

VI. DISKUSSION

6.1 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Das Hauptziel der vorliegenden Untersuchung lag in der Ausdehnung der Fragen nach Ausmaß und Grenzen kognitiver Plastizität auf eine Stichprobe von Personen im hohen Alter, das heißt zwischen 75 und 100+ Jahren. Hierfür wurde in Anlehnung an frühere Plastizitätsstudien (Baltes & Kliegl, 1992; Kliegl et al., 1989, 1990; Lindenberger et al., 1992) die Plastizität von Gedächtnisfunktionen untersucht, indem Personen anhand der Testing-the-Limits-Methode (Baltes & Kindermann, 1985; Guthke, 1982; Kliegl & Baltes, 1987; Schmidt, 1971) in einer mnemonischen Technik, der Methode der Orte (Bower, 1970), trainiert wurden, mit dem Ziel, ihre altersbedingten Leistungsobergrenzen zu erfassen.

Aufgrund des Mangels an Untersuchungen zur Gedächtnisplastizität im hohen Alter lag der Schwerpunkt des ersten Teils der Arbeit zunächst (a) im Nachweis und der Quantifizierung des Ausmaßes an beobachtbarer Plastizität bei 75- bis 101jährigen sowie (b) im Vergleich mit einer Gruppe junger Erwachsener zur Bestimmung des Ausmaßes an altersbedingten Unterschieden in der Gedächtnisplastizität mit der Methode der Orte.

Der zweite Teil der Arbeit konzentrierte sich auf die Vorhersage individueller Unterschiede im Ausmaß an kognitiver Plastizität im Alter. Im Rahmen des vorgeschlagenen Prädiktionsmodells wurde hierbei zwischen zwei Entwicklungssystemen unterschieden, dem biologischen und dem kulturellen (Baltes, Staudinger & Lindenberger, 1999). Als Indikatoren für diese Einflußsysteme dienten zum einen Status- und längsschnittliche Veränderungsmaße sensorischer und kognitiver Leistungsfähigkeit, zum anderen soziostrukturell-biographische Variablen. Das Modell fußte auf der Grundannahme, daß im hohen Alter individuelle Unterschiede in kognitiver Plastizität in erster Linie von altersrelevanten biologischen Faktoren und weniger von kulturellen bestimmt werden. Plastizität wurde hierbei definiert als das Potential eine neue, im Verhaltensrepertoire zuvor noch nicht vorhandene leistungsoptimierende Technik in ihren Grundzügen zu erwerben und anschließend die Nutzung dieser Technik im Laufe eines gezielten Trainingsprogramms zu verbessern. Es wurde erwartet, daß biologische Faktoren entscheidend für die der kognitiven Mechanik zugrundeliegenden elementaren Ressourcen sind, die im Sinne der Investmenttheorie (Cattell, 1971) bei dem Erwerb eines neuen operativen und

wissensbasiertem Leistungssystem, wie es die Methode der Orte darstellt, von entscheidender Bedeutung sind.

6.1.1 Der Nachweis kognitiver Plastizität im hohen Alter

Gedächtnisplastizität im hohen Alter

Erwartungsgemäß konnte gezeigt werden, daß auch Personen im hohen Alter im Mittel über genügend kognitive Plastizität verfügen, um die Grundzüge einer neuen Gedächtnistechnik, die Methode der Orte, zu erwerben und durch die Anwendung dieser Methode ihre Gedächtnisleistung zu steigern (Hypothese 1a). Bereits nach einer ausführlichen Instruktionssitzung in der Methode der Orte konnten sich die 75- bis 101jährigen ($N = 96$) im Mittel um fast zwei Standardabweichungen ($1.62 SD$) ihrer Ausgangsleistungen verbessern (siehe Abb. 5; S. 106).

Die Höhe des beobachteten mittleren Leistungszuwachses ist zwar beachtlich, jedoch deutlich geringer als die Leistungsgewinne einer vergleichbaren Trainingsstudie von Kliegl et al. (1990) mit jüngeren Erwachsenen zwischen 60 und 80 Jahren. In jener Studie betrug die Leistungssteigerung der älteren Erwachsenen unter vergleichsweise *schwierigeren* Aufgabenbedingungen $3.06 SD$. So sei daran erinnert, daß es sich in der vorliegenden Studie um eine vereinfachte Version der Methode der Orte handelte, da sowohl in der Einprägungs- als auch in der Abrufphase die Berliner Orte, das heißt die Hinweisreize visuell und akustisch dargeboten wurden (cued recall). Somit war für die effektive Durchführung der Gedächtnisaufgabe der Prozeß des selbstinitiierten mentalen Abrufs der richtigen Ortssequenz als Basis für die anschließende Erzeugung der interaktiven Vorstellungsbilder keine Voraussetzung mehr. Auch im Hinblick auf das erreichte Leistungsniveau nach Einführung in die Gedächtnistechnik lagen die Leistungen der 75- bis 101jährigen unter dem in anderen Studien erreichten Leistungsniveau, das beispielsweise in der bereits zitierten Studie von Kliegl et al. (1990) nach Instruktion in der Methode der Orte bei einem vergleichbaren Präsentationsintervall von 15 Sekunden im Mittel bei $12.6 (SD = 6.6)$ korrekt erinnerten Wörtern lag. Im Vergleich dazu erzielten die 75- bis 101jährigen nach Instruktion in der Methode der Orte unter leichteren Aufgabenbedingungen ein mittleres Leistungsniveau ($M = 7.10$ Wörter; $SD = 3.07$), das zwar deutlich über den Ausgangsleistungen ($M = 3.39$; $SD = 2.29$) lag⁶¹, aber zumindest nicht bei Einzelpersonen so

⁶¹ Auch lag das Leistungsniveau im Prätest II deutlich über dem Niveau, das aufgrund einfacher Retestgewinne hätte erwartet werden können.

hoch war, als daß es nur mit Hilfe der Methode der Orte hätte erzielt werden können. Im Einklang mit diesen Beobachtungen standen die Auswertungen der Fremdeinschätzungsbögen zur Erfassung der Nutzungshäufigkeit der Methode der Ort, die deutlich machten, daß nicht alle Hochbetagten die Methode der Orte nach der Instruktionsphase korrekt nutzten. So gab es beispielsweise fünf Probanden, die den Beurteilungen der Versuchsleiter zufolge die Gedächtnistechnik 'gar nicht' nutzten. Im Einklang mit früheren Befunden (Verhaeghen et al., 1992; Verhaeghen & Marcoen, 1996) bestätigten weitere Analysen, daß die Höhe der beobachteten Leistungsgewinne zwischen erster und dritter Sitzung eng mit dem Erwerb und der Nutzungsintensität der instruierten Gedächtnistechnik verbunden war (siehe Abb. 6; S. 109). Somit konnte der Nachweis der Effektivität der Methode der Orte, der bereits in zahlreichen Gedächtnistrainingsstudien mit älteren Erwachsenen zwischen 60 und 80 Jahren erbracht worden war, zumindest partiell auf den Altersbereich der 75- bis über 100jährigen ausgedehnt werden.

Erwerb versus Nutzungsoptimierung der Methode der Orte

In der vorliegenden Arbeit wurde, angeregt durch eine genauere Betrachtung früherer altersvergleichender Untersuchungen mit der Methode der Orte, zwischen zwei Phasen eines Trainings mit der Methode der Orte unterschieden: der Erwerbsphase und der auf Verbesserung des operativen Systems ausgerichteten Optimierungsphase. Das Potential zum Erwerb der Grundzüge einer neuen, zuvor im Verhaltensrepertoire noch nicht vorhandenen leistungsfördernden Technik, sollte sich in einem deutlichen Anstieg der Gedächtnisleistungen nach Einführung in die neue Technik bemerkbar machen. Das Potential, die Nutzung dieser erworbenen Technik durch ausgedehntes Üben zu verfeinern und somit ein einmal erreichtes Leistungsniveau im Laufe eines gezielten Trainingsprogramms kontinuierlich zu verbessern, sollte sich in monoton steigenden Trainingsfunktionen äußern. Hierbei stellen asymptotische Leistungsverläufe am Ende der adaptiven Trainingsphase ein Indiz für eine Annäherung an maximale Leistungsgrenzen sowie für eine gelungene Leistungsoptimierung dar. Aufgrund der geringen Anzahl an Trainingssitzungen war ein solches Ergebnis jedoch kaum zu erwarten.

Im Gegensatz zu der Fähigkeit zum Erwerb der Grundzüge einer neuen leistungssteigernden Technik, die durch die leistungssteigernde Wirkung der Instruktion angezeigt wurde und bei der Mehrzahl der älteren Probanden vorhanden war, wenn auch in begrenztem Ausmaß, war das Potential zur Leistungsoptimierung mit Hilfe der erworbenen Gedächtnistechnik im

Laufe des Trainings kaum nachweisbar (Hypothese 1b). Für diese Schlußfolgerung sprechen zum einen der geringe trainingsbedingte Leistungszuwachs zwischen Prätest II und Posttest, der im Mittel nur noch 3/10 einer Standardabweichung ausmachte (siehe Abb. 5, S. 106), vor allem aber die Ergebnisse aus den Analysen der Leistungsverläufe während der adaptiven Trainingsphase. Vermutlich aufgrund des adaptiven Kriteriums fehlerfrei erinnerter Listen sanken die Gedächtnisleistungen bei Eintritt in die Trainingsphase zunächst ab und nahmen erst im Laufe der dritten und vierten Trainingssitzung wieder geringfügig zu (siehe Abb. 10, S. 122). Genauere Analysen machten jedoch deutlich, daß auch bei Berücksichtigung der anfänglichen Leistungseinbrüche zu Beginn des Trainings lediglich 15 % der Hochbetagten in der Lage waren, ihre Leistungen nennenswert zu verbessern.

Der Mangel an beobachteter Leistungsverbesserung im Laufe der Trainingsphase konnte hierbei nicht einfach nur auf die Tatsache zurückgeführt werden, daß die Teilnehmer die Methode der Orte in ihren Grundzügen nicht erlernt oder nicht mehr genutzt hatten⁶²: Obwohl ein Großteil der Hochbetagten (57 %) die Methode der Orte laut Fremdbeurteilung der Versuchsleiter 'häufig' korrekt nutzten und diese Gruppe in Übereinstimmung mit diesen Angaben auch statistisch signifikante Leistungsgewinne nach Einführung der mnemonischen Technik gezeigt hatten, waren 76 % von ihnen dennoch nicht in der Lage, ihre Gedächtnisleistungen im Laufe der adaptiven Trainingsphase weiter zu verbessern (siehe Abb. 8, S. 117). Dieser Befund legt mitunter die Interpretation nahe, daß die 75- bis 101jährigen mit Ausnahme weniger Personen (13 Personen) nicht in der Lage waren, den Anforderungen eines Trainingsprogramms gerecht zu werden, das fehlerlose Leistungen als Voraussetzung für eine kontinuierliche Leistungsverbesserung erfordert.⁶³ Weitere Evidenz für die Vermutung, daß es sich bei dem Mangel, unter dem Kriterium der Fehlerlosigkeit trainingsbezogene Leistungsverbesserungen zu zeigen, um ein altersspezifisches Phänomen handelte, lieferten die Analysen der Trainingsfunktionen der jungen Erwachsenen. Im Gegensatz zu den Hochbetagten konnten

⁶² Dies traf vermutlich auf 42 % der Hochbetagten zu, die noch in der zweiten Trainingssitzung die Methode der Orte nur selten nutzten und folglich ihre Leistungen im Laufe der Trainingsphase auch nicht wesentlich verbessern konnten.

⁶³ In Einklang mit einer solchen Interpretation stehen Befunde aus Interventionsstudien von Kliegl und Mitarbeitern (in Vorb.), in denen das Gedächtnis für Gesichter älterer Erwachsener anhand einer der Methode der Orte verwandten Technik, der Gesichter-Namen-Technik, trainiert wurde. Auch in diesen Studien sollten im Laufe eines ausgedehnten adaptiven Trainingsprogramms fehlerlose Leistungen unter einem vorgegebenen Zeittakt erbracht werden, um eine Steigerung der Listenlänge zu bewirken. Die Befunde weisen darauf hin, daß bereits 65- bis 80jährigen im Gegensatz zu jüngeren Erwachsenen unter diesen Bedingungen keine signifikanten Leistungssteigerungen mehr erzielen konnten (Kliegl, Philipp, Luckner & Krampe, in Vorb.).

die 20- bis 30jährigen ihre Gedächtnisleistungen im Laufe der Trainingsphase erwartungsgemäß kontinuierlich verbessern (siehe Abb. 10, S. 122). Die vergleichenden Analysen der Fehlerraten im Laufe der adaptiven Trainingsphase bestätigten, daß die jungen Probanden in den vier adaptiven Trainingssitzungen trotz bedeutend längerer Wortlisten und damit verbundener erhöhter Wahrscheinlichkeit für Intrusionsfehler auch in der letzten Trainingssitzung noch eine weitaus geringere mittlere Fehlerrate (6 %) aufwiesen als die 75- bis 101jährigen (22 %). Zusammengenommen sprechen die Befunde dafür, daß ein Großteil der Hochbetagten die Methode der Orte in ihren Grundzügen zwar erwerben konnten, die erworbene Technik jedoch mehrheitlich auch am Ende der Trainingsphase noch nicht effektiv nutzen konnten.

Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung erbrachte erwartungsgemäß den Nachweis, daß kognitive Plastizität, wie sie durch das Potential zur Steigerung von Gedächtnisleistungen nach Instruktion in der Methode der Orte erfaßt wird, im Mittel auch im hohen Alter – wenn auch in deutlich reduziertem Umfang – nachweisbar ist. Bei differenzierterer Betrachtung legen die Befunde nahe, daß im hohen Alter vor allem das Potential erhalten bleibt, die Grundzüge einer neuen Technik zu erwerben und von deren Effektivität zu profitieren. Dies trifft allerdings eindeutig nicht auf alle Teilnehmer zu. Das Potential zu einer anschließenden Nutzungsoptimierung der erworbenen Technik im Laufe eines gezielten Trainingsprogramms hingegen scheint im hohen Alter stark eingeschränkt. So ließ sich im Mittel die erwartete monoton ansteigende Trainingsfunktion im Laufe der vier adaptiven Trainingssitzungen nicht nachweisen. Mit Ausnahme von 13 Personen waren die Hochbetagten nicht mehr in der Lage, ihre Leistungen im Laufe der 24 Trainingslisten nennenswert zu verbessern.

6.1.2 Die Abnahme kognitiver Plastizität im Alter

Vergrößerung der Leistungsunterschiede zwischen den 20- bis 30- und den 75- bis 101jährigen

Im Rahmen der Hypothesen 2 und 3 wurde die theoretische Annahme einer altersbedingten Reduktion kognitiver Plastizität geprüft, daß heißt die Annahme, daß es mit zunehmendem Alter zu einer Abnahme der Entwicklungskapazität sowie der Maximalleistungen kommt.

Bei einem Vergleich der Trainingsfunktionen der 20- bis 30jährigen und der 75- bis 101jährigen hat sich diese Hypothese bestätigt: Die jungen Erwachsenen profitierten mehr von

einem Training mit der Methode der Orte als die Probanden im hohen Alter (siehe Abb. 9, S. 120). In der letzten Trainingssitzung lagen die Gedächtnisleistungen der jungen Erwachsenen bereits 2.55 Standardabweichungen über den Erinnerungsleistungen der Hochbetagten. Dieser Unterschied wäre höchstwahrscheinlich durch weitere Trainingssitzungen noch vergrößert worden, da vier Trainingssitzungen bei den jungen Erwachsenen offensichtlich nicht ausreichten, um asymptotische Leistungsgrenzen zu erfassen. Die Trainingsfunktionen der Hochbetagten hingegen ließen eher vermuten, daß eine Fortführung der adaptiven Trainingsphase bei der Mehrheit keine bedeutende Leistungssteigerung mehr bewirkt hätte.

Die beobachtete Vergrößerung altersbedingter Unterschiede im Laufe eines Trainings mit der Methode der Orte steht im Einklang mit früheren Befunden (Baltes & Kliegl, 1992; Kliegl et al., 1989; Verhaeghen & Marcoen, 1996). Im Vergleich zu den Ergebnissen der Testing-the-Limits-Studie von Baltes und Kliegl (1992) konnte in vorliegender Studie jedoch keine so deutliche interventionsbedingte Trennung der Leistungsverteilungen junger und älterer Erwachsener beobachtet werden. Dies liegt wahrscheinlich daran, daß sich die Verteilungen der 20- bis 30jährigen und der 75- bis 101jährigen bereits vor Instruktion und Training mit der Methode der Orte nur geringfügig überlappten (vgl. Abb. 1, S. 43). Ferner muß beachtet werden, daß die Anzahl der Trainingssitzungen in der vorliegenden Trainingsphase geringer war als in der Studie von Baltes und Kliegl, die insgesamt 38 Sitzungen umfaßte. Ein solches Design ermöglichte den jungen Erwachsenen näher an ihre Maximalleistungen herangeführt zu werden.

Altersunterschiede innerhalb der Probandengruppe hohen Alters

Entgegen den in Hypothese 3 formulierten Erwartungen waren die Zusammenhänge zwischen kognitiver Plastizität und dem chronologischen Alter *innerhalb* der Stichprobe der 75- bis 101jährigen statistisch nicht signifikant (siehe Tab. 9). Ein solches Ergebnis steht im Einklang mit Befunden einer Studie von Stigsdotter (1994), in denen die in anderen Untersuchungen beobachtete Abnahme der Gedächtnisplastizität innerhalb der Stichproben älterer Erwachsener nicht beobachtet werden konnte (Grazinger et al., 1990; Verhaeghen et al., 1992; Yesavage et al., 1990).

Dieses Fehlen einer negativen Alterskorrelation mag überraschen. In der theoretischen Einleitung wurde allerdings bereits eine mögliche Erklärung dafür aufgezeigt. Wegen der hohen Mortalität in einer derart alten Stichprobe kann es zu immer größer werdenden Selektivitätseffekten kommen, da Überlebende eine zunehmend positivere Auswahl der Geburtskohorte

darstellen. Die im Anhang F beschriebenen Selektivitätsanalysen weisen in der Tat darauf hin, daß die niedrigen Alterskorrelationen vermutlich überwiegend auf alterskorrelierten positiven Selektivitätseffekten der längsschnittlichen Stichprobe beruhen.

Ein weiterer Grund für die im Vergleich zur Ausgangsstichprobe der Berliner Altersstudie stark reduzierten Alterskorrelationen, liegt vermutlich in der Einschränkung der Altersspanne, die in der Ausgangsstichprobe der Berliner Altersstudie von 70 bis 103 Jahren und in vorliegender Stichprobe – bei Ausschluß der einzigen Person über 100 Jahren – lediglich von 75 bis 94 Jahren reichte. Trotz dieser methodischen Erwägungen sollte dennoch in Betracht gezogen werden, daß die Befunde auch darauf hinweisen, daß das chronologische Alter in einer Stichprobe von Personen im hohen Alter für die Vorhersage des Ausmaßes noch vorhandener kognitiver Reserven an Bedeutung einbüßen könnte. Demnach wären chronologisches Altern und biologisches Altern zwar assoziiert, die Stärke dieser Assoziation ließe jedoch im hohen Alter zugunsten anderer Assoziationen, wie beispielsweise der Nähe zum Tod, nach. Der Schwerpunkt des zweiten Teils der Arbeit lag unter anderem auch aus diesem Grund auf der Bestimmung von Faktoren, die in direkterer Weise als das chronologische Alter mit interindividuellen Unterschieden in kognitiver Plastizität zusammenhängen.

6.1.3 Korrelate kognitiver Plastizität im hohen Alter

Ziel des zweiten Teils der Arbeit war es, das Konzept der Plastizität in einen breiteren Entwicklungskontext zu betten als in früheren Studien, bei denen der Schwerpunkt auf der Identifizierung von lebenszeitgleichen kognitiven Korrelaten der Gedächtnisplastizität bei älteren Erwachsenen lag (Hill et al., 1989; Kliegl et al., 1990; Kliegl & Thompson, 1991; Lindenberger et al., 1992; Verhaeghen & Marcoen, 1996; Yesavage et al., 1990). So wurden zusätzlich zu kognitiven Variablen auch kognitionsferne Variablen wie Maße des sensorischen Funktionsstatus sowie soziostrukturell-biographische Faktoren berücksichtigt. Dies war auch deshalb möglich, weil die vorliegende Studie mit Studienteilnehmern arbeitete, die an der multidisziplinären längsschnittlichen Berliner Altersstudie teilnahmen.

Das vorgeschlagene Prädiktionsmodell kognitiver Plastizität im hohen Alter fußte auf der Grundannahme, daß individuelle Unterschiede in den vorhandenen Kapazitätsreserven im hohen, dem sogenannten vierten Lebensalter vor allem durch altersbezogene biologische und weniger durch kulturelle Faktoren bestimmt werden (Baltes, 1993, 1997; Lindenberger & Baltes, 1997).

In Anlehnung an frühere Befunde aus der Berliner Altersstudie und theoretische Annahmen der neurobiologischen Common Cause-Hypothese (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994, 1997) sollten daher sowohl kognitive als auch sensorische Maße, beides Indikatoren altersbezogener, biologisch determinierter Einbußen zerebraler Funktionen, höher mit kognitiver Plastizität korrelieren als kulturelle Faktoren, die sich in unterschiedlichen bildungs-, schicht- und arbeitsbezogenen Bedingungen sowie in wissensbezogenen Merkmalen ausdrücken (Lindenberger & Baltes, 1997). Wegen der bereits erwähnten längsschnittlichen Datenlage konnten im Rahmen des Prädiktionsmodell zudem nicht nur Maße aktueller kognitiver und sensorischer Leistungsfähigkeit, sondern auch längsschnittliche Maße kognitiver und sensorischer Leistungsveränderung berücksichtigt werden.

6.1.3.1 Der Zusammenhang zwischen Maßen aktueller sensorischer und kognitiver Leistungsfähigkeit sowie den soziostrukturell-biographischen Merkmalen und kognitiver Plastizität

Mehrheitlich sprechen die Ergebnisse dafür, daß individuelle Unterschiede in der Gedächtnisplastizität mit der Methode der Orte im hohen Alter stärker mit altersbezogenen, biologischen als mit kulturellen Faktoren verknüpft sind. So wiesen Maße kognitiver Plastizität (maximale Leistungsfähigkeit nach dem Training und instruktionsbedingter Leistungszuwachs) einen stärkeren Zusammenhang zu Maßen aktueller sensorischer und kognitiver Leistungsfähigkeit auf als zu den soziostrukturell-biographischen Variablen (Hypothese 4a). Erwartungsgemäß klärten hierbei die relativ kriteriumsnahe kognitiven Variablen im Vergleich zu den relativ kriteriumsfernen sensorischen Variablen einen größeren Varianzanteil in den Gedächtnisleistungen nach dem Gedächtnistraining auf (siehe Tab. 11 und 13). In Übereinstimmung mit dem Zweikomponentenmodell der Intelligenzentwicklung und dessen Investment-Theorie-Ansatz (Baltes, 1993; Cattell, 1971; Horn, 1982) konnte aufgezeigt werden, daß innerhalb des kognitiven Fähigkeitsbereichs die Wahrnehmungsgeschwindigkeit als prototypischer Marker für altersabhängige, genetisch-biologische Komponenten der mechanisch-fluiden Intelligenz einen stärkeren Zusammenhang zu dem instruktionsbedingten Leistungszuwachs aufwies als das Wissen, ein prototypischer Marker der kulturell basierten pragmatischen oder kristallisierten Komponente (Hypothese 4c; siehe Tab. 12; vgl. Lindenberger & Baltes, 1997).

Die Annahme eines stärkeren Zusammenhangs von Maßen kognitiver Plastizität mit biologischen als mit kulturellen Faktoren konnte zusätzlich durch die Analysen differentieller prädiktiver Muster im Verlauf der Trainingsstudie untermauert werden. So war erwartungsgemäß zu beobachten, daß sowohl individuelle Unterschiede in bildungs-, schicht- und arbeitsbezogenen Bedingungen als auch in dem eher kulturbasierten Fähigkeitskonstrukt des Wissens im Verlauf der Trainingsstudie an Bedeutung verloren, während die Wahrnehmungsgeschwindigkeit als Maße der kognitiven Mechanik nach Einführung in die mnemonische Technik an Vorhersagekraft gewann (Hypothesen 4b, 4d). Der erwartete analoge Anstieg des Vorhersagewertes sensorischer Variablen ließ sich allerdings statistisch nicht absichern (siehe Tab. 11 und 12).

Zusätzliche Analysen machten weiterhin deutlich, daß dem Erwerb der Methode der Orte im hohen Alter ein Bündel kognitiver Fähigkeiten zugrunde liegt. So konnte zunächst beobachtet werden, daß auf korrelativer Ebene alle vier kognitiven Fähigkeiten (Gedächtnis, Wahrnehmungsgeschwindigkeit, Wortflüssigkeit, Wissen) eng mit den Gedächtnisleistungen vor und nach Instruktion und Training in der Gedächtnistechnik verknüpft waren. Trotz der allgemein hohen, uniformen Zusammenhänge zwischen Maßen kognitiver Leistungsfähigkeit und der Gedächtnisleistungen vor und nach Instruktion und Training in der Gedächtnistechnik zeigte unter den vier kognitiven Fähigkeiten wie zu erwarten das Gedächtnis die höchsten Zusammenhänge zu den Ausgangsleistungen im Prätest I sowie als einzige unter den vier kognitiven Fähigkeitskonstrukten *zusätzliche* prädiktive Eigenvarianzanteile. Nach Instruktion und Training in der Gedächtnistechnik hingegen konnte die Wahrnehmungsgeschwindigkeit im Vergleich zu dem Gedächtnis gleich hohe Anteile an *zusätzlicher*, durch die anderen drei Fähigkeiten noch nicht erklärten Varianz aufklären. Es war demnach die mechanisch-fluide Fähigkeit der Wahrnehmungsgeschwindigkeit, die operativ wurde, als es um das Erlernen der neuen Gedächtnistechnik ging. So war es auch die Wahrnehmungsgeschwindigkeit, die den besten Prädiktor für individuelle Unterschiede im instruktionsbedingten *Leistungszuwachs* darstellte (siehe Tab. 10, 12 und 14).

Die Beobachtung, daß dem Erwerb der Methode der Orte im hohen Alter ein Bündel kognitiver Fähigkeiten zugrunde liegt, entspricht Ergebnissen aus früheren Trainingsstudien mit der Methode der Orte, die darauf schließen ließen, daß die Ausführung der Methode der Orte auf einem komplexen Ensemble kognitiver Prozesse beruht, die sich vor allem durch Maße aus dem Bereich mechanisch-fluider Fähigkeiten erfassen lassen (Kliegl et al., 1990; Lindenberger

et al., 1992; Verhaeghen & Marcoen, 1996). Zugleich weist jedoch der Befund, daß die vier kognitiven Fähigkeiten und hier vor allem die eher kulturbasierten Maße pragmatisch-kristalliner Intelligenz (Wortflüssigkeit und Wissen) beinahe gleichartig hohe Zusammenhänge zu den Ausgangsleistungen und zu den Posttestleistungen zeigen, zudem auf eine Dedifferenzierung der kognitiven Fähigkeitsstruktur im hohen Alter hin (Baltes & Lindenberger, 1997; Burt, 1954; Lienert & Crott, 1964; Lindenberger & Baltes, 1997; Reinert, 1970). So ist zu vermuten, daß bei jüngeren Erwachsenen weitaus niedrigere Zusammenhänge zwischen Maßen pragmatisch-kristalliner Intelligenz und den Gedächtnisleistungen vor und nach Instruktion in der Gedächtnistechnik hätten beobachtet werden können. Da für die Kontrollstichprobe der 20- bis 30jährigen keine vergleichbaren prädiktiven Maße vorlagen, ist diese Annahme empirisch im Rahmen der vorliegenden Studie leider nicht zu prüfen. Die deutlich geringere Höhe der Zusammenhänge zwischen den Ausgangsleistungen und den Gedächtnisleistungen nach Erwerb der Gedächtnistechnik bei den jüngeren Erwachsenen im Vergleich zu den Hochbetagten spricht jedoch für eine solche Interpretation (siehe Tab. 7, S. 101).

Die beobachteten differentiellen korrelativen Ergebnismuster stehen ebenfalls im Einklang mit Befunden aus früheren Trainingsstudien, in denen Maße der Wahrnehmungsgeschwindigkeit als zentrale Indikatoren für individuelle Unterschiede in kognitiver Plastizität identifiziert werden konnten (Kliegl et al., 1990; Labouvie, Frohring, Baltes & Goulet, 1973; Lindenberger et al., 1992; Verhaeghen & Marcoen, 1996). So fanden beispielsweise Kliegl et al. (1990) im Rahmen einer Testing-the-Limits-Studie mit der Methode der Orte, daß der Vorhersagewert eines Tests der Wahrnehmungsgeschwindigkeit im Laufe des Trainings an Bedeutung gewann, wohingegen ein Gedächtnistest an prädiktiver Kraft verlor. Ganz ähnlich konnten bereits in den 1970er Jahren Labouvie et al. (1973) in einer Lernstudie zeigen, daß bei der Vorhersage von Gedächtnisleistungen die prädiktive Potenz von Tests genereller Intelligenz (z.B. der Denkfähigkeit) als Funktion der Übungsdurchgänge zunahm, während die Vorhersagekraft der verschiedenen Gedächtnismaße sank. Auch hier war das Argument, daß die Elaborierung eines neuen operativen Leistungssystems des Gedächtnisses in besonderer Weise von allgemeinen Ressourcen abhängt, die es den Teilnehmern ermöglichen, im Sinne eines Investments eine komplexe kristallisierte oder pragmatische Denkstrategie zu erwerben und zu verbessern. Hierbei hängt einem Amplifikationsmodell der Plastizität zufolge (Verhaeghen & Marcoen, 1996) die Vergrößerung der Altersunterschiede in den Gedächtnisleistungen nach einem mnemonischen Training mit der Methode der Orte mit der Tatsache zusammen, daß

gerade diese, durch Maße mechanisch-fluidier Intelligenz indizierte generelle Grundressource, die bereits den Ausgangsleistungen, jedoch in stärkerem Maße noch dem Erwerb der Gedächtnistechnik zugrunde liegt, eine deutliche altersbedingte Einschränkung erfährt.

6.1.3.2 Der Zusammenhang zwischen makro- und mikrogenetischen Veränderungen

Für die Überprüfung der Annahme, daß individuelle Unterschiede in kognitiver Plastizität im hohen Alter in erster Linie durch den Grad der biologisch bedingten Alterung zerebraler Funktionen bestimmt werden, waren die Analysen des Zusammenhangs zwischen kognitiver Plastizität und längsschnittlicher Leistungsveränderung von besonderer Bedeutung: Im allgemeinen, weil die Frage nach dem Zusammenhang zwischen makro- und mikrogenetischen Veränderungen im Rahmen kognitiver Plastizitätsforschung trotz ihrer theoretischen Bedeutung bislang nur selten Gegenstand empirischer Untersuchungen war (für Ausnahmen siehe u.a. Schaie & Willis, 1986; Willis & Nesselroade, 1990); und im besonderen, weil angenommen wurde, daß längsschnittliche Leistungsveränderungen in biologischen Markern bei Personen im hohen Alter einen direkteren Ausdruck altersbedingter Unterschiede darstellen als der aktuelle Leistungsstatus, da letzterer immer Folge sowohl vorausgegangener Stabilität als auch Veränderung sein kann.

Früherer Leistungsstatus (vor durchschnittlich 6.5 Jahren) und Leistungsveränderung

Korrelative Analysen machten zunächst deutlich, daß die Stabilitätskoeffizienten für die vier Maße kognitiver Leistungsfähigkeit sowie für die Maße des Hörens zwischen dem ersten und vierten Meßzeitpunkt der Berliner Altersstudie relativ hoch waren (zwischen $r = .71$ und $r = .90$; vgl. Tab. 15, S. 144). Die Berechnung der Interkorrelationen zwischen den gebildeten Differenzmaßen zur Erfassung der 6.5jährigen längsschnittlichen Leistungsveränderung in kognitiven sowie sensorischen Funktionen der Studienteilnehmer machte deutlich, daß die aufgrund der neurobiologischen Common Cause-Hypothese erwarteten signifikanten positiven Zusammenhänge zwischen den längsschnittlichen Leistungsveränderungen in den kognitiven und den sensorischen Funktionen in der vorliegenden Stichprobe nicht zu beobachten waren. Zudem zeigte die Berechnung von Reliabilitätskoeffizienten der längsschnittlichen Differenzmaße kognitiver und sensorischer Leistungsfähigkeit, daß von den sieben relevanten Veränderungsmaßen nur die Veränderungsmaße der mechanisch-fluiden Fähigkeit der Wahrnehmungs-

geschwindigkeit und der sensorischen Funktionen (Hören und Sehen) befriedigende Reliabilitäten aufwiesen (vgl. Tab. 16, S. 146). Aus diesem Grund wurden lediglich diese drei längsschnittlichen Veränderungsmaße in den Analysen zur Überprüfung der Hypothesen 5a und 5b berücksichtigt.⁶⁴

Für die Wahrnehmungsgeschwindigkeit konnte wie erwartet gezeigt werden, daß die Teilnehmer mit stärkeren negativen längsschnittlichen Leistungsveränderungen (über 6.5 Jahren) nach dem Gedächtnistraining ein niedrigeres Leistungsniveau und geringere instruktionsbedingte Leistungsgewinne aufwiesen (Hypothese 5a). Interessanterweise zeigte sich außerdem, daß individuelle Unterschiede in längsschnittlicher Leistungsveränderung in der Wahrnehmungsgeschwindigkeit noch keine Bedeutung für die Vorhersage der Ausgangsleistungen im Prätest I hatten. Die Bedeutung differentieller längsschnittlicher Leistungsveränderungen wurde erst nach Instruktion in und Training mit der Methode der Orte erkennbar. Genau umgekehrt verhielt sich das Ergebnismuster für den früheren Leistungsstatus, den die Teilnehmer zu Beginn der Berliner Altersstudie (1990–1993) in Maßen der Wahrnehmungsgeschwindigkeit hatten: 20 % der Varianz in den Gedächtnisleistungen im Prätest I konnten bereits durch den früheren Leistungsstatus erklärt werden. Für die Vorhersage individueller Unterschiede in den instruktionsbedingten Leistungsgewinnen hingegen hatte der frühere Leistungsstatus keinerlei Bedeutung (siehe Abb. 11 und Tab. 17). Ein solches differentielles Prädiktionsmuster legt folgende Interpretation nahe:

- (a) Die Befunde, daß mikrogenetische Veränderungen in erster Linie durch makrogenetische Veränderungen und das Ausgangsniveau vor allem durch den lebenszeitlich 6.5 Jahre früheren Status vorhergesagt werden, sprechen erneut für die Gültigkeit der konzeptuellen Unterscheidung zwischen Status- und Veränderungsmaßen. Die Ergebnisse entsprechen der theoretischen Perspektive, daß Veränderungen, auch wenn sie sich auf unterschiedlichen Zeitskalen manifestieren, gemeinsame Ursachen haben können (Baltes et al., 1977; Lindenberger & Baltes, 1995b; Werner, 1948).
- (b) Die Befunde verweisen zudem auf die Überlegenheit von Testing-the-Limits bzw. von potentialorientierten Ansätzen über Verfahren mit nur einmaliger Leistungserhebung: Die individuellen Unterschiede in den Langzeitveränderungen in den Maßen der Wahrnehmungsgeschwindigkeit

⁶⁴ Da es sich bei diesem Ausschlußkriterium um ein sehr konservatives Vorgehen handelte, wurden zur Kontrolle analoge Analysen auch für die anderen drei kognitiven Fähigkeiten berechnet. Die Ergebnisse in Anhang E3 Tabelle E3.1 bis E3.8 machen deutlich, daß sich die *Ergebnismuster* auch bei Berücksichtigung der Fähigkeiten Wortflüssigkeit, Wissen und Gedächtnis nicht wesentlich verändern.

mungsgeschwindigkeit konnten durch eine einmalige Messung (dem Prätest I) nicht sichtbar gemacht werden. Sie wurden erst erkennbar, nachdem Lernen stattgefunden hatte. Dieser Befund steht im Einklang mit der theoretischen Annahme, daß die Testing-the-Limits-Strategie zu einer genaueren und reineren Messung des Ausmaßes altersbedingter biologischer Funktionsverluste in der kognitiven Mechanik führt (Baltes & Kindermann, 1985; Kliegl & Baltes, 1987).

- (c) Da Maße der Wahrnehmungsgeschwindigkeit im Rahmen kognitiver Altersforschung einen zentralen Faktor bei der Erklärung altersbedingter Unterschiede im episodischen Gedächtnis sowie in zahlreichen anderen fluiden Intelligenzleistungen darstellen (Bryan & Luszcz, 1996; Lindenberger et al., 1993; Luszcz et al., 1997; Salthouse, 1991b, 1996; Verhaeghen & Salthouse, 1997), stehen die Befunde im Einklang mit der Annahme, daß im Sinne der Investment-Theorie (Cattell, 1971) die Abnahme kognitiver Plastizität auf einer altersbedingten Reduktion genereller mechanisch-fluiden Ressourcen beruht, die mit dem biologischen Alterungsprozeß zerebraler Funktionen verbunden ist.

Aktueller Leistungsstatus und Leistungsveränderung

Die in Hypothese 5b formulierte Annahme, daß längsschnittliche Veränderungsmaße kognitiver und sensorischer Leistungsfähigkeit zusätzliche, durch *aktuelle* Statusmaße kognitiver und sensorischer Leistungsfähigkeit noch nicht erklärte Varianz in den Plastizitätsmaßen aufklären können, konnte nicht eindeutig bestätigt werden (siehe Tab. 19 und 20). Die Ergebnisse deuten vielmehr mehrheitlich darauf hin, daß – zumindest im Rahmen der hier verwandten, regressionsanalytisch fundierten linearen Vorhersagemethoden – in Maßen längsschnittlicher Leistungsveränderung keine prädiktive Information enthalten ist, die nicht auch bereits durch Maße des aktuellen Leistungsstatus erfaßt wird. Dabei ist zu berücksichtigen, daß das zu einem bestimmten Zeitpunkt beobachtete Leistungsniveau einer Person immer zugleich das Ergebnis vorausgegangener Stabilität *und* Veränderung darstellt. Die im Rahmen der Überprüfung von Hypothese 5a berichteten Befunde weisen darauf hin, daß die individuellen Unterschiede im Leistungsgewinn vor allem mit der Komponente verknüpft sind, die auf vorausgegangene Leistungsveränderungen im beobachteten aktuellen Leistungsniveau verweisen. Aus einer diagnostischen Perspektive betrachtet kann jedoch aufgrund der vorliegenden Ergebnisse der Schluß gezogen werden, daß bei einer Gegenüberstellung längsschnittlicher Veränderungs- und

aktueller Statusmaße Informationen über den aktuellen Status ausreichen, um das Ausmaß an vorhandenen Kapazitätsreserven im hohen Alter vorherzusagen.

Zuletzt sollen zwei, den Erwartungen nicht entsprechende, generelle Befunde diskutiert werden. Zum einen konnten in keiner der berichteten Analysen signifikante Zusammenhänge zwischen den Prädiktoren und dem rein trainingsbedingten Leistungszuwachs (*Zuwachs II*) beobachtet werden. Konsistent mit dieser Beobachtung waren die im ersten Teil der Arbeit dargestellten Ergebnisse, die zeigten, daß die Instruktion in der Methode der Orte im Mittel zu erheblichen Leistungsverbesserungen führte, das vier Sitzungen umfassende Training hingegen im Mittel weder eine wesentliche Leistungssteigerung noch eine Neuordnung individueller Unterschiede (Stabilität Prätest II – Posttest, $r = .90$) bewirken konnte.

Auch in bezug auf die aktuellen Status- sowie längsschnittlichen Veränderungsmaße sensorischer Leistungsfähigkeit waren die beobachteten Zusammenhänge zu den kognitiven Prädiktoren sowie zu den Plastizitätsmaßen generell niedriger als aufgrund früherer Befunde in der Berliner Altersstudie und der theoretischen Annahme der neurobiologischen Common Cause-Hypothese im hohen Alter zu erwarten gewesen wäre (Baltes & Lindenberger, 1997; Li & Lindenberger, 1999; Lindenberger & Baltes, 1994, 1997). So wiesen beispielsweise die Maße sensorischer und kognitiver längsschnittlicher Leistungsveränderung keine signifikanten Zusammenhänge auf. Auch konnte weder der erwartete Anstieg an Vorhersagekraft von Maßen aktueller sensorischer Leistungsfähigkeit im Laufe des Trainings (Hypothese 4b), noch der postulierte positive Zusammenhang zwischen Maßen sensorischer Leistungsveränderung und Maßen kognitiver Plastizität beobachtet werden (Hypothese 5a, 5b). Positive, alterskorrelierte Selektivitätseffekte in der längsschnittlichen Stichprobe können auch in diesem Fall eine Ursache für die beobachteten niedrigen Zusammenhänge sein (siehe unten).

Zusammenfassung

Die korrelativen Befunde des zweiten Teils der Arbeit sprechen mehrheitlich für die Annahme, daß individuelle Unterschiede in kognitiver Plastizität im hohen Alter stärker mit alternsbezogenen biologischen Faktoren als mit Unterschieden in bildungs-, schicht- und arbeitsbezogenen Bedingungen assoziiert sind. Hierfür sprechen die Beobachtungen, (a) daß Maße des aktuellen kognitiven und sensorischen Leistungsstatus höhere Zusammenhänge zu Maßen der kognitiven Plastizität aufwiesen als die soziostrukturell-biographischen Variablen, (b) daß im Laufe der Trainingsstudie die Bedeutung von Maßen mechanisch-fluiden Intelligenz zunahm,

während der Einfluß der soziostrukturell-biographischen Faktoren sowie der Maße pragmatisch-kristalliner Intelligenz sank, und (c) daß Teilnehmer mit stärkeren Leistungsverlusten in Maßen der Wahrnehmungsgeschwindigkeit über einen Zeitraum von mehreren Jahren ein geringeres Ausmaß an Gedächtnisplastizität zeigten.

6.2 Alternative Erklärungsansätze und Begrenzungen

Im Hinblick auf die Relevanz der Befunde für Plastizitätstheorien im allgemeinen sollte beachtet werden, daß Plastizität ein Phänomen ist, das immer nur in einem bestimmten Kontext erfaßt werden kann. So wurde hier kognitive Plastizität am Beispiel von Gedächtnisfunktionen untersucht und dies wiederum anhand eines Trainings mit einer spezifischen Gedächtnistechnik, der Methode der Orte. Die in der vorliegenden Studie gezogenen Schlußfolgerungen sind daher eng mit dem gewählten Studiendesign, den spezifischen Charakteristika der gewählten Aufgabe sowie der trainierten mnemonischen Technik verbunden.

Im Zusammenhang mit der Frage nach der Generalisierbarkeit der Ergebnisse spielt zudem auch die Zusammensetzung der jeweiligen Stichprobe eine wichtige Rolle. Angesichts der Tatsache, daß die Studienteilnehmer im hohen Alter Überlebende einer längsschnittlichen Studie mit dem Schwerpunkt auf der Untersuchung des hohen Alters waren, stellt insbesondere die Stichprobenselektivität ein Problem bei der Interpretation der Daten dar.

6.2.1 Die Optimierungsannahme

Aus der Beobachtung fehlender Leistungsgewinne im Laufe der adaptiven Trainingsphase bei der Mehrheit der 75- bis 101jährigen wurde die Schlußfolgerung gezogen, daß das Potential zur Leistungsoptimierung im hohen Alter stark eingeschränkt sei. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, daß eine Fortführung des Trainingsprogramms nicht doch noch zu einer trainingsbezogenen Leistungsverbesserung bei den Hochbetagten geführt hätte. Eine solche Vermutung wird durch die Tatsache gestützt, daß die 75- bis 101jährigen im Vergleich zu den 20- bis 30jährigen aufgrund ihres niedrigeren Leistungsniveaus und des adaptiven Formats der Trainingsmethode im Durchschnitt kürzere Listen bearbeiteten und damit im Laufe des Trainings weniger Übungsdurchgänge absolvierten. Dieser Nachteil sollte jedoch dadurch kompensiert worden sein, daß die Wahrscheinlichkeit für Interferenzeffekte bzw. Intrusions-

effekte (Kliegl & Lindenberger, 1993) aufgrund geringerer Wiederholung der Hinweisreize innerhalb einer Sitzung bei kurzen Wortlisten geringer und damit bei den alten Probanden kleiner als bei den jungen war. So machten die Analysen deutlich, daß die jungen Erwachsenen im Mittel im Laufe der letzten Trainingssitzung aufgrund ihres hohen Leistungsniveaus mehr als viermal die gleichen Orte als Hinweisreize erhielten, die Probanden im hohen Alter hingegen im Mittel nicht einmal alle 32 Orte ein zweites Mal als Hinweisreize nutzen mußten.

Weiterhin muß der Begriff der Leistungsoptimierung immer im Sinne der angewandten Operationalisierung verstanden werden: Er verweist hier auf die Fähigkeit, zunächst eine fehlerlose Leistung zu erbringen, um auf dieser Leistung aufbauend durch weiteres Training eine bessere zu erzielen. Die Befunde legen jedoch die Schlußfolgerung nahe, daß es gerade das Erbringen fehlerloser Leistungen war, das den Hochbetagten im Vergleich zu den jungen Erwachsenen Schwierigkeiten bereitete. Da es nicht Ziel der Arbeit war, die Mechanismen aufzuklären, die der Plastizität mit der Methode der Orte zugrunde liegen, kann an dieser Stelle nur über mögliche Ursachen für die beobachteten Defizite bei Personen im hohen Alter spekuliert werden.

Zum einen können die beobachteten Leistungseinbußen zu Beginn der Trainingsphase motivational erklärt werden. Es könnte beispielsweise vermutet werden, daß die 75- bis 101jährigen aufgrund einer zu hohen, subjektiv wahrgenommenen Diskrepanz zwischen den Anforderungen des vorgegebenen Trainingsprogramms und der eigenen Leistungsfähigkeit das vorgegebene Ziel zur kontinuierlichen Leistungsoptimierung durch selbstwertdienlichere Ziele ersetzt haben, wie beispielsweise durch das Ziel, sich unabhängig von den vorangegangenen Leistungen und der jeweiligen Listenlänge immer nur an etwa die Hälfte der Worte zu erinnern (Brandstädter & Greve, 1994; Brandstädter & Rothermund, 1994; Freund & Baltes, in Druck; Heckhausen & Schulz, 1995). Vorerst muß jedoch auch bei einer solchen motivationalen Begründung erklärt werden, worauf die wahrgenommene Diskrepanz zwischen gestellten Anforderungen und realer Leistungsfähigkeit zurückzuführen ist. Es ist hierbei plausibel anzunehmen, daß solch eine empfundene Überforderung im Alter Folge objektiver, altersbedingter Funktionseinschränkungen des kognitiven Systems darstellt, die unter Umständen beim Kriterium der Fehlerlosigkeit besonders auffällig werden. So ist generell vorstellbar, daß sich im alternden Gehirn das Signal-Rausch-Verhältnis negativ verändert (Li & Lindenberger, 1999; Li et al., in Druck; Welford, 1965, 1981); dies würde unvermeidlich zu einem Anstieg der

Fehlerrate führen und sich auf das Kriterium der Fehlerlosigkeit weit stärker auswirken als auf die mittlere Erfolgsrate.

Als weiterer kognitiver Ansatz zur Erklärung der ineffizienten Trainingsverläufe könnte die Theorie einer altersbedingten Abnahme der Verarbeitungsgeschwindigkeit (Birren, 1964; Cerella, 1990; Salthouse, 1991b, 1996) herangezogen werden. In Übereinstimmung mit dem von Salthouse (1996) vorgeschlagenen begrenzten Zeitmechanismus könnte in der vorliegenden Studie das vorgegebene Zeitintervall von 12 Sekunden zu kurz gewesen sein. In Anbetracht der altersbedingten kognitiven Verlangsamung könnte dieses Intervall nicht ausgereicht haben, um die Verarbeitung des einzuprägenden Stimulusmaterials (der Wortpaare) zu beenden. Da in vorliegender Studie lediglich die Listenlänge, nicht aber die Präsentationszeit variiert wurde, kann diese Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden. Der Anstieg der Vorhersagekraft der Wahrnehmungsgeschwindigkeit nach Instruktion in und Training mit der Methode der Orte scheint diese Interpretation zu stützen. Ergebnisse aus der von Kliegl et al. (1989) durchgeführten Trainingsstudie mit der Methode der Orte sprechen jedoch gegen die Annahme eines zu kurzen Präsentationsintervalls, da (a) hier alle älteren Probanden in der Lage waren, bei Präsentationsraten von 20, 15 und 10 Sekunden das vorgegebene Kriterium zu erreichen, nämlich zweimal hintereinander 15 oder mehr Wörter einer 30-Wort-Liste korrekt zu erinnern, und (b) die Altersunterschiede zwischen jungen und älteren Erwachsenen bei einer Präsentationsrate von 10 Sekunden nicht größer waren als bei einer Rate von 15 oder 20 Sekunden. Zwar waren die Teilnehmer jener Studie im Durchschnitt jünger (65 bis 80 Jahre); zugleich aber handelte es sich um eine weitaus schwierigere Aufgabe, da die Probanden die Methode der Orte ohne externe Hinweisreize durchführen mußten und die präsentierten Wortlisten mit 30 Wörtern sehr viel länger waren.

Schließlich kann das geringe Ausmaß an Trainingsgewinn auch im Lichte eines altersbedingten Gedächtnisdefizits bei der Speicherung und Integration kontextueller Informationen interpretiert werden (Kliegl & Lindenberger, 1993; Light, 1991; Spencer & Raz, 1995; Zacks et al., 2000). Auf die vorliegende Gedächtnisaufgabe übertragen ist demnach die Wahrscheinlichkeit im Alter höher, die zu erinnernden Wörter nicht in ihren Lernkontext integrieren, das heißt mit den dargebotenen Hinweisreizen, den Orten, verknüpfen zu können, und folglich diese Wörter nicht mehr oder nur noch kontextinadäquat zu erinnern. Befunde von Kliegl und Lindenberger (1993) sprechen für diese Interpretation. Dort konnte in mehreren Gedächtnisexperimenten mit der Methode der Orte gezeigt werden, daß ältere Erwachsene mit

einer höheren Wahrscheinlichkeit Gedächtnisspuren ohne Informationen über den Listenkontext bilden.

Angesichts dieser Überlegungen kann nicht ausgeschlossen werden, daß alternative Trainingsprogramme auch bei Personen im hohen Alter eine kontinuierliche Leistungsverbesserung ermöglicht hätten. Das Herunersetzen des Adaptationskriteriums oder die Durchführung eines Trainingsprogramms, das den Probanden erlaubt, solange unter zeitlich nicht eingeschränkten Bedingungen zu üben, bis sie fehlerlose Leistungen erbringen, stellen mögliche Alternativen dar. Letzteres orientiert sich an theoretischen Ansätzen aus der Expertiseforschung, in denen für die Entwicklung von Höchstleistungen die Bedeutung von Trainingsformaten betont wird (*deliberate practice*), die die gezielte Kompensation von individuellen Schwächen mittels selektiver Optimierung aufgabenspezifischen Wissens über sofortige und handlungsrelevante Rückmeldung durch einen Einzeltrainer herausstellen (Ericsson, 1996; Ericsson et al., 1993; Kliegl et al., in Vorb.; Krampe & Ericsson, 1996).

Trotz der möglichen Existenz anderer Trainingsformate, die auch im hohen Alter kontinuierliche Trainingsgewinne ermöglichen, lassen die vorliegenden Ergebnisse dennoch den Schluß zu, daß *Leistungsoptimierung* im Gedächtnisbereich besonders starke altersbezogene Einschränkungen aufweist, da letztlich Optimierung und Fehlerlosigkeit nicht in einem arbiträren Verhältnis zueinander stehen; vielmehr stellt das Kriterium der Fehlerlosigkeit eine besonders direkte Operationalisierung des Optimierungskonzepts von Leistungen dar. Hierbei erscheint unter den vorgeschlagenen Interpretationen für das beobachtete Optimierungsdefizit die Annahme eines generell reduzierten Signal-Rausch-Verhältnisses im alternden Gehirn als die allgemeinste und umfassendste. Die systematische Erforschung der Ursachen des beobachteten Mangels an Leistungsoptimierung im hohen Alter stellt ein vielversprechendes Forschungsvorhaben dar. Zum einen ließen sich Erkenntnisse über die Mechanismen gewinnen, die der Plastizität zugrunde liegen; zum anderen könnten die Bedingungen aufgeklärt werden, unter denen Leistungsoptimierung auch im hohen Alter noch möglich ist. So konnten beispielsweise Studien von Bäckman und Mitarbeitern zeigen, daß unter bestimmten Umständen Personen im hohen Alter von kognitiver Unterstützung gleichermaßen profitieren wie ältere Erwachsene (Bäckman et al., 2000).

6.2.2 Das Problem der Stichprobenselektivität

Ein Problem für die Generalisierbarkeit der Daten von Längsschnittsforschung ist die Stichprobenselektivität. Es stellt sich demnach die Frage nach dem Ausmaß in dem Merkmale, die den Stichprobenausfall seit Beginn der Berliner Altersstudie vorhersagen, mit untersuchungsrelevanten Merkmalen zusammenhängen. Wie an anderer Stelle ausführlich dargestellt (Lindenberger, Singer & Baltes, 1999; siehe Anhang F), kann Stichprobenselektivität die Folge (a) von Mortalität oder (b) von experimentellen Ausfällen sein. Während die *mortalitäts-assoziierten Selektivitätseffekte* die Validität der Ergebnisse nicht gefährden, da sie sich auf Populationsprozesse beziehen, schränken *experimentelle Selektivitätseffekte* die Generalisierbarkeit der Befunde ein, da sie die Erwartungstreue der statistischen Kennwerte als Schätzer von Populationsparametern herabsetzen. Die in Anhang F beschriebenen Kontrollanalysen zeigen, daß der größte Anteil der beobachteten Selektivitätseffekte in vorliegender Stichprobe auf das Ableben von Teilnehmern der Berliner Altersstudie zurückzuführen war. Jedoch konnten zugleich *alterskorrelierte experimentelle Selektivitätseffekte* beobachtet werden, die in ihrer Größe kleinen bis mittleren Selektivitätseffekten (vgl. Cohen, 1977) entsprachen.

Drei zentrale Implikationen dieser Effekte für die Interpretation der Daten verdienen besondere Erwähnung:

- (1) Unabhängig vom Alter der 75- bis 101jährigen ist anzunehmen, daß aufgrund der überdurchschnittlichen Leistungsfähigkeit der noch teilnehmenden Probanden das Ausmaß an beobachteter kognitiver Plastizität in der vorliegenden Stichprobe eine Überschätzung der durchschnittlichen Leistungspotentiale der gesamten Population der 75- bis über 100jährigen darstellt.
- (2) In bezug auf die Vorhersage kognitiver Plastizität durch Maße längsschnittlicher Leistungsveränderung ist zu vermuten, daß der durchschnittliche negative längsschnittliche Leistungsverlust unterschätzt wird, wenn Personen mit höherem kognitiven Leistungsverlust ausfallen und Teilnehmer mit relativ hoher Stabilität zurückbleiben (Siegler & Botwinick, 1979). Wegen der dadurch bedingten Reduktion der Variabilität wird die Höhe des beobachteten Zusammenhangs zwischen längsschnittlicher Leistungsveränderung und Maßen der Plastizität abgeschwächt.
- (3) Der beobachtete Zusammenhang zwischen experimenteller Selektivität und dem Alter führt dazu, daß sowohl längsschnittliche als auch querschnittlich beobachtete Altersbeziehungen

in der vorliegenden Stichprobe der Überlebenden weniger stark ausgeprägt sind als in der Population der 75- bis über 100jährigen. Die geringen Korrelationen zwischen Alter und den Maßen kognitiver Plastizität bei den 75- bis 101jährigen zeugen von solchen Effekten. Positive alterskorrelierte Selektivitätseffekte beeinträchtigen ferner alle beobachteten Zusammenhänge zwischen individuellen Unterschiedsvariablen und Maßen der kognitiven Plastizität, insofern die individuellen Unterschiedsvariablen mit der Altersvariablen kovariieren. Daher ist beispielsweise aufgrund des beobachteten negativen Zusammenhangs zwischen Alter und Maßen kognitiver und sensorischer Leistungsfähigkeit im hohen Alter (vgl. Lindenberger & Baltes, 1997) anzunehmen, daß nicht nur die beobachtbaren Altersunterschiede in der kognitiven Plastizität, sondern auch die Zusammenhänge zwischen Maßen kognitiver und sensorischer Leistungsfähigkeit und Maßen kognitiver Plastizität durch alterskorrelierte Selektivitätseffekte reduziert waren. Die im Vergleich zu Untersuchungen an der Ausgangsstichprobe (Lindenberger & Baltes, 1997) geringen Alterskorrelationen der sensorischen und kognitiven Maße, sowie deren abgeschwächte Zusammenhänge untereinander sprechen für diese Annahmen. Demnach sollten beobachtete Zusammenhänge zwischen Maßen der Plastizität und individuellen Unterschiedsvariablen stärker als in Untersuchungen mit geringerer alterskorrelierter Stichprobenselektivität auf jenen Anteil gemeinsamer Varianz zurückzuführen sein, der nicht mit der Altersvariablen verknüpft ist.

6.2.3 Die Abnahme kognitiver Plastizität im Alter: Erklärungen und offene Fragen

In diesem Abschnitt soll die Bedeutung der vorliegenden Befunde für generelle Theorien im Rahmen kognitiver Altersforschung diskutiert werden. Angesichts der Tatsache, daß die Befunde einen altersbedingten Verlust in der Plastizität von Gedächtnisfunktionen reflektieren, stellt sich die Frage nach den zugrundeliegenden Ursachen solcher Verluste. Da es nicht das Ziel vorliegender Studie war, die kognitiven oder neuronalen Prozesse zu identifizieren, die Behaltensleistungen mit der Methode der Orte zugrunde liegen, können hierfür lediglich korrelative Zusammenhänge herangezogen werden.

Integrative Ansätze mit dem Schwerpunkt auf der Erklärung altersbedingter Funktionsverluste gehen in der Regel davon aus, daß altersbedingte Veränderungen in kognitiven Funktionen die Folge einer Begrenzung genereller Ressourcen darstellen (Cerella, 1990; Craik

& Byrd, 1982; Just & Carpenter, 1992; Salthouse et al., 1988). Als eine der Ursachen von altersbedingten Beeinträchtigungen komplexer kognitiver Leistungen wird die Abnahme der Verarbeitungsgeschwindigkeit kognitiver Prozesse vermutet (Cerella, 1990; Hasher & Zacks, 1988; Myerson et al., 1990; Salthouse, 1985, 1996). Eine andere, der psychometrischen Forschungstradition verpflichtete Perspektive macht für altersbedingte Verluste die Abnahme der Entwicklungskapazität mechanisch-fluidier Fähigkeiten verantwortlich (Baltes, 1987; Cattell, 1971; Horn, 1982). In jüngster Zeit wurde von Lindenberger und Baltes (1994) im Zusammenhang mit der neurobiologischen Common Cause-Hypothese vorgeschlagen, daß die Ursache für altersbedingte Defizite kognitiver Funktionen in interindividuellen Unterschieden in der Ausprägung biologisch bedingter Altersverluste zerebraler Funktionen liegt, die sich bereichsübergreifend und somit nicht nur in kognitiven, sondern mitunter auch in sensorischen Defiziten äußern (Baltes & Lindenberger, 1994, 1997; Lindenberger, in Druck-a).

In gewissem Sinne können die korrelativen Ergebnisse vorliegender Arbeit als Evidenz für jeden dieser Ansätze gewertet werden. So erwiesen sich beispielsweise sowohl aktuelle Status- als auch längsschnittliche Veränderungsmaße der Wahrnehmungsgeschwindigkeit als gute Prädiktoren für individuelle Unterschiede in den instruktionsbedingten Leistungsgewinnen (Lernrate). Die Bedeutung dieses Maßes kann auf unterschiedliche Weise interpretiert werden, da Maße der Wahrnehmungsgeschwindigkeit im Rahmen kognitiver Altersforschung als primäre Indikatoren für altersbedingte Unterschiede in (a) der Verarbeitungsgeschwindigkeit kognitiver Prozesse (Cerella, 1990; Myerson et al., 1990; Salthouse, 1985, 1996), (b) mechanisch-fluiden Fähigkeiten (Bäckman et al., 1998; Hill et al., 1997; Kliegl et al., 1990; Lindenberger & Baltes, 1997; Lindenberger et al., 1993) oder aber (c) der biologischen Integrität zerebraler Funktionen (Luszcz & Bryan, 1999) gewertet werden. Der gegenwärtige Stand der Forschung gestattet hierbei nicht, diese Interpretationen eindeutig voneinander abzugrenzen bzw. zu falsifizieren. Eine schlichte Reduktion verlängerter Verarbeitungszeiten auf verlangsamte Informationsweitergabe auf neuronaler Ebene scheint allerdings zu kurz zu greifen (Bashore et al., 1998). Eine Vielzahl von Studien legt vielmehr nahe, daß Maße der Wahrnehmungsgeschwindigkeit besonders sensible Indikatoren allgemeiner, altersbedingter Effekte darstellen (Lindenberger et al., 1993; Salthouse, 1985, 1996; Verhaeghen & Salthouse, 1997).

Werden Maße der Wahrnehmungsgeschwindigkeit in der Tradition psychometrischer Intelligenzforschung als besonders sensible Indikatoren mechanisch-fluidier Intelligenz und hierbei insbesondere ihres altersbezogenen Anteils interpretiert, stehen die Befunde im Einklang

mit der Investment-Theorie (Cattell, 1971) sowie mit einem Amplifikationsmodell altersbedingter Unterschiede in der Gedächtnisplastizität (Verhaeghen & Marcoen, 1996). Demnach hängt der Erwerb und die Verfeinerung eines komplexen operativen Wissenssystems wie der Methode der Orte von allgemeinen Ressourcen ab, die durch Maße mechanisch-fluider Intelligenz indiziert werden. Einem Amplifikationsmodell kognitiver Plastizität (Verhaeghen & Marcoen, 1996) zufolge kommt es zu einer Vergrößerung der Altersunterschiede in den Gedächtnisleistungen nach einem mnemonischen Training, weil gerade diese generellen mechanisch-fluiden Verarbeitungsressourcen, die bereits den Ausgangsleistungen, jedoch in stärkerem Maße noch dem Erwerb der neuen mnemonischen Technik zugrunde liegen, altersbedingte Verluste aufweisen. Die Beobachtungen einer Vergrößerung der Altersunterschiede im Laufe des mnemonischen Trainings und eines Anstiegs an prädiktiver Kraft von Maßen der Wahrnehmungsgeschwindigkeit nach Erwerb der Gedächtnistechnik, sowie der Befund, daß Personen mit einem stärkeren 6.5jährigen längsschnittlichen Leistungsverlust in der Wahrnehmungsgeschwindigkeit ein geringeres Ausmaß an kognitiver Plastizität aufwiesen, sind konsistent mit einer solchen Interpretation.

Im Einklang mit solchen bereichsübergreifenden Ressourcenansätzen wurde im vorgeschlagenen Prädiktionsmodell die neurobiologische Common Cause-Hypothese als weiterer Erklärungsansatz für individuelle Unterschiede in der Gedächtnisplastizität im hohen Alter vorgeschlagen. Hierbei werden Maße der Wahrnehmungsgeschwindigkeit als besonders sensitive Indikatoren genereller, biologisch bedingter Alterungsprozesse von Gehirnfunktionen interpretiert, die einen Verlust in mechanisch-fluiden sowie sensorischen Funktionen bewirken. Im Rahmen dieses Modells werden zwei zentrale Fragen aufgeworfen: (a) Läßt sich die Common Cause-Hypothese auf Maße der kognitiven Plastizität ausdehnen, und (b) findet diese Hypothese auch in einem längsschnittlichen Kontext Unterstützung? Hierbei sollten der neurobiologischen Common Cause-Hypothese zufolge individuelle Unterschiede in kognitiver Plastizität altersbedingte Kovarianzen mit Indikatoren aktueller kognitiver und sensorischer Leistungsfähigkeit aufweisen. Außerdem sollten interindividuelle Unterschiede in längsschnittlicher sowie mikrogenetischer Leistungsveränderung in diesen Maßen positiv miteinander korrelieren.

Konsistent mit Beobachtungen einer Dedifferenzierung der Kovarianzen innerhalb des kognitiven Fähigkeitsbereichs im hohen Alter und der daraus abgeleiteten neurobiologischen Common Cause-Hypothese (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1997) sind

die Befunde, daß alle vier kognitiven Fähigkeitskonstrukte hoch mit den Gedächtnisleistungen vor und nach Instruktion und Training in der Methode der Orte verknüpft waren. Einen weiteren Hinweis auf eine Dedifferenzierung der kognitiven Fähigkeitsstruktur im hohen Alter gibt die Beobachtung, daß in der vorliegenden Studie die Ausgangsleistungen und die Leistungen nach Instruktion in der Methode der Orte relativ hoch miteinander korreliert waren ($r = .65$). Im Gegensatz dazu waren in früheren Trainingsstudien mit der Methode der Orte bei älteren Erwachsenen nur geringe oder nicht vorhandene Zusammenhänge zwischen den Ausgangs- und den Posttestleistungen zu beobachten (Kliegl et al., 1990; Verhaeghen & Marcoen, 1996). Zudem zeigten sich in der Kontrollgruppe jüngerer Erwachsenen im Vergleich zu den Hochbetagten weitaus geringere Zusammenhänge zwischen Ausgangs- und Trainingsleistungen. Weiterhin konsistent mit der neurobiologische Common Cause-Hypothese ist der Befund, daß sensorische Maße signifikante Varianzanteile in Maßen der Gedächtnisplastizität erklären konnten.⁶⁵

Insgesamt waren jedoch die beobachteten Zusammenhänge zwischen sensorischen Funktionsparametern und kognitiver Leistungsfähigkeit sowie kognitiver Plastizität geringer als aufgrund früherer, querschnittlicher Befunde aus der Berliner Altersstudie zu erwarten gewesen wäre (Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994, 1997). Auch konnte längsschnittlich keine eindeutige Evidenz für die neurobiologische Common Cause-Hypothese gefunden werden, da die Maße längsschnittlicher sensorischer Veränderung weder mit den Veränderungsmaßen kognitiver Leistungsfähigkeit noch mit den Maßen mikrogenetischer Veränderung, das heißt mit den Plastizitätsmaßen, statistisch signifikante Zusammenhänge aufwiesen. Niedrige Interkorrelationen zwischen Veränderungsmaßen in unterschiedlichen kognitiven Fähigkeiten wurden bereits in mehreren längsschnittlichen Studien beobachtet (Hultsch, Hertzog, Small, McDonald-Miszczak & Dixon, 1992; Schaie, 1996; Taylor, Miller & Tinklenberg, 1992; Zelinski, Gilewski & Schaie, 1993; Zelinski & Stewart, 1998). So berichtet

⁶⁵ Der Einwand, daß der beobachtete Zusammenhang zwischen Maßen der Sensorik und der kognitiven Plastizität allein darauf zurückzuführen sei, daß die konkrete Ausführung der verwendeten Gedächtnisaufgabe ein intaktes Seh- und Hörvermögen voraussetze, scheint aus mehreren Gründen vernachlässigt werden zu können: Um altersbedingten Seh- und Höreinbußen entgegenzuwirken, wurde das Stimulusmaterial sowohl akustisch über Kopfhörer als auch visuell über den Computerbildschirm in großen Buchstaben präsentiert. Da Maße der Seh- und der Hörfähigkeit in der vorliegenden Stichprobe unkorreliert waren, war die Anzahl von Personen, die weder gut sehen noch gut hören und daher von der bimodalen Präsentationsform nicht profitieren konnten, vermutlich vernachlässigbar. Ferner konnten Lindenberger, Scherer und Baltes (1999) in einer Simulationsstudie zeigen, daß bei jungen Erwachsenen eine experimentelle, den natürlichen altersbedingten Einbußen entsprechende Verminderung des Seh- und Hörvermögens im Vergleich zu einer Kontrollstichprobe nicht zu einer Abnahme in der Leistungsfähigkeit in einer Vielzahl von psychometrisch erfaßten kognitiven Tests führte.

beispielsweise Schaie (1996), daß im Rahmen der Seattle Longitudinal Study kaum einer der Teilnehmer über einen Zeitraum von sieben Jahren hinweg korrelierte Verluste in allen oder auch nur in der Mehrheit der erhobenen kognitiven Fähigkeitsmaße zeigte (Schaie, 1996).

Dennoch ist unter Berücksichtigung der zuvor diskutierten möglichen Auswirkungen des beobachteten positiven Zusammenhangs zwischen dem Alter und der Selektivitätseffekte in der längsschnittlichen Stichprobe Vorsicht geboten, die vorliegenden Befunde als Evidenz *gegen* die neurobiologische Common Cause-Hypothese zu interpretieren: Positive alterskorrelierte Selektivitätseffekte können, wie oben ausgeführt, zu einer generellen Reduktion längsschnittlich und querschnittlich beobachteter Altersbeziehungen sowie zu einer Abschwächung aller Zusammenhänge zwischen Variablen führen, die mit dem Alter kovariieren. Da sich die neurobiologische Common Cause-Hypothese vor allem auf altersassoziierte Varianzanteile bezieht, wird die Wahrscheinlichkeit, Evidenz für diese Hypothese zu finden durch alterskorrelierte Selektivitätseffekte, wie sie vor allem bei Längsschnittstudien an Hochbetagten auftreten, deutlich vermindert. Diesem methodischen Problem kann vermutlich am besten durch methodische Ansätze begegnet werden, die den selektiven Ausfallprozeß und den Veränderungsprozeß *gleichzeitig modellieren*.

Zudem sei darauf hingewiesen, daß die Reduktion der beobachteten längsschnittlichen Verluste nicht nur durch positive Selektivitätseffekte bewirkt werden kann, sondern auch durch Übungseffekte, wie sie in Studien auftreten, in denen mehrere Messungen in relativ kurzem Abstand durchgeführt werden (Baltes et al., 1977). Demnach sind längsschnittliche Veränderungen aus zwei unterschiedlichen Effekten zusammengesetzt: einer relativen Leistungssteigerung aufgrund von Testwiederholungseffekten sowie einem altersbedingten Funktionsverlust (vgl. Sliwinski & Buschke, 1999). Die positiven Werte in den Verteilungen der längsschnittlichen Veränderungsmaße legen nahe, daß auch in vorliegender Studie Übungseffekte zu beobachten waren (siehe Anhang E, Tab. E2.1).

Zusätzlich werden die beobachteten Zusammenhänge zwischen den längsschnittlichen Veränderungsmaßen und den Maßen kognitiver Plastizität im Vergleich zu querschnittlichen Zusammenhängen auch dadurch verringert, daß sich die längsschnittlichen Befunde auf einen Zeitraum von durchschnittlich 6.5 Jahren beziehen. Im Gegensatz hierzu beziehen sich querschnittliche Befunde zumeist auf weit größere Altersspannen (z.B. 20–33 Jahren; vgl. BASE: Baltes & Mayer, 1999; Sliwinski & Buschke, 1999; Zelinski & Burnight, 1997).

Zusammenfassend machen diese Überlegungen auf ein Paradoxon aufmerksam: Obwohl die Erforschung des Zusammenhangs zwischen makrogenetischen und mikrogenetischen Veränderungen und die Prüfung der Gültigkeit der neurobiologischen Common Cause-Hypothese in einem längsschnittlichen Kontext aus entwicklungspsychologischer Sicht von besonders großem theoretischen Interesse sind, liefern gerade die beobachteten längsschnittlichen Ergebnisse aufgrund von Übungs- und Selektivitätseffekten keine erwartungstreuen Schätzungen der wahren Zusammenhänge zwischen biologischem Altern und kognitiver Plastizität in der Population; vielmehr werden die interessierenden Zusammenhänge mit großer Wahrscheinlichkeit systematisch unterschätzt.

Zuletzt sei auf einen möglichen Sachverhalt hingewiesen, der im Gegensatz zu den vorher genannten die Zusammenhänge zwischen längsschnittlich beobachtetem biologischem Altern und kognitiver Plastizität erhöht haben könnte: das Vorhandensein von Personen mit präklinischer Demenz in der vorliegenden Stichprobe. Personen mit präklinischer Demenz hätten aufgrund ihrer Erkrankung einen längsschnittlichen kognitiven Leistungsverlust erlitten, wären jedoch, da klinisch noch nicht auffällig, in die vorliegende Stichprobe einbezogen worden. Obwohl die Werte des klinischen Mini Mental State Examination Test (Folstein et al., 1975) dafür sprechen, daß es sich um eine Stichprobe kognitiv gesunder Personen handelte, kann dennoch nicht ausgeschlossen werden, daß die Befunde durch Personen mit prä- und frühklinischer Demenz verzerrt wurden (vgl. Sliwinski et al., 1996). Die Frage nach der Höhe des Anteils an derartigen Personen kann erst durch Folgeuntersuchungen an derselben Stichprobe beantwortet werden. Diese Untersuchungen wären auch deswegen von großem Interesse, weil dann in Umkehrung der in dieser Arbeit verfolgten Vorhersagerichtung überprüft werden könnte, ob Maße der Gedächtnisplastizität ein geeignetes Diagnoseinstrument zur Früherkennung von Demenz darstellen (vgl. entsprechende Arbeiten mit psychometrischen Intelligenztrainings von Baltes & Raykov, 1996; Sowarka et al., in Druck).

6.3 Fazit und Ausblick

6.3.1 Fazit

Auf einer höheren konzeptuellen Abstraktionsebene lassen sich die Befunde der vorliegenden Arbeit im Lichte genereller theoretischer Überlegungen zum Einfluß von Biologie und Kultur auf die menschliche Ontogenese und insbesondere auf das vierte Lebensalter interpretieren (Baltes, 1993, 1997, 1999; Baltes & Graf, 1996). Demnach unterliegt jegliche Form von Optimierungsbemühung im hohen Alter größeren biologisch bedingten Einschränkungen als in früheren Lebensphasen. Grundsätzlich sind evolutionär bedingte Selektionseffekte im Alter weniger wirksam als in früheren Lebensabschnitten und die biologischen Potentiale nehmen ab. Gleichzeitig nimmt mit zunehmendem Alter der Bedarf an Kultur zu, da es zum einen für die Optimierung und zeitliche Verlängerung der menschlichen Entwicklung einer immer höher entwickelten Kultur bedarf und weil zum anderen aufgrund der zunehmend dominanter werdenden biologischen Funktionsverluste der Bedarf an kompensatorischen kulturellen Mechanismen zum Erreichen positiver Entwicklungsergebnisse steigt. Zugleich nimmt paradoxerweise die *Effektivität* dieser unterstützenden Hilfsmittel aufgrund der zunehmend dominanter werdenden biologischen Funktionsverluste ebenfalls ab. Im Einklang mit diesen generellen Überlegungen weisen sowohl die deskriptiven als auch die korrelativen Befunde der vorliegenden Arbeit darauf hin, daß das Ausmaß an Entwicklungskapazität im hohen Alter abnimmt und diese Reduktion kognitiver Plastizität vor allem von altersassozierten biologischen Faktoren bestimmt wird. Die beobachteten Leistungsgewinne nach Einführung der mnemonischen Technik machen andererseits auch deutlich, daß der Erwerb leistungsfördernder kognitiver Werkzeuge, das heißt der Erwerb kulturbasierter Wissenssysteme, auch im hohen Alter noch zu einer gewissen Verbesserung episodischer Gedächtnisleistungen verhelfen kann. Zugleich unterstreicht die Beobachtung, daß jüngere Erwachsene stärker von einem Gedächtnistraining profitieren konnten als die Hochbetagten, die mehrheitlich nicht mehr in der Lage waren, effektive Performanzen in der Methode der Orte zu erbringen und demzufolge ihre Leistungen im Laufe eines Trainingsprogramms auch nicht verbessern konnten, die reduzierte Wirksamkeit solcher leistungsfördernder Interventionen im vierten Lebensalter.

Diese eher pessimistische Perspektive auf das hohe Alter sollte jedoch nicht den Blick auf die weiterhin vorhandenen Potentiale verstellen. Hervorgehoben sei in diesem Zusammen-

hang die große Bandbreite inter- und intraindividuelle Unterschiede, die auch in vorliegender Studie beobachtet werden konnte (vgl. auch Schaie, 1996). So machen die Befunde auch deutlich, daß manche Personen zwischen 75 und 101 Jahren keine nennenswerten längsschnittlichen Leistungsverluste erlitten und einige wenige in ihrem Leistungsniveau nach dem mnemonischen Training sowie in ihren Lerngewinnen über dem Durchschnitt jüngerer Erwachsener lagen. Ein besseres Verständnis der kognitiven Alterungsprozesse in derartig leistungsstarken Hochbetagten könnte sich bei der Suche nach den Ursachen von Leistungserhalt und Leistungsoptimierung im Alter als besonders wichtig erweisen.

6.3.2 Ausblick

Die vorliegende Arbeit bietet neben der weiteren Untersuchung der Ursachen und Bedingungen für den Erhalt kognitiver Plastizität sowie erfolgreicher Leistungsoptimierung im Alter eine Reihe von Anknüpfungspunkten für weitere empirische Untersuchungen. Aus grundlagenwissenschaftlicher Sicht wäre es beispielsweise wünschenswert, die neurobiologische Common Cause-Hypothese einer direkteren empirischen Überprüfung zugänglich zu machen. Dies könnte mit weiteren Plastizitätsaufgaben sowie sensibleren Prädiktorvariablen geschehen.

So könnte zunächst geprüft werden, ob der beobachtete altersbedingte Verlust an Plastizität auch bei anderen kognitiven und senso-sensomotorischen Leistungen festzustellen ist. Es wäre hierfür wünschenswert, Funktionen zu untersuchen, für die bereits bekannt ist, auf welchen neuronalen Mechanismen und kortikalen Strukturen die Plastizität dieser Funktionen beruht. So belegen beispielsweise psychologische und neurophysiologische Befunde aus der Forschung zum *perzeptuellen Lernen*, das heißt der übungsbedingten Verbesserung elementarer sensorischer Leistungen, daß die Lernleistungen auf adaptiven Veränderungen neuronaler Antworteigenschaften beruhen, die für die trainierte Aufgabe *spezifisch* sind und auf der Ebene primärer und allenfalls sekundärer sensorischer Hirnareale verortet werden (Gilbert, 1994; Karni & Bertini, 1997). Trainiert werden könnten beispielsweise die Diskriminationsleistung von einfachen Reizeigenschaften, wie der Orientierung in der visuellen Modalität (Karni, 1996), der Frequenzabstand von Tönen im auditiven System (Recanzone, Schreiner & Merzenich, 1993) und der Frequenzabstand taktiler Reize im somatosensorischen System (Recanzone, Merzenich, Jenkins, Grajski & Dinse, 1992). Ließe sich eine altersbedingte Abnahme in diesen sensorischen Lernleistungen nachweisen und zudem zeigen, daß die Abnahme sensorischer

Plastizität über die verschiedenen Aufgaben und sensorischen Modalitäten generalisiert, wiese dies auf eine globale Verminderung neuronaler Plastizität hin, in diesem Fall auch in peripheren, sensorischen kortikalen Strukturen. Der zusätzliche Vergleich mit Lernaufgaben, die nachweislich andere Hirnstrukturen einbeziehen, könnte zu einer weiteren Differenzierung zwischen bereichsübergreifenden und bereichsspezifischen Annahmen führen, insbesondere dann, wenn die Untersuchungen an denselben Probanden durchgeführt werden würden. So wäre beispielsweise im Vergleich zu Aufgaben des perzeptuellen Lernens, deren Ausführung vergleichbar zu *motorischen* oder *prozeduralen* Lernaufgaben nur wenig aufmerksamkeitsbezogene Prozesse benötigt, die Hinzunahme von Aufgaben von theoretischem Interesse, die in erster Linie Funktionen des Arbeitsgedächtnisses beanspruchen und somit auf Strukturen des Frontalhirns beruhen (siehe Frontalhirnhypothese des kognitiven Alterns, Abschnitt 2.2.3). Sollten alle diese Lernleistungen mit dem Alter nachlassen und miteinander korrelieren, wäre dies ein starker Hinweis für die Gültigkeit einer generellen Abnahme der Plastizität im Alter sowie für die neurobiologische Common Cause-Hypothese.

Auf seiten der Prädiktorvariablen wäre die Erhebung detaillierterer Informationen über biologische, lebensgeschichtliche und kognitive Charakteristika der untersuchten Personen vielversprechend. Die Hinzunahme (a) neurophysiologischer und biochemischer Maße zur direkteren Erfassung des biologischen Funktionsstatus des Gehirns, (b) alternativer Messungen sensorischer Leistungsfähigkeit zur spezifischeren Erfassung der Ursachen für die altersbedingten Hör- und Seheindeckungen (zur Unterscheidung zwischen der altersbedingten Abnutzung der peripheren sensorischen Organe und zentraler kortikaler Funktionsstörungen), (c) psychometrischer sowie experimenteller Maße zur Erfassung individueller Unterschiede in Aufmerksamkeits-, Arbeitsgedächtnis- und kognitiven Kontrollfunktionen sowie (d) ausführlicherer Informationen über den Lebensstil, beispielsweise über die Teilnahme an sportlichen, sozialen und intellektuellen Aktivitäten der Personen wären Beispiele dafür (Arbuckle, Gold & Andres, 1986; Hultsch, Hammer & Small, 1993; Luszcz et al., 1997; Schaie, 1996; siehe aber Herzog, Hultsch & Dixon, 1999).

Schließlich sollten die dargestellten Befunde dazu ermutigen, im Rahmen entwicklungspsychologischer Arbeiten zusätzlich zu Statusmaßen dynamische Maße längsschnittlicher und aktualgenetischer Veränderung, wie sie im Rahmen des Testing-the-Limits-Paradigmas erfaßt werden, einzuschließen. Die systematische Untersuchung der Voraussetzungen und der Bedingungen für erfolgreiches Lernen und Leistungsoptimierung bis ins hohe Alter stellen für

die Plastizitätsforschung eine Herausforderung dar, da sie damit einen Grundstein für eine Kultur des Alterns legt, die die Aktivierung vorhandener Potentiale fördert und somit präventiv und optimierend wirken kann.