zwei anonymen Gutachtern für ihre Kommentare zu einer früheren Version. Eine erweiterte Fassung des Artikels mit zahlreichen Hinweisen auf die Originalliteratur kann vom Autor angefordert werden.

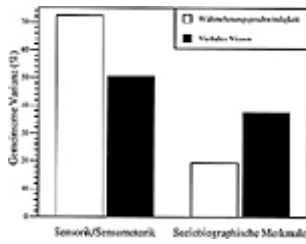
## Anschrift

Ulman Lindenberger, Prof. Dr., Universität des Saarlandes, 151150, D-66041 Saarbrücken , Deutschland, Email: [Lindenberger@cops.uni-sb.de](mailto:Lindenberger@cops.uni-sb.de).

---

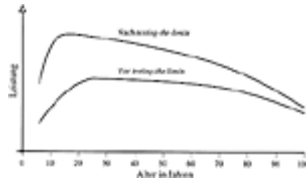
## Abbildungen

1.



Die divergente externe Validität des Zweikomponentenmodells der intellektuellen Entwicklung bleibt auch im hohen Alter bestehen. Die Wahrnehmungsgeschwindigkeit ist stärker mit Sensorik/Sensomotorik verknüpft als das verbale Wissen ( $z = 9.64, p < .01$ ). Umgekehrt korreliert das verbale Wissen höher mit sozialstrukturell-biographischen Unterschieden als die Wahrnehmungsgeschwindigkeit ( $z = 7.95, p < .01$ ). Die Ergebnisse basieren auf einem Strukturgleichungsmodell (vgl. Lindenberger & Baltes, 1997, Tabelle 8). Als Indikatoren des Bereichs Sensorik/Sensomotorik dienen Sehschärfe, Hörschwelle und Gleichgewicht; als Indikatoren sozialstrukturell-biographischer Unterschiede dienen Bildung, Berufsprestige, soziale Schicht und Einkommen; Wahrnehmungsgeschwindigkeit und verbales Wissen wurden jeweils durch drei entsprechende Tests gemessen. Es handelt sich um eine heterogene Stichprobe alter und sehr alter Personen (Altersbereich = 70-103 Jahre; Altersdurchschnitt = 85 Jahre)

2.



Hypothetische Altersgradienten vor und nach testing-the-limits.