

1.3 Methodologische Grundlagen

Florian Schmiedek und Ulman Lindenberger

Einleitung	
1	Querschnittliche, längsschnittliche und sequentielle Forschungsdesigns
1.1	Entwicklungspsychologische Designs
1.2	Querschnittliche Designs
1.3	Längsschnittliche Designs
1.3.1	Latente Wachstumsmodelle
1.3.2	Mehrebenenmodelle
1.3.3	Latente Differenzwertmodelle
1.4	Kombination quer- und längsschnittlicher Designs: Sequenzdesigns
2	Individuenbezogene Ansätze zur Analyse von Veränderungsprozessen
3	Empirisches Beispiel I: Vergleich verschiedener Methoden anhand von Forschungsarbeiten zum Zusammenhang von Aktivität und Kognition
4	<i>Testing the Limits</i> , experimentelle und formale Simulation
5	Empirisches Beispiel II: Der Zusammenhang zwischen Sensorik/Sensumotorik und Intelligenz im Alter
Schlussbemerkung	
Literatur	

Einleitung

Die Lebensspannenpsychologie befasst sich mit der psychischen Entwicklung von der Empfängnis bis ins hohe Alter. Dabei sind Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Personen gleichermaßen von Interesse. Die Vielfältigkeit, Interdependenz und Dynamik der biologischen und kulturellen Einflussysteme, die psychische Entwicklung bewirken und auf die psychische Entwicklung zurückwirken, stellen die Entwicklungspsychologie vor große methodologische Herausforderungen. So können Unterschiede zwischen Personen, die zu einem gegebenen historischen Zeitpunkt unterschiedlich alt sind, neben, anstatt oder in Interaktion mit primär biologisch bedingten Reifungs- oder Alterungsprozessen auch historische Veränderungen zum Ausdruck bringen. Weiterhin können Leistungssteigerungen, die bei der wiederholten Messung kognitiver Fähigkeiten in Längsschnittuntersuchungen auftreten, Lerneffekte

durch wiederholte Aufgabenbearbeitung erfassen, die mit Reifungs- oder Alterungsprozessen interagieren und die deren Bestimmung erschweren. Im hohen Alter schließlich gestaltet sich die Trennung zwischen »normalen« Alterungsprozessen, alterskorrelierten Pathologien sowie sterbebezogenen Veränderungen als ausgesprochen kompliziert.

Derartige Komplikationen der Entwicklungspsychologie werden häufig zunächst dort diskutiert, wo sie zutage treten, das heißt im Kontext von Mess- oder Auswertungsproblemen. Sie verweisen jedoch zugleich auf die heterogene und dynamische Qualität menschlicher Entwicklungsprozesse. Aus diesem Grunde entfaltet und präzisiert die Arbeit an methodologischen Problemen der Entwicklungspsychologie zugleich deren grundlegende Konzepte und Annahmen. Zum Beispiel haben methodologisch orientierte Entwicklungspsychologen seit vielen Jahren darauf hingewiesen, dass dem Alter oder der Lebenszeit als sol-

1 Grundlagen

cher kein erklärender Gehalt zukommt (z. B. Wohlwill, 1970). Vielmehr fungiert die Variable Alter als Träger zahlreicher miteinander interagierender Einflussgrößen. Dementsprechend kann es in der Entwicklungspsychologie auch kein einheitliches methodisches Vorgehen geben. Erforderlich ist vielmehr die gezielte, der jeweiligen Fragestellung und den jeweiligen Hypothesen angepasste Kombination verschiedener Forschungsdesigns, um zu inhaltlichen Interpretationen von Forschungsergebnissen zu gelangen. Eine derartige Interpretation sollte die Reflexion über das Ausmaß und die Dimensionen der Generalisierbarkeit der Befunde, das heißt ihre Bedingtheit durch den entwicklungsgehistorischen Kontext, von vornherein einschließen.

Erfreulicherweise hat sich das Repertoire empirischer Methoden in der Entwicklungspsychologie im Laufe der letzten Jahrzehnte deutlich erweitert und verbessert. Die entwicklungspsychologische Forschung wird dem Programm einer methodisch reflektierten und ausgereiften Wissenschaft der Entwicklung menschlichen Verhaltens, wie es bereits vor dreißig Jahren von Paul Baltes, Reese und Nesselroade (1977) entworfen und im Detail dargestellt wurde, zunehmend besser gerecht. Dies gilt in besonderem Maße für die Erforschung menschlicher Entwicklung im Erwachsenenalter, da methodologische Fragen hier intensiver und tiefgreifender diskutiert wurden als in anderen Altersbereichen der Entwicklungspsychologie (vgl. Hertzog & Nesselroade, 2003; C. Nesselroade & Schmidt McCollam, 2000).

Die Beschränkung auf das chronologische Alter als zeitlicher Ordnungsdimension ließe auch die Flexibilität von Versuchs- und Auswertungsplänen ungenutzt. Will man Alter als erklärende Variable durch ein Sys-

tem dynamischer Einflussgrößen ersetzen (Wohlwill, 1970), so sollte hierbei das sich entwickelnde Individuum als grundlegende Analyseebene verstanden werden, denn die Dynamik des menschlichen Handelns und Verhaltens bildet den Kern der Entwicklungspsychologie. Individuelle Veränderungsfunktionen sollten beschrieben und interindividuelle Unterschiede in den Parameterwerten dieser Funktionen durch theoretische Konstrukte erklärt werden. Ein solches Vorgehen ermöglicht und erfordert einen flexiblen Umgang mit der Zeitachse sowie in der Intensität und Frequenz von Messungen und erleichtert die Modellierung der interessierenden interindividuellen Unterschiede und Gemeinsamkeiten in Entwicklungsverläufen. Die Zeitachse muss dann nicht notwendigerweise als chronologisches Alter, sondern sie kann stattdessen oder zugleich auch als Lernzeit, als Zeit seit Verstreichen eines Lebensereignisses oder auch als Zeit bis zum Tod festgelegt werden.

Eine Vielzahl entwicklungspsychologischer Fragestellungen lassen sich als Zusammenhangshypothesen zwischen zwei oder mehr Variablen formulieren. Neben der Flexibilität in der Behandlung der Zeitachse und der Messdichte sind Forschungsdesigns in unterschiedlicher Weise dazu geeignet, die Dynamik von Veränderungen multivariat zu beschreiben und zu erklären. Dabei erfolgt die Beschreibung systematischer Zusammenhänge zwischen Veränderungen sowie die Analyse kausaler Abhängigkeiten und multivariater Strukturen auf der Grundlage jeweils unterschiedlicher Vorannahmen und Beschränkungen. Die im Folgenden beschriebenen Forschungsdesigns sollten sich daran messen lassen, ob sie das Augenmerk der Forscher auf das sich entwickelnde Individuum als dynamisches System lenken und die Überprüfung multivariater Veränderungshypothesen erlauben.

1 Querschnittliche, längs-schnittliche und sequentielle Forschungsdesigns

1.1 Entwicklungspsychologische Designs

Nach wie vor sind Querschnitt- und Längsschnittuntersuchungen die häufigsten Forschungspläne in der Entwicklungspsychologie. Querschnittuntersuchungen umfassen dabei sowohl Studien mit kontinuierlich verteilter Altersvariable als auch Vergleiche von Gruppen verschiedener, diskontinuierlicher Altersbereiche (Extremgruppenvergleiche; vgl. Hertzog, 1996). Um sowohl individuelle Entwicklungsverläufe als auch historische Veränderungen, Kohorten- und Periodeneffekte berücksichtigen zu können, ist keine der beiden Methoden ausreichend, so dass auch sequentielle Methoden, die Querschnitt und Längsschnitt miteinander kombinieren, in Betracht gezogen werden müssen (P. Baltes, 1968; Schaie, 1965, 1996).

1.2 Querschnittliche Designs

Der größte Vorteil querschnittlicher Methoden besteht in der Möglichkeit, innerhalb kurzer Zeiträume Altersunterschiede beliebig großer Altersbereiche untersuchen zu können. Veränderungen können in Querschnittuntersuchungen nicht beobachtet werden, weil jedes Individuum nur ein einziges Mal beobachtet wird. Mittlere altersbezogene Veränderungen werden deswegen mithilfe von Altersunterschieden geschätzt. Dies setzt als Annahme voraus, dass Individuen unterschiedlichen Alters derselben Population entstammen. Kohortenunterschiede sowie alterskorrelierte Unterschiede in der Stichprobensammensetzung müssen entweder als nicht vorhanden angenommen oder statistisch kontrolliert werden. Interindividuelle Unterschiede in

Veränderungen können von vornherein nicht erfasst werden.

In querschnittlichen Designs drängt sich die Verwendung von Alter als unabhängiger Variable auf. Dies ist insbesondere bei der Betrachtung von Zusammenhängen altersbezogener Unterschiede zwischen mehreren Variablen problematisch. Solche Zusammenhänge sind jedoch von zentralem Interesse für viele entwicklungspsychologische Fragen. Durch die Beantwortung der Frage, ob altersbezogene Unterschiede in einer Variablen mit altersbezogenen Unterschieden einer anderen Variable zusammenhängen, wird häufig versucht, einen ersten Schritt zum Nachweis von kausalen Antezedens-Konsequenz-Beziehungen zu machen. So wurden zum Beispiel entsprechende Analysen herangezogen, um altersbezogene Unterschiede in kognitiver Verarbeitungsgeschwindigkeit als Ursache für altersbezogene Unterschiede in komplexeren kognitiven Fähigkeiten, etwa Arbeitsgedächtnisleistungen, zu postulieren (Salthouse, 1991, 1996). Derartige Hypothesen werden in der Regel als Mediatormodelle formuliert und mittels hierarchischer Regressionsanalysen oder Pfadmodellen analysiert. Dabei wird angenommen, dass das Ausmaß, in dem die statistische Kontrolle der vermittelnden Variable den Alterszusammenhang der abhängigen Variable zu reduzieren vermag, als Beleg für den kausalen Status der vermittelnden Variable als Antezedens gelten kann. Diese Annahme ist aus statistischer Sicht abwegig. Korrelative Daten mit fehlender zeitlicher Ordnung innerhalb von Beobachtungen sind zur Überprüfung derartiger kausaler Hypothesen von vornherein kaum geeignet. Bei den in Frage stehenden Mediationsanalysen ist zudem der komplexe Einfluss impliziter Annahmen über den altersunabhängigen Zusammenhang der beiden Variablen zu berücksichtigen (Lindenberger & Pötter, 1998).

1 Grundlagen

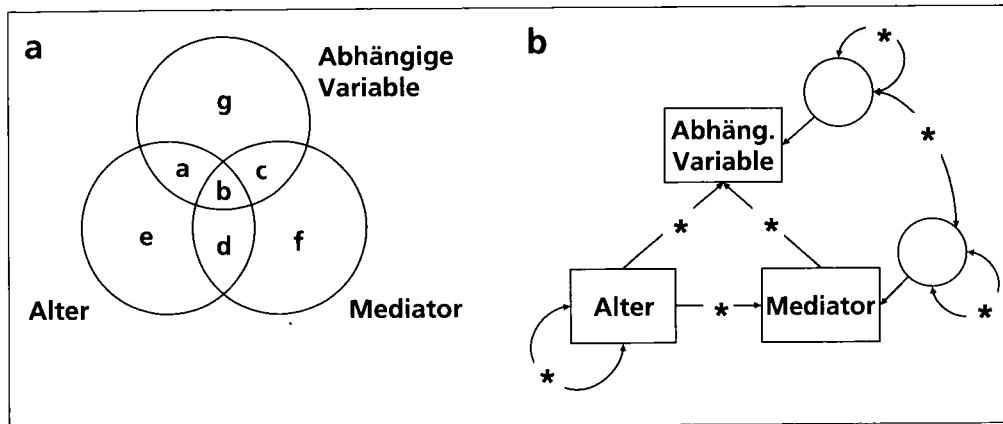


Abb. 1: a: Venn-Diagramm mit gemeinsamen (a–d) und unigen Varianzanteilen (e–g) von Alter, Mediator und abhängiger Variable. b: Pfaddiagramm eines Mediationsmodells. Die Sterne stehen für zu schätzende Parameter (Pfeile = gerichtete Effekte; Doppelpfeile = [Ko-]Varianzen).

Der grundsätzlich problematische Charakter derartiger Analysen lässt sich anhand von Venn-Diagrammen verdeutlichen, die gerne zur Visualisierung der gemeinsamen und spezifischen Altersvarianz zweier Variablen herangezogen werden (siehe **Abb. 1a**). Insgesamt sind sieben Varianzkomponenten (a–g) zu bestimmen. Hierzu stehen aber nur sechs Stichprobenstatistiken (drei Varianzen und drei Kovarianzen) zur Verfügung. Es ist daher offensichtlich, dass eine eindeutige Bestimmung des interessierenden Verhältnisses von $b/(a+b)$ (*shared over simple effects*) nicht möglich ist. Dies lässt sich auch im korrespondierenden Pfadmodell (**Abb. 1b**) erkennen. Wird hier nicht nur der altersabhängige Zusammenhang (bedingt durch die direkten Effekte von Alter auf beide Variablen) sowie der altersunabhängige Zusammenhang (bedingt durch die Korrelation der Residualterme), was bereits ein saturiertes Modell wäre, sondern zusätzlich der direkte Pfad des Mediators auf die abhängige Variable modelliert, so resultiert ein Modell mit weniger als null (nämlich –1) Freiheitsgraden. Die direkten und indirekten Effekte lassen sich

daher nur schätzen, wenn zusätzliche Annahmen gemacht werden. Da aber, wie Lindenberger und Pötter (1998) gezeigt haben, die *shared over simple effects* eine quadratische Funktion der altersunabhängigen Korrelation zwischen dem Mediator und der abhängigen Variable darstellen, können mit solchen Methoden bestimmte Ergebnisse den Raum der möglichen wahren Zustände nur unzureichend einschränken. Dies wird besonders deutlich, wenn man sich den Bereich möglicher *shared over simple effects* als Funktion von wahren Zusammenhängen interindividueller Unterschiede in längsschnittlichen Veränderungen, also der eigentlich interessierenden Zusammenhangsgrößen, betrachtet (Hofer, Flaherty & Hoffman, 2006; Lindenberger, von Oertzen, Ghisletta & Hertzog, 2006; vgl. Kalveram, 1965). Die Beziehung zwischen der längsschnittlichen Kopplung von Veränderungsverläufen und den beobachteten querschnittlichen Korrelationen ist sehr schwach.

Die genannten altersunabhängigen Zusammenhänge zweier oder mehrerer Variablen sind oft auch selbst Gegenstand von Analy-

1.3 Methodologische Grundlagen

sen. Wenn für verschiedene heterogene Altersgruppen unterschiedliche Korrelationen zwischen Variablen beobachtet werden, etwa zwischen kognitiven und sensorischen Leistungen (P. Baltes & Lindenberger, 1997), stellt sich die Frage, inwieweit diese Unterschiede ein notwendiges Ergebnis von verschieden starken Alterskorrelationen der Variablen sind. Die einfachste und daher am häufigsten verwendete Vorgehensweise, mit dieser Frage umzugehen, ist die Berechnung von Partialkorrelationen zur Kontrolle des Alters. Eine weitere Möglichkeit ist die versuchsplanerische Kontrolle des Alters durch die Verwendung von altershomogenen Stichproben (Hofer & Sliwinski, 2001; siehe auch die Diskussionsbeiträge dort). Beide Vorgehensweisen sind jedoch mit dem Problem behaftet, dass nicht klar ist, welche inhaltlich interessierende Varianz die Variable chronologisches Alter, deren Einfluss man statistisch oder versuchsplanerisch entfernt, eigentlich erfasst. Immer wenn man sich für Korrelationen und damit für interindividuelle Unterschiede innerhalb bestimmter Altersgruppen interessiert, ist man auch mit der Frage nach den Ursachen dieser interindividuellen Unterschiede konfrontiert. Es ist davon auszugehen, dass den möglichen Ursachen der interindividuellen Unterschiede auch von altershomogenen Stichproben in der Regel eine Entwicklungsgeschichte zugrunde liegt. Diese Entwicklungsgeschichte wird durch die Variable Alter nur sehr unzulänglich erfasst. So wie die Art, Ähnlichkeit und der Altersbezug der Veränderungsprozesse verschiedener Personen nicht bekannt sind, weiß man weder, welche Varianz mit dem Alter herausgenommen wird, noch weiß man, welche verbleibt. Deswegen verhindert der Einsatz des Instruments der Kontrolle von Altersvarianz als statistische oder versuchsplanerische Routine ein Verständnis von Entwicklungsprozessen. Wünschenswert wäre hier stattdessen die Identifikation der theoretisch in-

teressierenden Variablen sowie deren Kontrolle oder experimentelle Manipulation (soweit dies möglich ist).

Die genannten Probleme stellen sich nicht nur für bivariate Zusammenhänge, sondern auch für multivariate Strukturanalysen interindividueller Unterschiede in altersheterogenen Stichproben, wie Faktorenanalysen und Strukturgleichungsmodellen. Während solche Analysen aus psychometrischer und theoretischer Sichtweise wünschenswert sind, da sie eine Kontrolle von Reliabilitätsunterschieden und Analysen auf Konstruktebene anstatt variablenspezifischer Betrachtungen erlauben (z. B. Salthouse, 2000), können die genannten Einschränkungen querschnittlicher Methoden auch hier nicht ausgeräumt werden. Werden Mediatormodelle auf der Ebene latenter anstatt beobachteter Variablen spezifiziert, so beziehen sich die Effekte zwar auf die wahre Varianz, der altersunabhängige Zusammenhang von Mediator und abhängiger Variable beeinflusst jedoch auch hier die Schätzung der gemeinsamen Altersvarianz.

Alternativ können im Rahmen von Strukturgleichungsmodellen auch Faktoren höherer Ordnung als Mediatoren der Alterszusammenhänge von Faktoren erster Ordnung gewählt werden. Mittels solcher hierarchischer Faktorenmodelle soll geschätzt werden, in welchem Ausmaß beobachtete Altersunterschiede auf gemeinsame altersbezogene Varianz zurückzuführen sind (vgl. Salthouse & Czaja, 2000). Alternativhypothesen zur Erklärung von Altersunterschieden mittels eines Generalfaktors höherer Ordnung können durch Alterszusammenhänge der Faktoren erster Ordnung formuliert werden. Im Rahmen eines hierarchischen Faktorenmodells stellt sich jedoch das Problem statistischer Abhängigkeiten der allgemeinen und spezifischen Alterszusammenhänge, das durch schrittweise Schätzverfahren nur unbefriedigend behandelt werden kann (Schmiedek & Li,

1 Grundlagen

2004). Genestete Faktorenmodelle, bei denen die beobachteten Variablen sowohl auf einem allgemeinen als auch auf spezifischen Faktoren laden, sind hier vorzuziehen, da sie eine simultane Schätzung der Alterszusammenhänge aller Faktoren erlauben.

Auch in diesen Modellen stellt sich die Frage nach dem konzeptuellen Status von Alter, sei es als unabhängige Variable mit gerichteten Effekten auf die Inhaltsfaktoren oder als Korrelat der Faktoren. Wird Alter als korrelierende Variable modelliert, so hat das keinen Einfluss auf die Faktorenstruktur in altersheterogenen Daten; Alter wird hier einfach in den gegebenen Faktorenraum projiziert, altersbezogene Varianz ist dadurch Teil der von den Faktoren beschriebenen interindividuellen Unterschiede. Wird Alter hingegen als unabhängige Variable modelliert, so hat das einen Einfluss auf die Faktorenstruktur. Die Faktoren korrelieren als Funktion gemeinsamer Alterseffekte, und die Faktorenstruktur stellt, bei Passung des Modells, die altersunabhängige Struktur dar, also die Struktur, die man nach Auspartialisierung des Alters erhalten würde (Schmiedek & Li, 2004). Die Frage der Modellierung von Alter ist also direkt mit der Frage, welchen Anteil interindividueller Unterschiede die Faktoren beschreiben, verknüpft und daher relevant für die Interpretation der Ergebnisse.

Dies rückt einen weiteren wichtigen Aspekt der Beschreibung multivariater Strukturen bei altersheterogenen Stichproben in den Vordergrund: die Annahme der Altersinvarianz des Messmodells. Wird ein Faktorenmodell für eine altersheterogene Stichprobe verwendet, so beinhaltet dies die Annahme, dass die resultierende Faktorenstruktur individuelle Unterschiede über den gesamten verwendeten Altersbereich angemessen abbildet. Da diese Annahme in vielen Fällen aus entwicklungstheoretischer Sicht äußerst fragwürdig wird – so postuliert zum Beispiel die Dedifferenzierungshypothese

der Intelligenz eine Zunahme der Interkorrelationen kognitiver Fähigkeiten vom Erwachsenenalter zum hohen Alter –, ist die empirische Prüfung der Messmodellinvarianz über das Alter von zentraler Bedeutung. Hierzu bieten Mehrgruppenstrukturgleichungsmodelle flexible Möglichkeiten, indem in einer Reihe statistisch genesteter Modelle zunehmend strengere Annahmen über die Invarianz von Faktorladungen, Interzepts, Faktorvarianzen und -kovarianzen sowie schließlich Residualvarianzen gegeneinander getestet werden können (Meredith, 1964, 1993; Vandenberg & Lance, 2000). Dies ermöglicht auch die Überprüfung von differentiellen Itemschwierigkeiten, die die Interpretation von latenten Mittelwertsunterschieden verschiedener Altersgruppen zusätzlich erschweren können.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in Querschnittuntersuchungen durch das Fehlen der Erfassung interindividueller Unterschiede in Veränderungen und der möglichen Nichtäquivalenz der Altersgruppen die Schätzung mittlerer Veränderungsverläufe und die Modellierung systematischer Zusammenhänge der Veränderungen mehrerer Variablen nur unter starken Annahmen möglich sind. Querschnittsdesigns dienen daher des öfteren dem Aufspüren alterskorrelierter Variablen, deren Bedingungssysteme dann mit anderen Verfahren gründlicher untersucht werden können (siehe auch Hertzog, 1996).

1.3 Längsschnittliche Designs

Längsschnittliche Forschungsdesigns eignen sich für entwicklungspsychologische Fragestellungen besser als querschnittliche, da sie eine direkte Beobachtung von mittleren und differentiellen (d. h. interindividuell verschiedenen) Veränderungen erlauben. Die Wohlwill'sche Forderung nach einer Beschreibung und Parametrisierung von Veränderung (1970) kann hier also erfüllt werden. Auch längsschnittliche Studien sind je-

doch mit grundsätzlichen Problemen behaftet. Dazu gehören neben dem praktischen Problem der zeitlichen Dauer einer längsschnittlichen Untersuchung vor allem die geringe Messdichte auf der Ebene der einzelnen Person sowie Selektionseffekte. Letztere können durch die vergleichsweise hohen Anforderungen, die mit der Bereitschaft, an einer längsschnittlichen Studie teilzunehmen, einhergehen, bereits die Ziehung der Ausgangsstichprobe beeinflussen und werden von Messzeitpunkt zu Messzeitpunkt durch den gemeinhin kumulativen Stichprobenschwund weiter verstärkt. Vor allem bei Studien zum hohen Alter ist eine zunehmende Selektivität bezüglich relevanter Variablen zu befürchten, da sowohl die mortalitätsbezogene Selektivität als auch experimentelle Selektivität, das heißt die Nichtteilnahme nicht verstorbener Personen, mit dem physiologischen und psychologischen Funktionsniveau zusammenhängen. Zur Abschätzung des Ausmaßes, in dem die Generalisierbarkeit der Ergebnisse durch mortalitätsbedingte und experimentelle Selektivitätseffekte eingeschränkt ist, sind Selektivitätsanalysen möglich (Lindenberger, Singer & Baltes, 2002). Diese setzen jedoch voraus, dass bei der Ausgangsstichprobe ausreichend Informationen über Prozesse, die Selektion vorhersagen, erfasst werden (Aitkin, 1934; Pearson, 1903). Auf der Verwendung solcher Information beruhen auch moderne Verfahren zur Schätzung von Veränderungen bei Vorliegen von fehlenden Werten, auf die weiter unten eingegangen wird.

Ein weiteres Problem, vor allem bei der Untersuchung kognitiver Variablen, ist das mögliche Vorliegen von Testwiederholungseffekten. Diese können selbst bei Messwiederholungsintervallen von mehreren Jahren auftreten (z. B. Lövdén, Ghisletta & Lindenberger, 2004). Die Effektstärken von Testwiederholungseffekten können auf verschiedene Weise geschätzt werden. Zum einen können zu den Messwiederho-

lungszeitpunkten neue, noch nicht getestete, repräsentative Stichproben aus der gleichen Geburtskohorte gezogen werden. Der Vergleich gleich alter Personen zum selben Zeitpunkt, die sich bei Gültigkeit der Annahmen nur darin unterscheiden, ob sie zu einem vorherigen Zeitpunkt bereits schon einmal getestet wurden, erlaubt eine Schätzung der Verbesserung durch die Testwiederholung, wenn zugleich die Selektionseffekte in der längsschnittlichen Stichprobe kontrolliert oder geschätzt werden (Schaie, 1988). Eine weitere Möglichkeit zur Abschätzung von Testwiederholungseffekten besteht, wenn die Retestintervalle für unterschiedliche Personen unterschiedlich lang sind oder wenn die Personen zu Beginn der Längsschnittstudie unterschiedlich alt waren und zugleich mögliche Kohorteneffekte ignoriert werden. Unter Verwendung latenter Wachstumsmodelle kann die Tatsache, dass Altersunterschiede und Retesteffekte in einem solchen Falle nicht vollständig konfundiert sind, zur Schätzung deren relativer Beiträge verwendet werden (Lövdén, Ghisletta & Lindenberger, 2004; McArdle & Woodcock, 1997).

Bei den Analyseverfahren für längsschnittliche Daten hat es in den letzten Jahrzehnten große Fortschritte gegeben (siehe auch Hertzog & Nesselroade, 2003), die von unflexiblen und mit unrealistischen Annahmen verbundenen varianzanalytischen Verfahren zu latenten Wachstumsmodellen und den mit ihnen eng verwandten Mehrebenenanalysen führten (Ghisletta & Lindenberger, 2004). Wenn es um die Erfassung von Veränderungen über mehrere Zeitpunkte ging, hatten Forscher vor einigen Jahren nur die Wahl zwischen einer ANOVA für Messwiederholungen oder einer MANOVA über Differenzvariablen. Während erstere bei mehr als zwei Messzeitpunkten die in der Regel unrealistische Annahme von gleichen Kovarianzen der abhängigen Variable zwischen allen Messzeitpunkten voraussetzt, erfordert die An-

1 Grundlagen

wendung der MANOVA weniger starke Annahmen über die Kovarianzstruktur, hat aber auch weniger Teststärke (siehe Hertzog, 1994, für einen detaillierten Vergleich der beiden Methoden). Latente Wachstumsmodelle und Mehrebenenanalysen stellen bezüglich der Kovarianzstruktur der Messwiederholungsvariablen eine Zwischenposition zwischen diesen beiden Extremen dar, indem sie zwar Bedingungen für die Kovarianzstruktur implizieren, die sich aber direkt aus flexibel wählbaren und von theoretischen Überlegungen abzuleitenden Veränderungsmodellen ergeben. Die Kovarianzinformation wird dadurch zur Prüfung eines Veränderungsmodells mit herangezogen anstatt entweder nicht beachtet oder allzu strengen Annahmen unterworfen zu werden.

1.3.1 Latente Wachstumsmodelle

In latenten Wachstumsmodellen (*Latent Growth Models*, LGMs) werden mittlere und interindividuell verschiedene Veränderungen mittels latenter Faktoren beschrieben (Duncan & Duncan, 1995; McArdle & Anderson, 1990). Das Spezialmodell für lineare Veränderungen sieht dabei zwei Faktoren vor, einen Niveaufaktor und einen linearen Steigungsfaktor (*slope*). Die Ladungen der beobachteten Variablen zu den verschiedenen Messzeitpunkten werden dabei nicht frei geschätzt, sondern festgelegt. Die Ladungen auf dem Niveaufaktor sind alle gleich einer Konstanten, die Ladungen auf dem Steigungsfaktor entsprechen den Beobachtungszeitpunkten oder einer linearen Transformation der Beobachtungszeitpunkte (Abb. 2a).

Im LGM werden die Mittelwerte der beobachteten Variablen gemeinsam mit deren Varianzen und Kovarianzen modelliert. Die modellimpliziten Schätzungen für diese Parameter ergeben sich aus den Faktorladungen sowie den Faktormittelwerten, -varianzen und -kovarianzen. Mittelwert und Varianz des Niveaufaktors sind Schätzungen

des Mittelwertes und interindividueller Unterschiede zum Zeitpunkt Null. Mittelwert und Varianz des Steigungsfaktors sind Schätzungen für die mittlere lineare Veränderung und interindividuelle Unterschiede darin. Die Kovarianz der beiden Faktoren reflektiert den Zusammenhang von Ausgangswerten und Veränderungen.

Dieses einfache Modell kann als Basis für eine Vielzahl von Modifikationen, Erweiterungen und statistischer Tests verwendet werden. Die statistische Signifikanz der mittleren Veränderung lässt sich über den Mittelwert des Steigungsfaktors testen, das Vorliegen von signifikanten interindividuellen Unterschieden in den Veränderungen über die Varianz dieses Faktors. Anders als in der ANOVA-Methodik lassen sich hier aber auch beliebige Annahmen über die Kovarianzstruktur der Residualterme direkt testen und modifizieren. Die Veränderungsfunktion lässt sich durch zusätzliche latente Faktoren um weitere polynomiale Terme erweitern, eine quadratische Veränderung zum Beispiel lässt sich mit einem Faktor, dessen Ladungen eine quadratische Transformation der Zeitpunkte darstellen, realisieren. In gewissem Rahmen ist es sogar möglich, die Ladungen auf einem latenten Veränderungsfaktor frei zu schätzen oder nichtlineare Veränderungen zu beschreiben (McArdle, 1988; McArdle & Bell, 2000).

Jedoch wird in allen Fällen von der Annahme ausgegangen, dass das gewählte Veränderungsmodell, sei es nun linear, quadratisch, kubisch oder eine andere durch die Faktorladungen frei geschätzte oder festgelegte nichtlineare Funktion, für alle Personen gleichermaßen gilt. Interindividuelle Unterschiede werden allein durch die Varianzen der mittels der Faktoren beschriebenen Basisfunktionen realisiert. Die Tatsache, dass interindividuelle Unterschiede in Veränderungen zwar Teil des Modells sind, jedoch nicht auf individueller Ebene beschrieben werden, lässt sich schon daran erkennen, dass der Mittelwertvektor und die

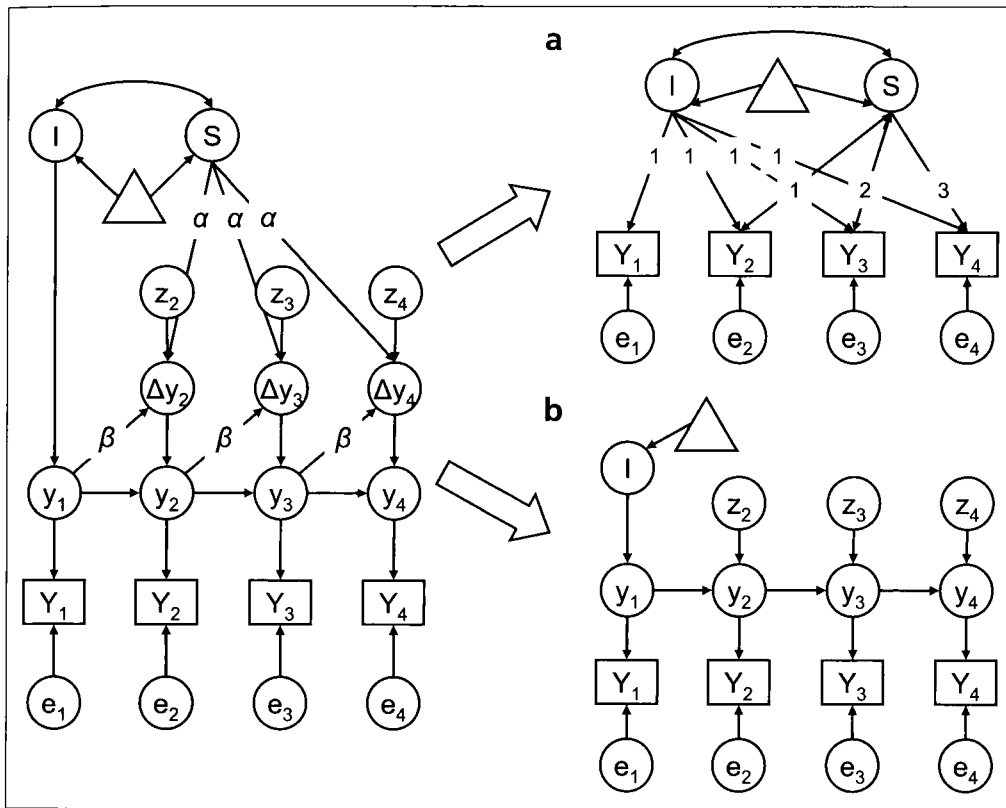


Abb. 2: Allgemeines *Dual-Change-Score-Modell* mit Y_1 - Y_4 = beobachtete Variablen zu den Messzeitpunkten 1-4, y_1 - y_4 : latente Variablen, e_1 - e_4 : Residualterme, Δy_2 - Δy_4 : latente Veränderungswerte zwischen den Zeitpunkten t zu Zeitpunkt $t + 1$, I und S: Intercept- und *Slope*-Faktoren der linearen Veränderungsfunktion mit konstanter Veränderung α , z_2 - z_4 : zeitpunktspezifische, stochastische Einflussgrößen. a: Vereinfachung des allgemeinen Modells zu einem linearen LGM. b: Vereinfachung des allgemeinen Modells zu einem Markov-Simplex-Modell.

Kovarianzmatrix als Stichprobenkennwerte für die Parameterschätzung herangezogen werden. Interindividuelle Unterschiede in Veränderungen werden als Abweichungen von einer mittleren Veränderungsfunktion beschrieben. Bestehen interindividuelle Unterschiede in der Form der Veränderung, so können diese vom einfachen LGM nicht erfasst werden.

Durch eine Trennung der latenten Faktoren von messfehlerbehafteten Residualtermen

erlaubt die Modellierung von Veränderungen mittels LGMs einen besseren Umgang mit einigen klassischen Problemen der Veränderungsmessung (Harris, 1963), wie der vermeintlich niedrigen Reliabilität von Veränderungswerten sowie der Regression zum Mittelwert (Raykov, 1999; Rogosa, Brandt & Zimowski, 1982; Rogosa & Willet, 1983, 1985). Ein weiteres in der Geschichte der Veränderungsmessung häufig diskutiertes Problem sind die Zusam-

1 Grundlagen

menhänge zwischen Ausgangsniveau und Steigung. Mit diesen Korrelationen werden häufig inhaltliche Interpretationen verknüpft (Rogosa, 1995). Bei einem linearen Veränderungsmodell hängt die Höhe des Zusammenhangs zwischen Ausgangswert und Steigung davon ab, welche Zeitachse gewählt wird und an welchem Zeitpunkt der Interzept bestimmt wird (Metha & West, 2000; Rogosa, 1985; Rovine & Molenaar, 1998). Letzterer kann mittels linearer Transformationen der Zeitinformation beliebig skaliert werden. Je früher der Zeitpunkt Null auf der Zeitachse festgelegt wird, umso stärker negativ ist der Zusammenhang; je später, desto stärker positiv (die Asymptoten für diesen Zusammenhang liegen bei plus und minus 1). Dazwischen liegt notwendigerweise immer auch ein Zeitpunkt, zu dem der Zusammenhang null ist. Hierbei handelt es sich nicht um Artefakte, sondern um die notwendige Folge eines linearen Veränderungsmodells, von dem angenommen wird, dass es über den gesamten Zeitbereich gültig sei. Dies führt zu der interessanten Frage, wie denn nun die Zeitdimension skaliert und wo der Interzept bestimmt werden soll. Hierfür gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, die je nach inhaltlicher Fragestellung und vorhandener Information flexibel gewählt und miteinander verglichen werden können. Ist die Stichprobe zu den verschiedenen Messzeitpunkten relativ altershomogen, so bietet sich an, das mittlere Alter zum ersten Messzeitpunkt (oder gemittelt über alle Messzeitpunkte) als Referenzpunkt für den Interzept zu wählen. Ist die Stichprobe altersheterogen, so ist bei der häufig gewählten Option, Zeit als Dauer seit Beginn der Studie zu definieren und Alter als Kovariate ins Modell aufzunehmen, zu bedenken, dass der Zusammenhang von Niveau und Steigung für verschiedene Altersgruppen unterschiedlich stark sein könnte und dass dieser Umstand dann nicht angemessen berücksichtigt wird (Metha & West, 2000).

Dennoch kann ein derartiges Vorgehen angemessen sein, und zwar dann, wenn man an Zusammenhängen zwischen individuellen Unterschieden in mehreren Veränderungsprozessen interessiert ist. Diese individuellen Unterschiede können in vielen Fällen besser geschätzt werden, wenn die Daten nicht am Alter, sondern am Messzeitpunkt ausgerichtet werden.

Wichtig ist demnach die Einsicht, dass die Zeitachse je nach Fragestellung frei gewählt werden kann. So kann zum Beispiel die Zeit bis zum Tode retrospektiv als Zeitreferenz gewählt werden, um die Hypothese eines *terminal decline* (Riegel & Riegel, 1972) zu überprüfen. Auch die Zeiten bis zu oder seit einer bestimmten Diagnose oder eines normativen Lebensereignisses können im Rahmen der *Full-Information-Maximum-Likelihood* (FIML)-Schätzung verwendet werden (z. B. Sliwinski, Hofer, Hall, Buschke & Lipton, 2003), sofern dieses Ereignis bei allen Personen stattgefunden hat und die entsprechenden Informationen auch vorliegen, weil die Personen nur dann auf dieser Zeitachse angeordnet werden können. Aktuelle Entwicklungen, die LGMs mit Methoden der Überlebensanalyse (*survival analysis*) kombinieren, versprechen hier eine weitere Flexibilisierung, da das entsprechende Ereignis nicht bei allen Personen bereits oder überhaupt stattgefunden hat oder stattfinden muss (z. B. Ghisletta, McArdle & Lindenberger, 2006; Muthén & Maysn, 2005).

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass das Verfahren der FIML-Schätzung einen optimalen Umgang mit dem Problem schwindender Stichproben in längsschnittlichen Studien erlaubt. Ist die sogenannte *Missing-at-Random* (MAR)-Annahme gegeben, so können auch bei selektivem Stichprobenschwund unverzerrte Schätzungen der Veränderungsfunktion erzielt werden (Schafer & Graham, 2002). Mit MAR ist gemeint, dass Stichprobenschwund durchaus selektiv sein kann, die ausfallen-

den sich von den weiter teilnehmenden Personen also bezüglich der abhängigen Variablen unterscheiden, dass sich aber die Wahrscheinlichkeit der weiteren Teilnahme aus der empirisch vorhandenen und im Modell repräsentierten Information vorherzusagen lässt. Selbst wenn diese für die weitere Teilnahme prognostische Information nur in geringem Ausmaß vorhanden ist, so lässt sich dennoch argumentieren, dass die Verwendung einer FIML-Schätzung unter Verwendung aller vorhandenen Daten, und seien es für einzelne Personen nur Daten vom ersten Messzeitpunkt, eine bessere Schätzung der Veränderungsfunktion erlaubt als eine ausschließliche Betrachtung der Teilstichprobe, die zu allen Zeitpunkten Daten aufweist. Dabei ist es vorteilhaft, alle potentiell mit dem Ausfallprozess zusammenhängenden Variablen mit ins Modell aufzunehmen (Collins, Schafer & Kam, 2001).

Mittels latenter Faktoren können nicht nur Alter oder Zeit, sondern auch zusätzliche Informationen bezüglich zeitlich geordneter Ereignisse kodiert werden. Dies erlaubt zum Beispiel die Schätzung von Retesteffekten bei wiederholter Vorgabe kognitiver Tests (z. B. Lövdén et al., 2004). Dadurch dass LGMs Spezialfälle konfirmatorischer Faktorenanalysen beziehungsweise von Strukturgleichungsmodellen sind, ergeben sich eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Erweiterung der Modelle. So können zusätzliche Variablen oder latente Faktoren als Antezedenzen, Korrelate oder Konsequenzen der verschiedenen latenten Basisfaktoren verwendet werden. Da das LGM einen Veränderungsprozess darstellt und die zusätzlichen Variablen ebenfalls in der Zeit verortet werden können, erlauben diese Erweiterungen des LGMs wesentlich gehaltvollere Betrachtungen und Überprüfungen kausaler Hypothesen als Methoden, die auf querschnittlichen Daten basieren. Außerdem ist es möglich, hierarchische Faktorenstrukturen zu realisieren, indem

sogenannte *Factors-of-Curves-* oder *Curves-of-Factors-*Modelle (McArdle, 1988; siehe auch Duncan, Duncan, Strycker, Li & Alpert, 1999) verwendet werden, in denen die kommunale Veränderungsvarianz verschiedener Variablen erfasst wird. Bei solchen Modellen stellt sich dann wieder die Frage nach der Invarianz der Faktorenstrukturen über die verschiedenen Messzeitpunkte (Tisak & Meredith, 1990).

1.3.2 Mehrebenenmodelle

Alternativ zu LGMs im Rahmen von Strukturgleichungsmodellen können auch Mehrebenenmodelle (*multilevel models*; auch *hierarchische lineare Modelle*, *random effects models* oder *mixed models* genannt) zur Analyse von Veränderungsdaten herangezogen werden. Es lässt sich zeigen, dass das zugrundeliegende statistische Modell von LGM und Mehrebenenmodellen weitgehend identisch ist (z. B. Curran, 2003). Den Mittelwerten der latenten Faktoren im LGM entsprechen die *fixed effects* im Mehrebenenmodell, die Varianzen der Veränderungsfaktoren werden als *random effects* implementiert. Dem mittels der Faktorladungen festgelegten Veränderungsmodell entspricht die Designmatrix im Mehrebenenmodell. Viele Modelle lassen sich daher mit beiden Methoden gleichermaßen und mit identischen Ergebnissen schätzen. Traditionell bestanden jedoch auch Unterschiede zwischen beiden Methoden, die zum Teil auch fortbestehen (Ghisletta & Lindenberger, 2004). Diese können dadurch charakterisiert werden, dass LGMs eine größere Flexibilität bezüglich des Strukturmodells, Mehrebenenmodelle größere Flexibilität bezüglich der Datenstrukturen aufweisen. Während bei LGMs die Veränderungsfaktoren beliebig mit komplexen Strukturmodellen verknüpft werden können, ist in Mehrebenenmodellen nur die Hinzunahme von Prädiktoren möglich. Mehrebenenmodelle erlauben auch keine hierarchischen Faktorenstrukturen für das Veränderungs-

1 Grundlagen

modell und weniger Flexibilität bei der Spezifizierung der Korrelationsstruktur der Residualterme. Dafür können in Mehrebenenmodellen beliebige Datenstrukturen mit fehlenden Werten und unterschiedlichen Kodierungen der Zeitinformation direkt verwendet werden. Dieser Vorteil ist gegenüber modernen Strukturgleichungsmodellverfahren mit FIML-Schätzung und automatischer Erzeugung der notwendigen Faktorladungsmatrizen jedoch nicht mehr relevant. Weitere Unterschiede bestehen in zum Teil unterschiedlichen Schätzalgorithmen (*maximum likelihood*, ML, vs. *restricted maximum likelihood*, REML; siehe Snijders & Bosker, 1999) und der in Mehrebenenmodellen bislang fehlenden Möglichkeit einer direkten Testung der Anpassungsgüte des Modells.

Der wichtigste Vorteil von Verfahren der Mehrebenen tradition liegt unserer Ansicht nach jedoch gegenwärtig darin, dass für Mehrebenenmodelle Weiterentwicklungen für nichtlineare Modelle bestehen, die eine Vielzahl interessanter Möglichkeiten bieten, individuelle Veränderungen und interindividuelle Unterschiede in diesen Veränderungen zu beschreiben und damit den grundlegenden Zielen der Entwicklungspsychologie näher zu kommen versprechen als bisherige Methoden (Davidian & Giltinan, 1998). So sehen beispielsweise allgemeinspsychologische Modelle für Lernkurven nichtlineare Funktionen vor, wie Exponential- oder Potenzfunktionen (Schmiedek & Li, 2006), die sich mittels LGMs kaum modellieren lassen (siehe jedoch Blozis, 2004; Browne, 1993). In nichtlinearen Mehrebenenmodellen lassen sich beliebige nichtlineare Veränderungsfunktionen für die Individuenebene spezifizieren und interindividuelle Unterschiede als *random effects* der entsprechenden Parameter realisieren. Darüber hinaus sind auch sogenannte *multiphase models* (Cudeck & Klebe, 2002) möglich, bei denen verschiedene Phasen mit qualitativ unterschiedlichen Veränderungsfunktionen einander folgen

und sich die Zeitpunkte der Phasenübergänge von Person zu Person unterscheiden können. Dies trägt dem Umstand Rechnung, dass mittlere Veränderungen oftmals keine gute Annäherung an individuelle Veränderungsverläufe darstellen (Estes, 1956). Ein klassisches Beispiel hierfür geben Paul Baltes und Labouvie (1973). Wie in **Abbildung 3** erkennbar, kann das Vorliegen interindividuell verschiedener Übergangzeitpunkte zwischen Phasen von Stabilität und Veränderung zu einer glatten mittleren Veränderung führen, die für keine der individuellen Veränderungsfunktionen charakteristisch ist. Um interindividuell verschiedene Veränderungsfunktionen zu berücksichtigen, steht diesen Entwicklungen auf der Seite der LGMs die Einführung von Mischverteilungsmodellen gegenüber, die in eher explorativer Weise die Identifikation von latenten Klassen mit unterschiedlichen Veränderungsfunktionen erlauben (Muthén, 2004; siehe auch Bauer & Curran, 2003, zu damit verbundenen methodischen Problemen).

1.3.3 Latente Differenzwertmodelle

Vor dem Hintergrund der ständig zunehmenden Flexibilität der verfügbaren Methoden scheint es uns mittlerweile möglich und sogar geboten, sich bei der Wahl der Auswertungsmethoden und Auswertungsmodelle in stärkerem Maße von theoretischen Überlegungen leiten zu lassen, als dies in der Vergangenheit zumeist üblich war. Nur auf diese Weise wird es gelingen, mit der Vielfalt der statistischen Möglichkeiten sinnvoll umzugehen. Ein solcher Perspektivenwechsel wird durch die Formulierung allgemeiner Modellstrukturen erleichtert, aus denen sich derzeit am häufigsten Modellvarianten als Spezialfälle ableiten lassen.

Eine sehr allgemeine Modellstruktur lässt sich durch die Verwendung von sogenannten latenten Differenzwerten im Rahmen von Strukturgleichungsmodellen erzielen (McArdle & Hamagami, 2001). Latente

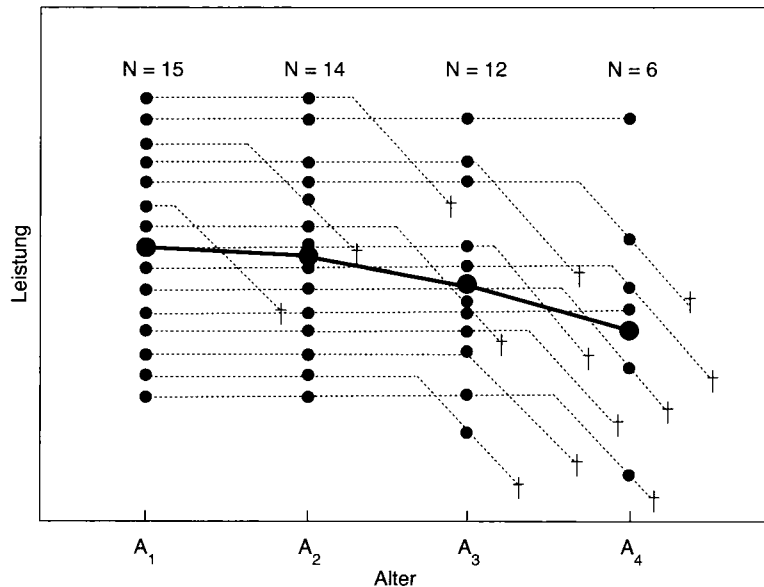


Abb. 3: Der Verlauf altersgrader Mittelwerte (fette Linie) von individuellen *Terminal-Decline*-Veränderungsverläufen (gepunktete Linien). Der mittlere Verlauf reflektiert nicht die bezüglich der Zeit bis zum Tode (Kreuze) invariante beschleunigte Verlaufsform (aus Baltes, P. B. & Labouvie, G. V. Adult 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. © 1973, adapted with permission).

Differenzwerte beschreiben die Veränderung von einem Zeitpunkt zum nächsten auf der Ebene wahrer Werte und lassen sich in Strukturgleichungsmodellen durch die Einführung zusätzlicher latenter Variablen und entsprechender Parameterrestriktionen, wie in **Abbildung 2** (s. S. 75) dargestellt, realisieren. Anders als in den bisher besprochenen Modellen werden hier also Veränderungswerte als Variablen ins Modell aufgenommen. Dies erlaubt, dass Veränderung direkt als Funktion anderer Variablen behandelt werden kann, ein Umstand, der aus substanzwissenschaftlicher Perspektive als großer Gewinn anzusehen ist. In dem allgemeinen Modell in **Abbildung 2** sind die Veränderungen von einem Zeitpunkt zum nächsten abhängig von einer generellen additiven Veränderungsfunktion (dem latenten Wachstumsfaktor

S), von den jeweils vorherigen Werten (vermittelt über einen proportionalen Veränderungseffekt α) sowie von zeitpunktspezifischen Einflussfaktoren z . Latente Wachstumsmodelle sind vereinfachte Spezialfälle dieses Modells. So lässt sich ein lineares Wachstumsmodell durch Weglassen der autoproportionalen Effekte α und der Residualterme z und Wählen eines konstanten Wertes für α ableiten (**Abb. 2a**). Lässt man dagegen den latenten Veränderungsfaktor S und die autoproportionalen Effekte weg, so ergibt sich ein latentes Markov-Simplex-Modell, in dem Veränderung allein auf zeitpunktspezifische stochastische Einflüsse zurückgeführt wird (**Abb. 2b**). Abhängig von theoretischen Überlegungen können ausgehend von der dargestellten Modellstruktur durch Restriktionen oder Erweiterungen vielfältige Veränderungsprozesse erfasst

1 Grundlagen

werden. Grundsätzlich lassen sich diese Modelle mithilfe von Software für Strukturgleichungsmodelle schätzen. Wie gut dies in der Praxis, etwa bei Anwendungen mit nur wenigen Beobachtungszeitpunkten oder vielen fehlenden Werten, möglich ist, muss von Fall zu Fall anhand von empirischen Daten, entsprechenden Simulationen und statistisch-mathematischen Überlegungen überprüft werden.

Der beschriebene Ansatz mit latenten Differenzwerten erlaubt auch eine flexiblere und integrativere Untersuchung von Zusammenhängen der Veränderungen in mehreren Variablen. Es ist allgemein bekannt, dass längsschnittliche Daten grundsätzlich die Untersuchung von solchen Zusammenhängen erlauben. Zum einen gehören, aufbauend auf Markov-Simplex-Modellen, Analyseverfahren mit sogenannten *Cross-lagged*-Effekten zu den Standardverfahren. Dabei werden interindividuelle Unterschiede in einer Variablen zum Zeitpunkt t aus interindividuellen Unterschieden einer anderen Variable zum Zeitpunkt $t-1$ vorhergesagt. An diesen Modellen ist kritisiert worden, dass sich Aussagen über interindividuelle Unterschiede in Veränderungen nur unzureichend aus der alleinigen Betrachtung von interindividuellen Unterschieden zu verschiedenen Zeitpunkten ableiten lassen (Hertzog & Nesselroade, 1987). Im Rahmen von latenten Wachstumsmodellen wird die Frage nach Zusammenhängen von Veränderungen in mehreren Variablen meist mittels korrelierter Steigungsfaktoren modelliert. Es wird dabei untersucht, ob interindividuelle Unterschiede in den Veränderungen beider Variablen miteinander zusammenhängen. Die statistische Teststärke zur Absicherung solcher Zusammenhänge ist jedoch auch bei großen Stichproben erstaunlich gering (Hertzog, Lindenberger, Ghisletta & von Oertzen, 2006).

Ein allgemeines Modell für Veränderungsprozesse wie in **Abbildung 2** erlaubt nun auch eine flexiblere Beschreibung der Zu-

sammenhänge zwischen Veränderungen mehrerer Variablen, insbesondere dann, wenn diese simultan mithilfe eines multivariaten Veränderungsmodells dargestellt werden. Insbesondere lässt sich die Veränderung in einer Variablen als Funktion der Werte einer anderen Variablen zu einem früheren Zeitpunkt beschreiben. Die zuvor erwähnten Möglichkeiten korrelierter *Slope*-Faktoren oder *Cross-lagged*-Effekte lassen sich wiederum als Spezialfälle dieses allgemeinen Modells darstellen. Die verschiedenen Modelle stellen daher weder unvereinbare Gegensätze noch alternative Analysemöglichkeiten derselben Fragestellung dar, sondern behandeln unterschiedliche Aspekte, die sich auch gemeinsam betrachten lassen (siehe auch Bollen & Curran, 2004). Durch solche integrativen Modelle lassen sich dynamische Kopplungen verschiedener psychologischer Funktionsbereiche gezielt formulieren und testen, wie erste erfolgreiche Anwendungen dieser Modelle zeigen (z. B. Ghisletta & Lindenberger, 2003; Lövdén, Ghisletta & Lindenberger, 2005; McArdle et al., 2004).

1.4 Kombination quer- und längsschnittlicher Designs: Sequenzdesigns

Die Einschränkungen sowohl quer- als auch längsschnittlicher Studiendesigns werden besonders deutlich, wenn der Versuch unternommen werden soll, das Zusammenspiel altersgradiertes, historisch gradiertes und nichtnormativer Einflussgrößen auf mittlere und interindividuell verschiedene Veränderungen zu trennen und deren Interaktion zu erfassen (P. Baltes, Cornelius & Nesselroade, 1979). Hierzu ist es nötig, Folgen von quer- und längsschnittlichen Untersuchungen zu verwenden, die sogenannten Sequenzdesigns (P. Baltes, 1968; Schaie, 1965, 1996). **Abbildung 4** stellt die aus einer Abfolge von je zwei querschnittlichen und

1.3 Methodologische Grundlagen

längsschnittlichen Sequenzen resultierenden Erhebungspläne dar. Die querschnittliche Sequenz ist eine wiederholte Durchführung von Querschnittstudien gleicher Altersbereiche zu verschiedenen Zeitpunkten und daher unterschiedlichen Kohortenzusammensetzungen. Die längsschnittliche Sequenz besteht aus zu verschiedenen Zeitpunkten beginnenden längsschnittlichen Untersuchungen von Stichproben unterschiedlicher Geburtskohorten, aber gleichen Alters zu Beginn der Studie. Die Kombination beider Designs erlaubt eine Erfassung von alters- und kohortenbezogener Veränderung sowie die Identifizierung von zeitlich umschriebenen historischen Einflussgrößen, den sogenannten Periodeneffekten. Eine optimale Informationsdichte lässt sich erzielen, wenn querschnittliche altersheterogene Stichproben längsschnittlich weiter untersucht und zu den jeweiligen Messzeitpunkten zusätzlich neue Teilnehmer mit der gleichen Altersverteilung wie zum ersten Zeitpunkt, also zum Teil aus denselben und zum Teil aus jüngeren Geburtskohorten, gezogen werden. Bekannte Beispiele für dieses Erhebungsdesign sind die *Seattle Longitudinal Study* (Schaie, 2005) und die *Betula-Studie* (Nilsson et al., 2004).

Eine angemessene methodische Behandlung von Kohorteneffekten setzt eine konzeptuelle Klärung des theoretischen Status der Kohortenvariable voraus. Im Rahmen der Lebensspannenpsychologie erscheint es sinnvoll zu sein, zumindest drei Sichtweisen von Kohorteneffekten zu unterscheiden (P. Baltes et al., 1979).

- Erstens können Kohortenunterschiede als eine Quelle von Stör- oder Fehlervarianz angesehen und damit als ein Teil der im Rahmen der Untersuchung psychologischer Phänomene immer vorhandenen und von vielfältigen Ursachen beeinflussten interindividuellen Unterschiede aufgefasst werden. Die zugrundeliegenden Ursachen für Kohortenunterschiede wer-

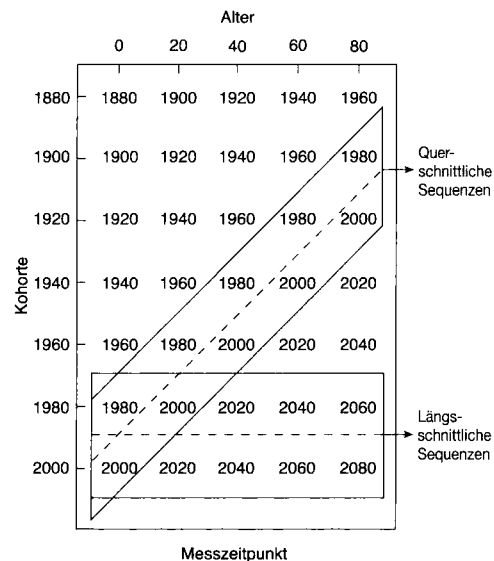


Abb. 4: Gemeinsame Darstellung von Geburtskohorten, Alter und Messzeitpunkten für querschnittliche Sequenzen zu den Messzeitpunkten 1980 und 2000 und längsschnittliche Sequenzen, beginnend in den Jahren 1980 und 2000 (aus P. Baltes, Lindenberger & Staudinger, 2006).

den dann als irrelevant im Sinne der interessierenden Fragestellung angesehen.

- Zweitens kann Kohorte als eine Dimension der Generalisierbarkeit von Ergebnissen angesehen werden. Damit wird kohortenbezogene Varianz als primär relevant für die Beurteilung der externen Validität von entwicklungspsychologischen Befunden betrachtet. Für die Abschätzung der Invarianz von Entwicklungsprozessen über verschiedene Kohorten sind Sequenzdesigns besonders gut geeignet.
- Drittens können Kohortenunterschiede auch als theoretische Prozesse aufgefasst werden. Analog zur Behandlung von Alter als abhängiger Variable führt dies zu dem Versuch, aufgrund theoretischer Überlegungen Antezedenzen, Korrela-

1 Grundlagen

te und Konsequenzen von Kohortenunterschieden zu untersuchen und damit die an sich inhaltsleere Variable Kohorte (= Geburtsjahrgang) mit Leben zu füllen (siehe auch Masche & van Dulmen, 2004), so zum Beispiel als Einflussgrößen, die einen ersten Aufschluss über die Bandbreite von Entwicklungsprozessen zu geben vermögen (vgl. P. Baltes, 1987; P. Baltes, Lindenberger & Staudinger, 2006). Eine solche Einbettung von Kohorteneffekten in theoretische Modelle geht über den von Schaie (1965) propagierten Vorschlag hinaus, aus beobachteten Alters-, Messzeitpunkt- und Kohortenunterschieden direkt auf Reifungs-, Umwelt- und Erblichkeitseffekte zu schließen. Wie bereits der Ausgang der *Schaie-Baltes-Kontroverse* zeigte (P. Baltes, 1968; Schaie, 1965), wäre es verfehlt anzunehmen, dass bestimmte Strategien der Datensammlung und Datenbeschreibung, und seien sie noch so vollständig, unmittelbar zur Erklärung von Entwicklungsprozessen führen (P. Baltes, 1968; Schaie & Baltes, 1975).

Falls Kohorteneffekte als vernachlässigbar angesehen werden können, bietet sich auch die Möglichkeit einer Kombination von quer- und längsschnittlicher Information in sogenannten beschleunigten Längsschnitt-*designs* (*accelerated longitudinal approach*; Bell, 1953). Hierbei werden mehrere Kohorten unterschiedlichen Alters über einen im Vergleich zur insgesamt umfassten Altersspanne kurzen Zeitraum längsschnittlich untersucht. Dabei müssen die Altersstufen der verschiedenen Kohorten aneinander anschließen, das heißt, jede Kohorte muss auf mindestens einer Altersstufe mit mindestens einer anderen Kohorte überlappen. Ist dies der Fall, kann die längsschnittliche Information der einzelnen Kohorten verwendet werden, um mittels LGMs eine allgemeine Veränderungsfunktion über den gesamten Altersbereich zu

schätzen (McArdle & Hamagami, 2001). Diese Schätzung wird durch den Einsatz von FIML-Methoden erheblich verbessert und entspricht der zuvor erwähnten Option, Alter auch bei altersheterogenen längsschnittlichen Stichproben als Zeitdimension zu verwenden. Im Extremfall kann diese Methodik sogar dazu verwendet werden, mit nur zwei Messzeitpunkten pro Person Veränderungsfunktionen über die gesamte Lebensspanne zu schätzen (z. B. McArdle, Ferrer-Caja, Hamagami & Woodcock, 2002). Die erforderliche Abwesenheit von Interaktionen zwischen Alter und Kohorten lässt sich statistisch überprüfen (Miyazaki & Raudenbush, 2000).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die in den letzten Jahrzehnten erfolgten Entwicklungen statistischer Modelle für Längsschnittdaten und deren Implementierung in Softwarepaketen hervorragende Möglichkeiten eröffnet haben, die schon lange geforderte größere Korrespondenz zwischen theoretischen und statistischen Modellen zu verwirklichen und dabei flexibel quer- und längsschnittliche Information verschiedener Erhebungspläne zu kombinieren und zu integrieren (siehe auch Collins, 2006). Umgekehrt ist zu hoffen, dass die Erweiterung der statistischen Möglichkeiten dazu führen wird, dass theoretische Annahmen über Veränderungsprozesse expliziter und genauer formuliert werden als dies gegenwärtig oft der Fall ist.

Ogleich die bislang diskutierten neueren Verfahren es erlauben, interindividuelle Unterschiede in intraindividuellen Veränderungen zu beschreiben, geschieht dies jedoch fast immer unter der Annahme, dass den Veränderungen aller Personen dieselbe Veränderungsfunktion zugrunde liegt. Es gibt gute Gründe, diese Annahme anzuzweifeln und Forschungsstrategien zu fordern, die Veränderung zunächst strikt auf der individuellen Ebene untersuchen. Darauf soll im nächsten Teil eingegangen werden.

2 Individuenbezogene Ansätze zur Analyse von Veränderungsprozessen

Die bisher besprochenen Methoden haben gemeinsam, dass sie die Formulierung von allgemeinen Veränderungsfunktionen betonen und interindividuelle Unterschiede als Abweichung von einer durch diese allgemeinen Funktionen definierten Norm beschreiben. Diesem populationsbezogenen Ansatz kann ein individuumsbezogener Ansatz, der Veränderung zunächst auf der Ebene einzelner Personen untersucht, gegenübergestellt werden. Diese Unterscheidung ist nicht gleichbedeutend mit dem Unterschied zwischen nomothetischen und ideographischen Verfahren, da auch ein individuumsbezogener Ansatz dem Forschungsziel der Entdeckung allgemeiner Gesetze der psychischen Entwicklung verpflichtet sein kann (Lindenberger & von Oertzen, 2006).

Vertreter einer Personenorientierung in der Entwicklungspsychologie argumentieren, dass die Entwicklung der einzelnen Person als System den eigentlichen Erkenntnisgegenstand der (Entwicklungs-)Psychologie darstellt (z. B. Bergman, Eklund & Magnusson, 1991). Die dieses System konstituierenden Prozesse werden als ausreichend organisiert und beobachtbar angesehen, um den Einsatz von personenbezogenen Untersuchungs- und Auswertungsdesigns zu rechtfertigen. In einem zweiten Schritt können typische Muster von Veränderungsprozessen über verschiedene Personen hinweg identifiziert und zu Typen zusammengefasst werden. Dies kann zur Formulierung von Veränderungstypologien unterschiedlich großer Generalisierbarkeit führen.

Im Vergleich zum populationsbezogenen Ansatz erlaubt der personenbezogene Ansatz die Erfassung und Modellierung größerer und tiefergreifender Entwicklungsun-

terschiede zwischen verschiedenen Personen oder Gruppen von Personen.

Vertreter des personenbezogenen Ansatzes verweisen darauf, dass eine voreilige Aggregation von individuellen Daten zu durchschnittlichen Verläufen zu Verzerrungen und Fehlschlüssen führen kann. So kann es vorkommen, dass mittlere Veränderungsverläufe kein einziges der zugrundeliegenden Individuen zutreffend charakterisieren. Beispielsweise kann die Aggregation von interindividuell verschiedenen exponentiellen oder aufgrund von Strategie wechseln diskontinuierlichen Lernkurven eine Potenzfunktion auf Gruppenebene erzeugen, die den Verlauf aller beobachteten Personen verfehlt (Haider & Frensch, 2002; Myung, Kim & Pitt, 2000). Des Weiteren geben korrelative Zusammenhänge, die zwischen Personen beobachtet wurden, keinen direkten Aufschluss über die Zusammenhänge derselben Variablen innerhalb der untersuchten Personen. Wie sich an einfachen Beispielen zeigen lässt, können beide Analyseebenen sogar einander entgegengesetzte Zusammenhänge aufweisen (Schmitz, 2000).

Die grundsätzliche Unabhängigkeit multivariater Beziehungen innerhalb und zwischen Personen führt dazu, dass Schlüsse von der einen auf die andere Ebene nur unter äußerst restriktiven Annahmen möglich sind (Borsboom, Mellenbergh & van Heerden, 2003; Molenaar, 2004). Die in exploratorischen oder konfirmatorischen Faktorenanalysen modellierten Faktoren müssen als Konstrukte zur Beschreibung interindividueller Unterschiede aufgefasst werden. Ob die dabei beschriebenen systematischen Zusammenhänge von verschiedenen Variablen Gruppen auch funktionale Zusammenhänge innerhalb einzelner Individuen erfassen, muss hingegen auf der Analyseebene einzelner Individuen untersucht werden. Dazu sind Studiendesigns mit multivariaten Zeitreihen für einzelne Personen erforderlich. Die dazu notwendigen Veränderungen

1 Grundlagen

der Methodik verlangen ein grundsätzliches Umdenken sowie die Weiterentwicklung und Neuentwicklung dynamischer, multivariater statistischer Verfahren (z. B. Hamaker, Dolan & Molenaar, 2005). Dabei sollte das Ziel einer Integration personenbezogener und populationsbezogener Perspektiven nicht aus dem Blick geraten. Zwar kann der Forderung nach einer angemessenen Beschreibung der einzelnen Person im Rahmen eines ideographischen Ansatzes Rechnung getragen werden. Es ergibt sich jedoch die neue Herausforderung, wie sich die Daten einzelner Individuen wieder in allgemeine Modelle integrieren lassen, wenn diese sich in ihrer Struktur und nicht nur in ihren Parameterwerten unterscheiden.

Intraindividuelle Fluktuationen verschiedener psychologischer Funktionsbereiche sind für die Entwicklungspsychologie auch inhaltlich von großem Interesse. Konzeptuell lassen sich hierbei verschiedene Funktionen unterscheiden (S.-C. Li, Huxhold & Schmiedek, 2004; Lindenberger & von Oertzen, 2006), wie zum Beispiel adaptive Formen der Variabilität beim Erlernen neuer Fähigkeiten (z. B. Siegler, 1994) oder auch dysfunktionale Variabilität im Sinne geringer Prozessstabilität (z. B. S.-C. Li et al., 2004). Die Bedeutung einer stärkeren Beachtung intraindividuelle Fluktuationen im Verhalten wird besonders deutlich, wenn man bedenkt, dass das Ausmaß solch intraindividuelle Unterschiede einen großen Anteil der zu einem beliebigen Zeitpunkt beobachtbaren interindividuellen Unterschiede erklären kann (z. B. Nesselroade & Salthouse, 2004). Aus Sicht der Lebensspannenpsychologie sollte eine Konzeptualisierung angestrebt werden, die längerfristige intraindividuelle Veränderungen mit intraindividuellen Merkmalsverteilungen von eher kurzfristigen Schwankungen zusammenbringt (Lindenberger & von Oertzen, 2006; J. Nesselroade, 1991). Die dafür erforderlichen Methoden werden ge-

genwärtig entwickelt (siehe Walls & Schaffer, 2006).

3 Empirisches Beispiel I: Vergleich verschiedener Methoden anhand von Forschungsarbeiten zum Zusammenhang von Aktivität und Kognition

Im Folgenden sollen die bisher besprochenen Methoden noch einmal anhand von Beispielen zu einem Forschungsthema der Lebensspannenpsychologie zueinander in Beziehung gestellt werden. Ein wichtiges Forschungsthema zur kognitiven Entwicklung im Erwachsenenalter betrifft die Frage, ob das Ausmaß an kognitiver, sozialer und körperlicher Aktivität die Veränderung kognitiver Leistungsfähigkeit beeinflussen kann. Ein denkbarer positiver Einfluss wird gerne als sogenannte *Use-it-or-lose-it*-Hypothese bezeichnet. Nähert man sich dieser Thematik zunächst mit querschnittlichen altersheterogenen Daten, so zeigen sich sowohl für das Ausmaß an Aktivitäten als auch für viele kognitive Fähigkeiten negative Alterskorrelationen, während Aktivität und kognitive Variablen gewöhnlich positiv miteinander korrelieren. Diese Trias bivariater Zusammenhänge lädt nun zu Spekulationen über die zugrundeliegenden kausalen Mechanismen ein. Es ist denkbar, dass Aktivität einen positiven Einfluss auf Hirnfunktionen und damit verbundene Leistungsniveaus hat, es ist aber auch denkbar, dass weniger stark eingeschränkte kognitive Fähigkeiten mehr Aktivität erlauben. Zur Klärung der Frage, welche der beiden möglichen Kausalrichtungen plausibler ist, werden gerne hierarchische Regressionsanalysen beziehungsweise Pfadanalysen herangezogen. Dabei finden sich in der Literatur Beispiele für beide theoretische Modelle. Margret Baltes und Kollegen (M.

Baltes, Mayr, Borchelt, Maas & Wilms, 1993) berichten ein Modell für querschnittliche Daten der Berliner Altersstudie, in dem Altersunterschiede in der erweiterten Alltagskompetenz – einem Aggregat verschiedener Indikatoren kognitiver und sozialer Aktivitäten – durch interindividuelle Unterschiede in fluider Intelligenz vermittelt werden. Zugleich zeigen Salthouse, Berish und Miles (2002), dass das Ausmaß an kognitiven Aktivitäten Altersunterschiede im kognitiven Leistungsniveau nur zu einem sehr geringen Anteil aufklären kann. Ein solches Befundmuster scheint nahe zu legen, dass Altersunterschiede in kognitiven Fähigkeiten Altersunterschiede in der Aktivität hervorrufen. Zunächst muss jedoch festgestellt werden, dass eine derartige korrelative Datengrundlage keine kausalen Schlussfolgerungen rechtfertigt. Beide Wirkrichtungen könnten bei Beobachtung beider Datenmuster gültig sein. Obwohl für die eindeutige Identifikation von kausalen Mechanismen experimentelle Interventionsstudien nötig wären, bieten Längsschnitt- im Vergleich zu Querschnittuntersuchungen den Vorteil, dass durch die zeitliche Ordnung beobachteter Veränderungen stärkere Hinweise auf kausale Wirkrichtungen gefunden werden können. Längsschnittliche Befunde zur *Use-it-or-lose-it*-Hypothese liegen im Rahmen mehrerer Längsschnittstudien vor. Dabei kamen unterschiedliche Analyseverfahren zum Einsatz. Im Forschungsprogramm von Kohn und Schooler (1983) wurde *Intellektuelle Flexibilität* als ein Maß kognitiver Fähigkeiten zu kognitiven Anforderungen der individuellen Berufslaufbahn in Beziehung gesetzt. Dabei wurden *Cross-lagged-Panel*-Analysen verwendet, die Hinweise auf reziproke Effekte zwischen beiden Variablen ergaben. Bei diesen Modellen wird Veränderung allerdings nur indirekt, als Status zu einem späteren Zeitpunkt unter Kontrolle des Status zu einem früheren Zeitpunkt, erfasst. Die diesem Verfahren

zugrundeliegende Logik ist, dass interindividuelle Unterschiede zu einem Zeitpunkt, die nicht mit interindividuellen Unterschieden derselben Variable zu einem früheren Zeitpunkt vorhergesagt werden können, Veränderungen repräsentieren, die wiederum durch andere Variablen vorhergesagt werden können.

Eine direkte Erfassung des Zusammenhangs von Veränderungen in den beiden interessierenden Konstrukten wird in LGMs durch die Modellierung von Korrelationen der latenten Veränderungsfaktoren erzielt. Hultsch, Hertzog, Small und Dixon (1999) geben ein Beispiel für solche Analysen mit Daten der *Victoria Longitudinal Study*. Es ergab sich ein signifikanter Zusammenhang von latenten Veränderungsfaktoren für Arbeitsgedächtnis und Aktivitäten, die das Verarbeiten neuer Information erfordern, und zwar derart, dass positivere (weniger negative) Veränderungen in entsprechenden Aktivitäten systematisch mit positiveren (weniger negativen) Veränderungen in Arbeitsgedächtnisleistungen einhergingen. Obwohl hier Veränderungen direkt und messfehlerbereinigt untersucht werden, findet keine dynamische Modellierung der Veränderungen statt. Angenommen und nachgewiesen wird die statische Kopplung zwischen zwei parallel verlaufenden Veränderungen.

Das bivariate *dual-change score model* geht in dieser Hinsicht einen Schritt weiter. Hier können Hypothesen über die potentielle Dynamik des Zusammenhangs flexibel gegeneinander getestet werden. Die Analyse von längsschnittlichen Daten der Berliner Altersstudie durch Lövdén, Ghisletta und Lindenberger (2005) bietet hierfür ein Beispiel. So werden in dieser Arbeit Modelle, in denen interindividuelle Unterschiede in sozialkognitiven Aktivitäten zu einem Zeitpunkt spätere Veränderungen in der Kognition vorhersagen, mit Modellen verglichen, die einen gegenläufigen Zusammenhang annehmen. Die Ergebnisse spre-

1 Grundlagen

chen klar für eine führende Rolle des Aktivitätsniveaus auf kognitive Leistungen im Alter. Obwohl das bivariate *dual-change score model* Veränderungsprozesse und deren Wirkrichtungen deutlich flexibler modelliert, so bestehen doch auch hier noch Annahmen und Einschränkungen, die bei der Interpretation beachtet werden müssen. So wird etwa davon ausgegangen, dass der Veränderungs- und Kopplungsprozess stationär, das heißt über die Zeit stabil ist und dass keine interindividuellen Unterschiede in der Stärke der Kopplung bestehen. Eine Aufgabe dieser Einschränkungen würde eine deutlich höhere Anzahl an Messzeitpunkten pro Person und anspruchsvolle Methoden der Zeitreihenanalyse erfordern. Eine eindeutigere Interpretation im Sinne kausaler Zusammenhänge würde zusätzlich stärker interventionsorientierte Methoden erfordern, da auch in den komplexeren Längsschnittanalyseverfahren bei Fehlen von experimenteller Kontrolle immer das Problem einer Konfundierung durch Drittvariablen besteht. Über spezielle Anwendungen experimenteller Methoden in der Entwicklungspsychologie soll im folgenden Abschnitt die Rede sein.

4 *Testing the Limits*, experimentelle und formale Simulation

Die im vorigen Abschnitt behandelte Hypothese zum Zusammenhang von Aktivität und kognitiver Leistung verweist auf die allgemeine Frage nach der Plastizität von Verhalten als Funktion von Reifung, Alterung und Lernen. Diese Frage nach den latenten Potentialen von Verhalten und deren Determinanten wird im *Testing-the-Limits*-Ansatz mithilfe von zeitlich komprimierten Entwicklungsverläufen untersucht (P. Baltes, 1987; Kliegl & Baltes, 1987; Lindenberger & Baltes, 1995). Dabei steht die Er-

kundung der Grenzen von Entwicklungsmöglichkeiten im Zentrum des Interesses. Diese ergeben sich aus der *baseline reserve capacity* und der *developmental reserve capacity*. *Baseline reserve capacity* bezeichnet die einem Individuum zu einem gegebenen Zeitpunkt verfügbaren Verbesserungsmöglichkeiten, etwa durch Optimierung der Bedingungen (z. B. längere Bearbeitungszeit bei kognitiven Aufgaben) oder durch einfache Instruktion von hilfreichen Strategien. *Developmental reserve capacity* bezeichnet Entwicklungsmöglichkeiten, die darüber hinaus zum Beispiel durch komplexeres Training oder intensives Üben bestehen. Eine solche Optimierung von Umweltbedingungen und Maximierung aufgabenrelevanter Erfahrung führt Personen an individuelle Leistungsgrenzen, von denen angenommen werden kann, dass sie im Vergleich über die Lebensspanne vor allem altersgradierte biologische Begrenzungen widerspiegeln. Nach der Identifizierung solcher individueller Grenzen des Funktionsniveaus kann dann die Erklärung der Ursachen von interindividuellen Unterschieden in diesen Grenzen in den Mittelpunkt rücken. Dieses Verfahren hat gegenüber der Untersuchung von interindividuellen Leistungsunterschieden bei einmaliger Messung den Vorteil, dass interindividuelle Unterschiede an den Leistungsgrenzen weniger durch Variationen in aufgabenrelevanter Vorerfahrung beeinflusst sind und in stärkerem Maße Unterschiede in den Leistungspotentialen der Personen zum Ausdruck bringen.

Während beim *Testing-the-Limits*-Ansatz Plastizität und deren Grenzen untersucht werden, befassen sich Simulationsansätze vor allem mit der Erklärung von Entwicklungsprozessen, beinhalten aber ebenfalls den Versuch, Entwicklungsprozesse in zeitlich komprimierter Form untersuchen zu können. Theoretische Annahmen über Ursachen, Korrelate und Folgen von Entwicklungsverläufen werden überprüft, indem hypothetische Determinanten von Entwick-

lungsprozessen entweder experimentell manipuliert oder rechnerisch modelliert werden. Der Ansatz der experimentellen Simulation (vgl. P. Baltes & Goulet, 1971; Lindenberger & Baltes, 1995) sieht vor, dass die für ein Entwicklungsphänomen vermuteten kausalen Einflussfaktoren und Kontextbedingungen spezifiziert und zunächst im Laborexperiment und später innerhalb der natürlichen Umwelt manipuliert werden. Bei erfolgreicher Manipulation, das heißt bei Übereinstimmung der erzeugten experimentellen Unterschiede mit beobachteten natürlichen Entwicklungsverläufen, stellt sich jedoch dann immer noch die Frage nach der externen Validität – denn der kontrollierten Nachahmung von Entwicklungsprozessen müssen nicht zwingend dieselben Mechanismen zugrunde liegen wie dem ursprünglich beobachteten Entwicklungsphänomen.

Eine weitere Möglichkeit, theoretische Modelle von Entwicklungsprozessen gezielt zu überprüfen, ergibt sich aus dem Einsatz von Computermodellen. Hierzu werden die für ein Entwicklungsphänomen relevanten Teilaspekte als stark vereinfachte Modelle des Gesamtorganismus in eine mathematisch-algorithmische Form gebracht. So können beispielsweise Lernmechanismen des Gehirns mittels neuronaler Netzwerkmodelle (Elman, 1996), Aspekte der sensumotorischen Entwicklung mit der dynamischen Feldtheorie (Erlhagen & Schöner, 2002) oder interaktive Verhaltensweisen mehrerer Personen mittels sogenannter Software-Agenten (Bonabeau, 2002) simuliert werden. Diesen Ansätzen ist gemeinsam, dass wichtige Eigenschaften dynamischer Systeme, wie Komplexität, Nichtlinearität und Parallelität, die sich oftmals nicht formal analysieren lassen, umgesetzt werden können. Weiterhin können theoretisch relevante Parameter manipuliert und das resultierende Verhalten des Systems mit empirischen Entwicklungsdaten verglichen werden. Auf solche Weise lässt sich zum

Beispiel zeigen, dass eine einfache Manipulation der Informationsübertragung in neuronalen Netzen Altersunterschiede in einer Vielzahl kognitiver Paradigmen simulieren kann (S.-C. Li, Lindenberger & Sikström, 2001) oder dass eine experimentelle Manipulation eine ähnliche Wirkung auf das Verhalten von Kindern in der *A-not-B*-Aufgabe (experimentelle Simulation) erzielt wie die entsprechende Manipulation auf ein Modell der dynamischen Feldtheorie (Smith & Thelen, 2003). Eine besondere Stärke erlangen solche Modellierungen, wenn sie zu neuartigen Vorhersagen führen, die dann wiederum empirisch (d. h. mit »echten« Probanden) bestätigt werden (z. B. S.-C. Li, von Oertzen & Lindenberger, 2006). Der generelle Vorteil der formalen Entwicklungssimulation besteht darin, dass sie Forscher dazu anhält, ihre Annahmen und Vorhersagen über Entwicklungsprozesse formal zu spezifizieren.

5 Empirisches Beispiel II: Der Zusammenhang zwischen Sensorik/Sensumotorik und Intelligenz im Alter

Die strategischen Vorteile eines konzertierten Einsatzes verschiedener Versuchspläne und Auswertungsverfahren für die Erforschung der Dynamik und Kausalstruktur psychischer Entwicklung über die Lebensspanne sollen abschließend am Beispiel des Zusammenhangs zwischen Sensorik/Sensumotorik und Intelligenz im Alter verdeutlicht werden (siehe auch Schaefer, Huxhold & Lindenberger, 2006). Einen wichtigen Ausgangspunkt bei der Untersuchung dieses Themas bildeten querschnittlich-korrelative Studien, die vorwiegend explorativ angelegt waren und erstaunlich hohe Korrelationen zwischen Wahrnehmungsleistungen unterschiedlicher Modalitäten und Maßen der intellektuellen Leistungsfähig-

1 Grundlagen

keit bei älteren Erwachsenen zutage brachten (z. B. Lindenberger & Baltes, 1994). Paul Baltes und Lindenberger (1997) zeigten in einer altersvergleichenden, querschnittlichen Folgeuntersuchung, dass die Korrelationen zwischen Sehschärfe und Hörschwelle einerseits und der intellektuellen Leistungsfähigkeit andererseits bei älteren Erwachsenen (70–103 Jahre) in der Tat höher sind als bei jüngeren Erwachsenen (25–69 Jahre). So stieg der durch Sehen und Hören statistisch vorhergesagte Anteil an individuellen Unterschieden in fünf verschiedenen intellektuellen Fähigkeiten durchschnittlich von 11 auf 31 Prozent.

Die Zunahme der querschnittlichen Korrelationen zwischen Sensorik/Sensumotorik und Intelligenz mit dem Alter wurde allgemein als Hinweis darauf gedeutet, dass sich die Beziehungen zwischen den beiden Funktionsbereichen im Laufe des Erwachsenenalters verstärken. Dies veranlasste verschiedene Autoren zu einer Reihe von Hypothesen über die möglichen Ursachen altersbezogener Veränderungen hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Sensorik/Sensumotorik und Intelligenz (z. B. P. Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994). Drei dieser Hypothesen seien hier aufgeführt.

1. Die *Common-Cause*-Hypothese postuliert, dass den Altersunterschieden in den Bereichen Sensorik/Sensumotorik und Intelligenz gemeinsame Ursachen eingeschränkter Hirnfunktionalität zugrunde liegen.
2. Die *Sensory-Deprivation*-Hypothese nimmt an, dass altersbezogene Einschränkungen in der Qualität und Quantität sensorischen Inputs zu strukturellen oder funktionalen Veränderungen führen, die sich langfristig negativ auf die intellektuelle Leistungsfähigkeit auswirken.
3. Die *Cognitive-Permeation*-Hypothese sagt voraus, dass sensorische und sen-

sumotorische Leistungen im Alter verstärkte Anforderungen an Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis stellen und gleichsam den Charakter intellektueller Leistungen erlangen, da bei derselben Anforderung (z. B. dem Überqueren einer Straße) kognitive Prozesse weitaus stärker zum Einsatz kommen als im jungen Erwachsenenalter.

Die drei Hypothesen schließen einander nicht aus, sondern die durch sie postulierten Entwicklungsveränderungen können in komplexer Weise interagieren.

Schließlich wurde viertens eingewandt, dass die Zunahme des Zusammenhangs zwischen sensorischen und intellektuellen Leistungen mit dem Alter allein darauf beruhen könne, dass es älteren Personen aufgrund ihrer visuellen und auditiven Einschränkungen schwerer falle als jüngeren, die Testitems und die Instruktion der Tests zur Erfassung der intellektuellen Leistungsfähigkeit wahrzunehmen. Demnach wäre der vermeintlich negative Zusammenhang zwischen intellektueller Leistungsfähigkeit und Alter den sensorisch unangemessenen Umständen der intellektuellen Leistungsmessung geschuldet. Eine experimentelle Entwicklungssimulation konnte die Stichhaltigkeit dieser Überlegungen weitgehend entkräften. Lindenberger, Scherer und Baltes (2001) reduzierten die Sehschärfe und die Hörschwelle von Personen im mittleren Erwachsenenalter durch spezielle Brillen und Kopfhörer auf das Niveau von Personen im Alter von 70 bis 85 Jahren und ließen sie dann die kognitive Batterie bearbeiten, mit der zuvor bei älteren Erwachsenen die hohen Korrelationen zur Sensorik beobachtet worden waren. Entgegen der Annahme einer sensorisch-peripher bedingten Leistungsminderung zeigten die Probanden mit reduzierten sensorischen Funktionen jedoch keine niedrigeren intellektuellen Leistungen als die entsprechenden Kontrollgruppen. Somit trug das Scheitern des Ver-

suchs, das zuvor beobachtete Entwicklungsphänomen zu simulieren, dazu bei, die Plausibilität einer möglichen Erklärung zu verringern.

Die drei zuvor genannten Hypothesen – *common cause*, *sensory deprivation* und *cognitive permeation* – lassen sich mithilfe von korrelativ-querschnittlichen Datensätzen weder im Einzelnen überprüfen noch voneinander abgrenzen. Dennoch besitzen diese korrelativ-querschnittlichen Datensätze einen hohen forschungsstrategischen Stellenwert, da sie die Entdeckung dieses potentiell bedeutsamen Phänomens überhaupt erst ermöglicht hatten. In der Folge dieser Entdeckung kam es nun darauf an, durch den Einsatz weiterer, insbesondere längsschnittlicher, experimenteller und personenorientierter Versuchspläne die Natur dieses Phänomens hypothesengeleitet zu entschlüsseln.

Ein erster Zugang bieten hier Experimente mit Doppelaufgaben-Paradigmen, bei denen junge und ältere Erwachsene zugleich eine intellektuelle Aufgabe (z. B. das Einprägen von Wortlisten) und eine sensorische/sensumotorische Aufgabe (z. B. das Laufen auf einem engen und verwinkelten Pfad) bewältigen sollen. Gemäß der *Cognitive-Permeation*-Hypothese sollte der Aufmerksamkeitsbedarf des Gehens im Laufe des Erwachsenenalters zunehmen. Deswegen sollte das gleichzeitige Ausführen beider Aufgaben bei älteren Erwachsenen mit größeren Leistungseinbußen im Vergleich zum getrennten Ausführen derselben Aufgaben verbunden sein als bei jungen Erwachsenen. Diese Erwartung wurde voll bestätigt (Lindenberger, Marsiske & Baltes, 2000). Interessanterweise ließ sich der Anstieg der sensorisch-kognitiven Doppelaufgabenkosten bereits bei Personen im Alter von 40 bis 50 Jahren gegenüber Personen im Alter von 20 bis 30 Jahren beobachten. Dieser Befund wäre kaum zu erwarten, wenn die Zunahme des Zusammenhangs zwischen den beiden Funktionsbereichen

ausschließlich auf sensorische Deprivation zurückgehen würde, da normale Probanden im mittleren Erwachsenenalter kaum als sensorisch depriviert gelten können. Die Befunde von Lindenberger et al. (2000) wurden in mehreren weiteren Untersuchungen repliziert und differenziert (z. B. K. Li, Lindenberger, Freund & Baltes, 2001; Lindenberger et al., 2000; Lövdén, Schellenbach, Grossmann-Hutter, Krüger & Lindenberger, 2005). Sie stützen die Gültigkeit der *Cognitive-Permeation*-Hypothese, schließen die gleichzeitige Gültigkeit der *Common-Cause*-Hypothese jedoch nicht aus.

Die querschnittlich-korrelativen Ergebnisse ließen keine genauen Rückschlüsse darauf zu, in welchem Maße die beobachtete Zunahme des Zusammenhangs zwischen Sensorik/Sensumotorik und Intelligenz die simultane alterskorrelierte Überlagerung kausal unabhängiger Alterungsprozesse darstellt oder tatsächlich funktionale und kausale Beziehungen zwischen den beiden Domänen vorhanden sind. Längsschnittliche Untersuchungen können hier einen Schritt weitergehen, da untersucht werden kann, ob jene Personen, die überdurchschnittliche starke Einbußen in sensorischen und sensumotorischen Leistungen zeigen, auch überdurchschnittlich große Einbußen in der intellektuellen Leistungsfähigkeit aufweisen. Die entsprechenden empirischen Untersuchungen führten zu einem differenzierten Bild. So fanden Anstey, Hofer und Luszcz (2003) unter Nutzung multivariater LGMs, dass sensorische und kognitive Leistungsveränderungen miteinander korrelieren. Die Interkorrelation der Veränderungen war jedoch deutlich niedriger als die ursprünglich beobachteten querschnittlichen Beziehungen. Diese Diskrepanz der Ergebnisse deutet darauf hin, dass beim Altern von Sensorik/Sensumotorik und Intelligenz bereichsspezifische Prozesse einen größeren Stellenwert besitzen könnten, als dies die querschnittlichen Korrelationen zwischen den beiden Bereichen nahe legen.

1 Grundlagen

Allerdings erlauben es traditionelle LGMs nicht, dynamische Beziehungen zwischen Variablen zu untersuchen, da Zusammenhänge lediglich im Sinne individueller Abweichungen von einer mittleren Veränderungsfunktion erfasst werden. Demgegenüber erlauben Analysen mit dem multivariaten *dual-change score model* eine Betrachtung der dynamischen Beziehungen zwischen den Veränderungen mehrerer Variablen. So konnten Ghisletta und Lindenberger (2005) anhand von längsschnittlichen Daten der Berliner Altersstudie zeigen, dass zum einen die Sehschärfe Veränderungen der intellektuellen Leistungsfähigkeit, zum anderen die intellektuelle Leistungsfähigkeit Veränderungen in der Sehschärfe auslöst. Dieses Befundmuster bestätigt die Annahme einer Kopplung der Veränderungen in beiden Bereichen und stützt insofern die *Common-Cause-Hypothese*, als keiner der beiden Bereiche gegenüber dem anderen vorrangig zu sein scheint.

Die bislang berichtete Evidenz scheint mit der *Common-Cause-Hypothese* und der *Cognitive-Permeation-Hypothese* besser vereinbar als mit der *Sensory-Deprivation-Hypothese*, der Annahme einer sensorisch zu anspruchsvollen Erfassung der intellektuellen Leistungen oder der Annahme, dass die Alterung der beiden Funktionsbereiche funktional und kausal vollkommen unabhängig ist. Die *Common-Cause-Hypothese* ist in der bislang hier eingeführten Form jedoch empirisch und konzeptuell unteridentifiziert – postuliert wird eine in beiden Bereichen wirksame Drittvariable, ohne dass deren Wirkung direkt gemessen, experimentell manipuliert oder konzeptuell spezifiziert wird.

An dieser Stelle können formale Modelle die Forschung voranbringen.

- Erstens verlangen sie von den Forschern, dass sie ihre Annahmen über die Dynamik und Kausalität des Entwicklungsprozesses offenlegen.

- Zweitens geben sie Aufschluss darüber, ob die beobachteten empirischen Ergebnisse auf der Grundlage dieser Annahmen rechnerisch simuliert werden können.
- Drittens führen sie im günstigsten Fall zu überraschenden Vorhersagen über Beobachtungen, die bislang noch nicht vorgenommen wurden.

In diesem Sinne haben S.-C. Li, von Oertzen und Lindenberger (2006) vorgeschlagen, ein bereits zuvor eingeführtes neuronales Netzwerkmodell der kognitiven Alterung (S.-C. Li et al., 2001) auf die Zunahme des Zusammenhangs zwischen Sensorik/Sensumotorik und Intelligenz im Alter anzuwenden. Die Autoren nehmen an, dass spezifische neurochemische Alterungsprozesse des Gehirns (d. h. die dopaminerge Neuromodulation) zu weniger differenzierten Repräsentationen und Verarbeitungswegen führen und dass dieser Prozess im Sinne einer gemeinsamen Ursache Sensorik, Wahrnehmung und Kognition in Mitleidenschaft zieht. S.-C. Li et al. (2006) wenden dieses allgemeine Modell auf die stochastische Resonanz an, das heißt auf das Phänomen, dass das Wahrnehmen sehr schwacher Sinnesreize durch das Hinzufügen von externem Rauschen erleichtert werden kann. Anschließend leiten sie die Vorhersage ab, dass schwache Sinnesreize bei älteren Erwachsenen *stärker* verrauscht werden müssen als bei jüngeren, um optimal wahrgenommen werden zu können. Diese überraschende Vorhersage wurde in einer altersvergleichenden Studie zur taktilen Sensitivität unabhängig bestätigt (Wells, Ward, Chua & Inglis, 2005).

Schließlich bietet die Untersuchung intraindividuelle Variabilität einen wichtigen Zugang zu der Frage nach dem Zusammenhang von Kognition und Sensorik/Sensumotorik. Zum Beispiel konnte Huxhold (2006) zeigen, dass Leistungen in den Bereichen Gleichgewicht und Kognition bei

älteren Männern stärker positiv miteinander gekoppelt sind als bei älteren Frauen und jüngeren Erwachsenen. An Tagen mit relativ hohen Leistungen im Bereich Gleichgewicht zeigten ältere Männer auch eher relativ hohe Leistungen im Bereich Kognition. Die Ergebnisse von Huxhold (2006) zeigen zugleich, dass die von der *Common-Cause-Hypothese* postulierte positive Kopplung zwischen den beiden Bereichen von Person zu Person unterschiedlich stark ausfiel und durchaus nicht immer positiv oder von Null verschieden war. Dies verweist darauf, dass das Ausmaß, in dem bestimmte Hypothesen zur Dynamik und Kausalität von Entwicklungsprozessen gültig sind, von Person zu Person variieren kann. Hieraus ergibt sich der Anspruch an die entwicklungspsychologische Theoriebildung, neben der eigentlichen Hypothese auch die Kontexte ihrer Gültigkeit zu reflektieren und zu spezifizieren. Zum Beispiel ist es denkbar, dass die durch die *Common-Cause-Hypothese* postulierte Dynamik nur bei Personen beobachtet werden kann, bei denen die Leistungseinbußen in beiden Bereichen ein gewisses Maß überschritten haben.

Schlussbemerkung

Entwicklungspsychologische Forschung erkundet die Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Veränderungen des Verhaltens, Handelns und Erlebens über die Lebensspanne. Diese Veränderungen sind bestimmt durch Einflussysteme wie Reifung, Alterung und Lernen, deren komplexes Zusammenwirken durch biologische und kulturelle Variationen moduliert wird. Aufgrund dieser Komplexität und Kontextualität verfügt die entwicklungspsychologische Forschung nicht über einen Königsweg, das heißt über eine in jedem Fall zu bevorzugende Forschungsmethode. Man wird in der Entwicklungspsychologie also vergeb-

lich nach einem Äquivalent für das Experiment der Allgemeinen Psychologie suchen. Vielmehr lässt sich, wie das abschließende Beispiel zeigen sollte, die Kausalstruktur entwicklungspsychologischer Phänomene nur durch die Integration unterschiedlicher Methoden schritt- und näherungsweise erschließen. Bei diesem Vorhaben werden die möglichst direkte und passgenaue Umsetzung theoretischer Annahmen in formale und statistische Modelle, die intensive Erforschung individueller Veränderungsmuster sowie die direkte Beobachtung der postulierten Prozesse, auch auf neuronaler Ebene, eine zunehmend wichtige Rolle spielen. Zugleich wird der heuristische Wert des Betrachtens einfacher Altersunterschiede oder Korrelationen auf der Grundlage querschnittlicher Datensätze bestehen bleiben.

Literatur

- Aitkin, A. C. (1934). Note on selection from a multivariate normal population. *Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society*, 4, 106–110.
- Anstey, K. J., Hofer, S. M. & Luszcz, M. A. (2003). Cross-sectional and longitudinal patterns of dedifferentiation in late-life cognitive and sensory function: The effects of age, ability, attrition, and occasion of measurement. *Journal of Experimental Psychology: General*, 3, 470–487.
- Baltes, M. M., Mayr, U., Borchelt, M., Maas, I. & Wilms, H.-U. (1993). Everyday competence in old and very old age: An inter-disciplinary perspective. *Aging and Society*, 13, 657–680.
- 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., Cornelius, S. W. & Nesselroade, J. R. (1979). Cohort effects in developmental psychology. In J. R. Nesselroade & P. B. Baltes (Eds.), *Longitudinal research in the study of*

1 Grundlagen

- behavior and development* (pp. 61–87). New York: Academic Press.
- Baltes, P. B. & Goulet, L. R. (1971). Exploration of developmental variables by manipulation and simulation of age differences in behavior. *Human Development, 14*, 149–170.
- Baltes, P. B. & Labouvie, G. V. (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. (2006). Life span theory in developmental psychology. In W. Damon & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of child psychology: Vol. 1. Theoretical models of human development* (6th ed., pp. 569–664). New York: Wiley.
- Baltes, P. B., Reese, H. W. & Nesselroade, J. R. (1977). *Life-span developmental psychology: An introduction to research methods*. Monterey, CA: Brooks Cole. (Reprinted 1988, Hillsdale, NJ: Erlbaum)
- Bauer, D. J. & Curran, P. J. (2003). Distributional assumptions of growth curve mixture models: Implications for overextraction of latent trajectory classes. *Psychological Methods, 8*, 338–363.
- Bell, R. Q. (1953). Convergence: An accelerated longitudinal approach. *Child Development, 24*, 145–152.
- Bergman, L. R., Eklund, G. & Magnusson, D. (1991). Studying individual development: Problems and methods. In D. Magnusson, L. R. Bergman, G. Rudinger & B. Törestad (Eds.), *Problems and methods in longitudinal research* (pp. 1–27). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Blozis, S. A. (2004). Structured latent curve models for the study of change in multivariate repeated measures. *Psychological Methods, 9*, 334–353.
- Bollen, K. A. & Curran, P. J. (2004). Autoregressive latent trajectory models: A synthesis of two traditions. *Sociological Methods and Research, 32*, 336–383.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA), 99*, 7280–7287.
- Borsboom, D., Mellenbergh, G. J. & van Heerden, J. (2003). The theoretical status of latent variables. *Psychological Review, 110*, 203–219.
- Browne, M. W. (1993). Structured latent curve models. In C. M. Cuadras & C. R. Rao (Eds.), *Multivariate analysis: Future directions 2* (pp. 171–197). Amsterdam: Elsevier Science.
- Collins, L. M. (2006). Analysis of longitudinal data: The integration of theoretical model, temporal design, and statistical model. *Annual Review of Psychology, 57*, 505–528.
- Collins, L. M., Schafer, J. L. & Kam, C.-M. (2001). A comparison of inclusive and restrictive strategies in modern missing data procedures. *Psychological Methods, 6*, 330–351.
- Cudeck, R. & Klebe, K. J. (2002). Multiphase mixed-effects models for repeated measures data. *Psychological Methods, 7*, 41–63.
- Curran, P. J. (2003). Have multilevel models been structural equation models all along? *Multivariate Behavioral Research, 38*, 529–569.
- Davidian, M. & Giltinan, D. M. (1998). *Nonlinear models for repeated measurement data*. London: Chapman & Hall.
- Duncan, T. E. & Duncan, S. C. (1995). Modeling the process of development via latent growth curve methodology. *Structural Equation Modeling, 2*, 187–213.
- Duncan, T. E., Duncan, S. C., Strycker, L. A., Li, F. & Alpert, A. (1999). *An introduction to latent variable growth curve modeling*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Elman, J. (1996). *Rethinking innateness: A connectionist perspective on development*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Erlhagen, W. & Schöner, G. (2002). Dynamic field theory of movement preparation. *Psychological Review, 109*, 545–572.
- Estes, W. K. (1956). The problem of inference from curves based on group data. *Psychological Bulletin, 53*, 134–140.
- Ghisletta, P. & Lindenberger, U. (2003). Age-based structural dynamics between perceptual speed and knowledge in the Berlin Aging Study: Direct evidence for ability dedifferentiation in old age. *Psychology and Aging, 18*, 696–713.
- Ghisletta, P. & Lindenberger, U. (2004). Static and dynamic longitudinal structural analyses of cognitive changes in old age. *Gerontology, 50*, 12–16.
- Ghisletta, P. & Lindenberger, U. (2005). Exploring structural dynamics within and between sensory and intellectual functioning in old and

- very old age: Longitudinal evidence from the Berlin Aging Study. *Intelligence*, 33, 555–587.
- Ghisletta, P., McArdle, J. J., & Lindenberger, U. (2006). Longitudinal cognition-survival relations in old and very old age: 13-year data from the Berlin Aging Study. *European Psychologist*, 11, 204–223.
- Haider, H. & Frensch, P. A. (2002). Why aggregated learning follows the power law of practice when individual learning does not: Comment on Rickard (1997, 1999), Delaney et al. (1998), and Palmeri (1999). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, 392–406.
- Hamaker, E. L., Dolan, C. V. & Molenaar, P. C. M. (2005). Statistical modelling of the individual: Rationale and applications of multivariate stationary time series analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 40, 207–233.
- Harris, C. W. (1963). *Problems in measuring change*. Madison, WI: University of Wisconsin Press.
- Hertzog, C. (1994). Repeated measures analysis in developmental research: What our ANOVA text didn't tell us. In S. H. Cohen & H. W. Reese (Eds.), *Life-span developmental psychology: Methodological contributions* (pp. 187–222). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hertzog, C. (1996). Research design in studies of aging and cognition. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 24–37). San Diego, CA: Academic Press.
- Hertzog, C., Lindenberger, U., Ghisletta, P., & von Oertzen, T. (2006). On the power of multivariate latent growth curve models to detect correlated change. *Psychological Methods*, 11, 244–252.
- Hertzog, C. & Nesselroade, J. R. (1987). Beyond autoregressive models: Some implications of the trait-state distinction for the structural modeling of developmental change. *Child Development*, 58, 93–109.
- Hertzog, C. & Nesselroade, J. R. (2003). Assessing psychological change in adulthood: An overview of methodological issues. *Psychology and Aging*, 18, 639–657.
- Hofer, S. M., Flaherty, B. P., & Hoffman, L. (2006). Cross-sectional analysis of time-dependent data: Mean-induced association in age-heterogeneous samples and an alternative method based on sequential narrow age-cohort samples. *Multivariate Behavioral Research*, 41, 165–187.
- Hofer, S. M. & Sliwinski, M. J. (2001). Understanding aging: An evaluation of research designs for assessing the interdependence of aging-related changes. *Gerontology*, 47, 341–352.
- Hultsch, D. F., Hertzog, C., Small, B. J. & Dixon, R. A. (1999). Use it or lose it: Engaged lifestyle as a buffer of cognitive decline in aging? *Psychology and Aging*, 14, 245–263.
- Huxhold, O. (2006). *Processing fluctuations in postural control: The effects of age and cognition*. Unveröffentlichte Dissertation, Freie Universität Berlin.
- Kalveram, K. T. (1965). Die Veränderung von Faktorenstrukturen durch »simultane Überlagerung«. *Archiv für die gesamte Psychologie*, 117, 296–305.
- Kliegl, R. & Baltes, P. B. (1987). Theory-guided analysis of mechanisms of development and aging 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.
- Kohn, M. L. & Schooler, C. (1983). *Work and personality: An inquiry into the impact of social stratification*. Norwood, NJ: Ablex.
- 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., Huxhold, O. & Schmiedek, F. (2004). Aging and attenuated processing robustness: Evidence from cognitive and sensorimotor functioning. *Gerontology*, 50, 28–34.
- Li, S.-C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W. & Baltes, P. B. (2004). Lifespan transformations in the couplings of mental abilities and underlying cognitive processes. *Psychological Science*, 15, 155–163.
- Li, S.-C., Lindenberger, U. & Sikström, S. (2001). Aging cognition: From neuromodulation to representation. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 479–486.
- Li, S.-C., Oertzen, T. von & Lindenberger, U. (2006). A neurocomputational model of stochastic resonance and aging. *Neurocomputing*, 69, 1553–1560.
- Lindenberger, U. & Baltes, P. B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age: A strong 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., Marsiske, M. & Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: Increase

1 Grundlagen

- in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging*, 15, 417–436.
- Lindenberger, U. & Oertzen, T. von. (2006). Variability in cognitive aging: From taxonomy to theory. In F. I. M. Craik & E. Bialystok (Eds.), *Lifespan cognition: Mechanisms of change* (pp. 297–315). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Lindenberger, U., Oertzen, T. von, Ghisletta, P. & Hertzog, C. (2006). *Cross-sectional age variance extraction: What's change got to do with it?* Manuscript in preparation.
- 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., Scherer, H. & Baltes, P. B. (2001). The strong connection between sensory and cognitive performance in old age: Not due to sensory input factors operating during cognitive assessment. *Psychology and Aging*, 16, 196–205.
- Lindenberger, U., Singer, T. & Baltes, P. B. (2001). 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.
- Lövdén, M., Ghisletta, P. & Lindenberger, U. (2004). Cognition in the Berlin Aging Study (BASE): The first 10 years. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 11, 104–133.
- Lövdén, M., Ghisletta, P. & Lindenberger, U. (2005). Social participation attenuates decline in perceptual speed in old and very old age. *Psychology and Aging*, 20, 423–434.
- Lövdén, M., Schellenbach, M., Grossmann-Hutter, B., Krüger, A. & Lindenberger, U. (2005). Environmental topography and postural control demands shape aging-associated decrements in spatial navigation performance. *Psychology and Aging*, 20, 683–694.
- Masche, J. G. & van Dulmen, M. H. M. (2004). Advances in disentangling age, cohort, and time effects: No quadrature of the circle, but a help. *Developmental Review*, 24, 322–342.
- McArdle, J. J. (1988). Dynamic but structural equation modeling of repeated measures data. In J. R. Nesselroade & R. B. Cattell (Eds.), *Handbook of multivariate experimental psychology* (2nd ed., pp. 561–416). New York: Plenum Press.
- McArdle, J. J. & Anderson, E. (1990). Latent variable growth models for research on aging. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (Vol. 2, pp. 21–44). San Diego, CA: Academic Press.
- McArdle, J. J. & Bell, R. Q. (2000). An introduction to latent growth models for developmental data analysis. In T. D. Little, K. U. Schnabel & J. Baumert (Eds.), *Modeling longitudinal and multilevel data: Practical issues, applied approaches, and specific examples* (pp. 69–107). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- McArdle, J. J., Ferrer-Caja, E., Hamagami, F. & Woodcock, R. W. (2002). Comparative longitudinal structural analyses of the growth and decline of multiple intellectual abilities over the life span. *Developmental Psychology*, 38, 115–142.
- McArdle, J. J. & Hamagami, F. (2001). Latent difference score structural models for linear dynamic analyses with incomplete longitudinal data. In L. M. Collins & A. G. Sayer (Eds.), *New methods for the analysis of change* (pp. 137–175). Washington, DC: American Psychological Association.
- McArdle, J. J., Hamagami, F., Jones, K., Jolesz, F., Kikinis, R., Spiro, A. & Albert, M. S. (2004). Structural modeling of dynamic changes in memory and brain structure using longitudinal data from the Normative Aging Study. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 59B, P294–P304.
- McArdle, J. J. & Woodcock, R. W. (1997). Expanding test-retest designs to include developmental time-lag comparisons. *Psychological Methods*, 2, 403–435.
- Metha, P. D. & West, S. G. (2000). Putting the individual back into individual growth curves. *Psychological Methods*, 5, 23–43.
- Meredith, W. (1964). Notes on factorial invariance. *Psychometrika*, 29, 177–185.
- Meredith, W. (1993). Measurement invariance, factor analysis, and factorial invariance. *Psychometrika*, 58, 525–543.
- Miyazaki, Y. & Raudenbush, S. W. (2000). Tests for linkage of multiple cohorts in an accelerated longitudinal design. *Psychological Methods*, 5, 44–63.
- Molenaar, P. C. M. (2004). A manifesto on psychology as idiographic science: Bringing the person back into scientific psychology, this time forever. *Measurement*, 2, 201–218.
- Muthén, B. (2004). Latent variable analysis: Growth mixture modeling and related techniques for longitudinal data. In D. Kaplan (Ed.), *Handbook of quantitative methodology for the social sciences* (pp. 345–368). Newbury Park, CA: Sage.

- Muthén, B. & Maysn, K. (2005). Discrete-time survival mixture analysis. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 30, 27–58.
- Myung, J., Kim, C. & Pitt, M. A. (2000). Toward an explanation of the power law artifact: Insights from response surface analysis. *Memory & Cognition*, 28, 832–840.
- Nesselroade, C. S. & Schmidt McCollam, K. M. (2000). Putting the process in developmental processes. *International Journal of Behavioral Development*, 24, 295–300.
- Nesselroade, J. R. (1991). The warp and woof of the developmental fabric. In R. M. Downs, L. S. Liben & D. S. Palermo (Eds.), *Visions of aesthetics, the environment and development: The legacy of Joachim Wohllwill* (pp. 213–240). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Nesselroade, J. R. & Salthouse, T. A. (2004). Methodological and theoretical implications of intraindividual variability in perceptual and motor performance. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 59B, P49–P55.
- Nilsson, L.-G., Adolfsson, R., Bäckman, L., de Frias, C. M., Molander, B. & Nyberg, L. (2004). Betula: A prospective cohort study on memory, health and aging. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 11, 134–148.
- Pearson, K. (1903). Mathematical contributions to the theory of evolution: XI. On the influence of natural selection on the variability and correlation of organs. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (Series A)*, 200, 1–66.
- Raykov, T. (1999). Are simple gain scores obsolete? On an approach to the study of correlates and predictors of ability growth. *Applied Psychological Measurement*, 23, 120–126.
- Riegel, K. F. & Riegel, R. M. (1972). Development, drop and death. *Developmental Psychology*, 6, 306–319.
- Rogosa, D. R. (1995). Myths and methods: »Myths about longitudinal research,« plus supplemental questions. In J. M. Gottman (Ed.), *The analysis of change* (pp. 3–65). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rogosa, D. R., Brandt, D. & Zimowski, M. (1982). A growth curve approach to the measurement of change. *Psychological Bulletin*, 92, 726–748.
- Rogosa, D. R. & Willett, J. B. (1983). Comparing two indices of tracking. *Biometrics*, 39, 795–796.
- Rogosa, D. R. & Willett, J. B. (1985). Understanding correlates of change by modeling individual differences in growth. *Psychometrika*, 50, 203–228.
- Rovine, M. J. & Molenaar, P. C. M. (1998). The covariance between level and shape in the latent growth curve model with estimated basis vector coefficients. *Methods of Psychological Research*, 3, 95–107.
- 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.
- Salthouse, T. A. (2000). Methodological assumptions in cognitive aging research. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (2nd ed., pp. 467–498). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Salthouse, T. A., Berish, D. E. & Miles, J. D. (2002). The role of cognitive stimulation on the relations between age and cognitive functioning. *Psychology and Aging*, 17, 548–557.
- Salthouse, T. A. & Czaja, S. J. (2000). Structural constraints on process explanations in cognitive aging. *Psychology and Aging*, 15, 44–55.
- Schaefer, S., Huxhold, O., & Lindenberger, U. (2006). Healthy mind in healthy body? A review of sensorimotor-cognitive interdependencies in old age. *European Review of Aging and Physical Activity*, 3, 45–54.
- Schafer, J. L. & Graham, J. W. (2002). Missing data: Our view of the state of the art. *Psychological Methods*, 7, 147–177.
- Schaie, K. W. (1965). A general model for the study of developmental problems. *Psychological Bulletin*, 64, 92–107.
- Schaie, K. W. (1988). Internal validity threads in studies of adult cognitive development. In M. L. Howe & C. J. Brainard (Eds.), *Cognitive development in adulthood: Progress in cognitive development research* (pp. 241–272). New York: Springer.
- Schaie, K. W. (1996). *Intellectual development in adulthood: The Seattle Longitudinal Study*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Schaie, K. W. (2005). *Developmental influences on adult intelligence: The Seattle Longitudinal Study*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Schaie, K. W. & Baltes, P. B. (1975). On sequential strategies in developmental research. *Human Development*, 18, 384–390.
- Schmiedek, F. & Li, S.-C. (2004). Toward an alternative representation for disentangling age-associated differences in general and specific cognitive abilities. *Psychology and Aging*, 19, 40–56.
- Schmiedek, F. & Li, S.-C. (2006). Die Lernkurve. In J. Funke & P. A. Frensch (Hrsg.) *Handbuch der allgemeinen Psychologie: Kognition* (S. 213–219). Göttingen: Hogrefe.

1 Grundlagen

- Schmitz, B. (2000). Auf der Suche nach dem verlorenen Individuum: Vier Theoreme zur Aggregation von Prozessen. *Psychologische Rundschau*, 51, 83–92.
- Siegler, R. S. (1994). Cognitive variability: A key to understanding cognitive development. *Current Directions in Psychological Science*, 3, 1–5.
- Sliwinski, M. J., Hofer, S. M., Hall, C., Buschke, H. & Lipton, R. B. (2003). Modeling memory decline in older adults: The importance of pre-clinical dementia, attrition, and chronological age. *Psychology and Aging*, 18, 658–671.
- Smith, L. B. & Thelen, E. (2003). Development as a dynamic system. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 343–348.
- Snijders, T. A. B. & Bosker, R. J. (1999). *Multilevel analysis: An introduction to basic and advanced multilevel modeling*. London: Sage.
- Tisak, J. & Meredith, W. (1990). Longitudinal factor analysis. In A. von Eye (Ed.), *Statistical methods in longitudinal research* (Vol. 1, pp. 125–149). San Diego, CA: Academic Press.
- Vandenberg, R. J. & Lance, C. E. (2000). A review and synthesis of the measurement invariance literature: Suggestions, practices, and recommendations for organizational research. *Organizational Research Methods*, 3, 4–69.
- Walls, T. A. & Schafer, J. L. (2006). *Models for intensive longitudinal data*. New York: Oxford University Press.
- Wells, C., Ward, L. M., Chua, R. & Inglis, J. T. (2005). Touch noise increases vibrotactile sensitivity in old and young. *Psychological Science*, 16, 313–320.
- Wohlwill, J. F. (1970). The age variable in psychological research. *Psychological Review*, 77, 49–64.

Jochen Brandtstädter
Ulman Lindenberger (Hrsg.)

Entwicklungspsychologie der Lebensspanne

Ein Lehrbuch

Verlag W. Kohlhammer

Vorwort

Wir entwickeln uns, solange wir leben; man muss den gesamten Lebensablauf in den Blick nehmen, um ein tieferes und genaueres Verständnis einzelner Entwicklungsabschnitte zu gewinnen. Dies ist die zentrale Botschaft einer Entwicklungspsychologie der Lebensspanne, wie sie in diesem Buch von verschiedenen Aspekten her entfaltet wird. Die Einsicht als solche ist durchaus nicht neu: Wie die einleitenden Kapitel dieses Buches darlegen, haben frühe entwicklungspsychologische bzw. -philosophische Ansätze – nicht zuletzt auch unter dem Einfluss der Aufklärung – menschliche Entwicklung wesentlich im Sinne von Selbstkultivierung und Selbstperfektionierung und insofern von vornherein als lebenslanges Projekt verstanden. In der neueren Entwicklungspsychologie allerdings musste sich eine lebensspannenumfassende Perspektive zunächst wieder gegen ein etabliertes engeres Begriffsverständnis durchsetzen, das Entwicklung wesentlich im Sinne einer irreversiblen Stufen- oder Phasenabfolge auffasste und damit den Veränderungsdynamiken im Lebensablauf und nicht zuletzt auch im höheren Alter kaum gerecht werden konnte. Sieht man von frühen Ansätzen zur Überwindung dieser begrifflichen Barrieren ab – zu nennen sind hier zum Beispiel die Beiträge von Charlotte Bühler, Erik Erikson, Robert Gould, Sidney Pressey, Hans Thomae – so kann von dem Durchbruch einer Lebensspannen-Perspektive in der modernen Entwicklungspsychologie wohl erst seit etwa drei Jahrzehnten die Rede sein; die von Larry Goulet und Paul

Baltes begründete Serie der *West Virginia Conferences* und die daraus entstandenen Publikationsreihen *Life-Span Developmental Psychology* und *Life-Span Development and Behavior* haben hier Meilensteine gesetzt. Wie Entwicklungsprozesse im Allgemeinen, so vollziehen sich auch wissenschaftliche Entwicklungen in einem historisch-kulturellen Kräftefeld: Die beschleunigte Veränderung der Lebensumstände, die sich hieraus ergebenden Notwendigkeiten lebenslangen Lernens sowie einschneidende soziodemographische Veränderungen haben das Interesse an einer Lebensspannen-Entwicklungspsychologie stark belebt. Inzwischen ist es Standard, dass Lehrbücher zur Entwicklungspsychologie zumindest einige Kapitel auch den späteren Lebensabschnitten bzw. den die Lebensspanne übergreifenden Grundprozessen widmen. Der Bestand an Forschungsergebnissen und -methoden in der Entwicklungs- und Alternspsychologie ist in den vergangenen Jahrzehnten allerdings so angewachsen, dass kaum noch ein einzelnes Lehrbuch – wie voluminös auch immer – den Anspruch einer gesamthaften Darstellung erheben kann. Dies gilt auch für das vorliegende Werk; wenngleich die im Einzelnen behandelten Fragen nicht auf einzelne Lebensphasen beschränkt sind, so liegt doch ein besonderes Gewicht auf Themen, die das Erwachsenenalter bzw. höhere Lebensalter betreffen.

Entwicklung vollzieht sich auf historischen und ontogenetischen Zeitebenen; Prozesse der personalen und kulturellen Steuerung von Entwicklungsprozessen über die Le-

Vorwort

Lebensspanne vollziehen sich in einem Möglichkeitsspielraum, der sowohl durch biologische und genetische Faktoren wie auch durch historische und kulturelle Rahmenbedingungen begrenzt und strukturiert ist. Hieraus ergibt sich auch die Notwendigkeit eines multidisziplinären Zugangs, und demgemäß kommen in diesem Buch verschiedene Disziplinen zu Wort. Wenngleich die einzelnen Kapitel unterschiedliche Perspektiven und Ansätze entfalten, so zeichnet sich doch eine übergreifende Orientierung ab, die personale, kulturelle, biologische und entwicklungs-genetische Aspekte integriert und daraus auch für die Anwendungspraxis Anregungen gewinnt. Es war jedenfalls ein Anliegen der Herausgeber, eine integrative Sichtweise auf personale Entwicklung zu befördern, die verschiedene Einfluss-systeme und Analyseebenen miteinander verknüpft. Entwicklung über die Lebensspanne ist zwar wesentlich das Produkt einer Interaktion von Anlage- und Umweltbedingungen, jedoch sind Entwicklungsumwelten stets auch vom den Entwicklungssubjekten selbst mitgestaltet. Zu einem grundlegenden Verständnis von Entwicklung über die Lebensspanne gehört daher auch die Berücksichtigung der Wechselbeziehungen, die zwischen Entwicklungs- und Alternsprozessen einerseits und den im historischen und ontogenetischen Kontext veränderlichen Vorstellungen bestehen, die Menschen sich von ihrem Lebensablauf machen. In einer Zeit, in der das Moment eigenver-

antwortlicher, planvoller Gestaltung der persönlichen Entwicklung zunimmt, gewinnt dieser Aspekt noch an Gewicht. Lebensläufe werden letztlich dann untersucht, wenn Menschen lernen wollen, wie sie besser leben können – so hat Lawrence Kohlberg es in dem 1979 von Paul Baltes und Lutz Eckensberger herausgegebenen Band »Entwicklungspsychologie der Lebensspanne« formuliert. Dieses grundlegende Erkenntnisinteresse manifestiert sich auch in den Beiträgen des vorliegenden Werkes.

Für die Unterstützung bei der Produktion dieses Buches sind die Herausgeber vielen Seiten zu Dank verpflichtet. Nächste den Autorinnen und Autoren gilt unser Dank allen, die bei der redaktionellen Gestaltung des Buchmanuskriptes mitwirkten: Frau Dr. Julia Delius (Berlin), Frau Brigitte Goerigk-Seitz (Trier), Frau Erna Schiwietz (Berlin), Herrn Peter Wittek (Berlin) und Herrn Ulrich Knappek (Berlin). Herrn Dr. Poensgen vom Kohlhammer-Verlag danken wir für die ebenso wohlwollende wie geduldige Begleitung des Projektes vom Beginn bis zur Produktion.

Widmen möchten wir dieses Werk unserem Kollegen, Mentor und Freund Paul Baltes (1939–2006). Er hat der Entwicklungspsychologie der Lebensspanne neue Dimensionen eröffnet.

Jochen Brandtstädter
Ulman Lindenberger