

# Arbeitsgedächtnisleistungen bei gesunden Älteren

M.-D. Heidler

## Zusammenfassung

Die Biologie ist keine Freundin des Alters, denn zahlreiche kognitive Prozesse verlangsamen und verschlechtern sich. Dazu gehören Aufmerksamkeits-, Arbeitsgedächtnis- und Exekutivfunktionen, die als fluide Intelligenzleistungen bezeichnet werden – im Gegensatz zu kristallinen Leistungen wie Langzeitgedächtnis-Wissen, welches auch im Alter stabil bleibt und noch anwachsen kann. Im Folgenden soll ein Überblick über Theorien zur kognitiven Alterung unter besonderer Berücksichtigung der Arbeitsgedächtnisleistung gesunder Älterer skizziert werden.

**Schlüsselwörter:** Arbeitsgedächtnis, kognitives Altern, Sprachverarbeitung, Bildgebung

Brandenburg Klinik, Bernau-Waldsiedlung

## Theorien zum kognitiven Altern

Die Abnahme kognitiver Leistungen im Alter hat verschiedene (überwiegend biologische) Ursachen, z. B. eine Reduktion des Hirnvolumens, des zerebralen Metabolismus und des Blutflusses. Betroffen sind hierbei vor allem frontale Areale, was zu diversen Defiziten bei fluiden Leistungen führt. Dazu gehören

- eine Verlangsamung der Verarbeitungsgeschwindigkeit,
- geringere Aufmerksamkeitsressourcen,
- eine reduzierte Arbeitsgedächtniskapazität sowohl für Speicherung als auch Manipulationsprozesse sowie
- gestörte Inhibitionsprozesse [2].

Theorien zum kognitiven Altern beziehen sich auf diese unterschiedlichen Aspekte und zeigen zum Teil starke Überschneidungen. Eine zentrale Rolle bei allen Theorien nehmen Arbeitsgedächtnisprozesse ein.

### Reduktion der Verarbeitungsgeschwindigkeit

Mit zunehmendem Alter zeigt sich eine geringere Verarbeitungsgeschwindigkeit elementarer kognitiver Prozesse [42]. Dies verschlechtert zum einen Arbeitsgedächtnisprozesse sowie sämtliche kognitiven Leistungen, die auf intakten Arbeitsgedächtnisfunktionen basieren (bei denen bspw. Ergebnisse früherer Verarbeitungsprozesse aufrechterhalten werden müssen). Kognitive Verlangsamung führt zu einer reduzierten dynamischen Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, sodass Informationen, die simultan aufrechterhalten werden müssen, eine geringere Qualität haben [42]. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit hat einen Einfluss auf die Qualität sämtlicher kognitiver Aufgaben (Schlussfolgern, Gedächtnisleistungen etc.), da sie ein fundamentaler Teil

der Architektur des kognitiven Systems ist [32]. Es wird vermutet, dass eine Verlangsamung der Verarbeitungsgeschwindigkeit bei Älteren ein besonders limitierender Faktor für das Textgedächtnis ist [26]. Eine neuronale Ursache der Verlangsamung ist anzunehmen, konnte bislang aber nicht genau identifiziert werden. Vermutet werden u. a. eine reduzierte Anzahl simultan aktiver neuronaler Netze aufgrund des abnehmenden Hirnvolumens, eine alterskorrelierte Abnahme von Dopaminrezeptoren (vor allem im Striatum und im präfrontalen Kortex) sowie Dysfunktionen im Kaudatum, was erklären würde, warum z. B. Parkinson-Patienten so massiv kognitiv verlangsamt sind [1].

### Reduktion der Aufmerksamkeitsressourcen

Aufmerksamkeit ist durchaus kein ausschließlich psychologischer Begriff, da die Auswirkungen der Aufmerksamkeit auf neuronaler Ebene sichtbar sind – sie kann z. B. bewirken, dass Neuronen stärker feuern, die auf den beachteten Reiz reagieren, wenn Aufmerksamkeit auf ihn gerichtet wird. Bei selektiven Aufmerksamkeitsleistungen ist immer eine Kapazitätsbegrenzung im Spiel, die bei Älteren zunimmt. So können gesunde Ältere sich zwar auf einzelne Informationen konzentrieren, lassen sich aber auch leichter ablenken, was zu einer Beeinträchtigung in der Enkodierung von Informationen führt. Ausführlich beschrieben wird dieses Phänomen in der *Theorie der reduzierten Aufmerksamkeitsressourcen* (reduced attentional resource theory) von Craik [10]. Als Ursache der Reduktion attentionaler Ressourcen wird eine Minderdurchblutung präfrontaler Areale bei Aufgaben angenommen, die hohe kognitive Anforderungen stellen (z. B. das tiefe Elaborieren, das einen späteren Gedächtnisabruf erleichtert). Zudem verliert man im Laufe des Alterungsprozesses rund die Hälfte der dopaminproduzierenden Zellen. Die Idee der reduzierten Aufmerksamkeitsressourcen wurde viel kritisiert,

und neuere Ansätze heben eher die alterskorrelierte Abnahme der Aufmerksamkeitsleistung hervor. Wie auch immer – im Laufe der normalen Alterung scheint es zu einer Art »umgekehrter ADHS« im Sinne einer Aufmerksamkeits-/Hypoaktivitätsstörung mit einer verminderten körperlichen Bewegung in Kombination mit reduzierten Aufmerksamkeitsressourcen zu kommen [25]. Zudem müssen gesunde Ältere nach der *Aufmerksamkeits-Belastungs-Hypothese* von Baltes, Lindenberger & Staudinger [3] generell mehr Aufmerksamkeit und kognitive Kapazität für die Koordination sensorischer und sensorischer Prozesse aufbringen, sodass weniger Kapazität für andere Intelligenzleistungen zur Verfügung steht. Zugleich sind aber genau jene fluiden Leistungen (Arbeitsgedächtniskapazität, selektive und geteilte Aufmerksamkeit etc.) beeinträchtigt, die zur Kompensation und Koordination erforderlich wären – ein Teufelskreis, der bei Hochbetagten auch durch intensives Üben meist nicht mehr durchbrochen werden kann.

Eine Reduktion von einerseits Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie andererseits Aufmerksamkeitsressourcen führt zu einer *Abnahme der kognitiven Kontrolle*, die für effektive Arbeitsgedächtnisoperationen erforderlich ist. Die Folgen einer reduzierten kognitiven Kontrolle zeigen sich bspw. in Defiziten des prospektiven Gedächtnisses [4], in einer gestörten Inhibition und/oder in einer reduzierten bewussten Erinnerung (vgl. Abb. 1).

Kognitive Kontrolle ist eine Funktion des präfrontalen Kortex [1] und umfasst nach Hasher & Zacks [27] zum einen exzitatorische (erregende) Mechanismen zur Erhöhung der Aktivierung aufgabenrelevanter Informationen und zum anderen Inhibitionsmechanismen zur Unterdrückung aufgabenirrelevanter Informationen. Während bei Älteren exzitatorische Mechanismen relativ intakt sind, zeigen inhibitorische Prozesse deutliche Einbußen, sodass Ältere anfälliger werden für Ablenkung durch irrelevante Informationen und mehr Interferenzen zeigen. Zudem haben sie mehr irrelevante Informationen in ihrem Arbeitsgedächtnis.

Neurologische und strukturelle Veränderungen im alternden Gehirn führen zu

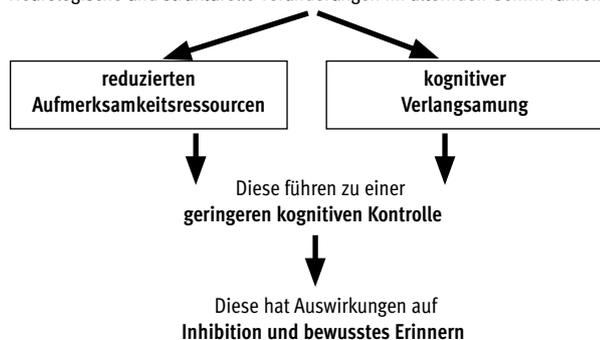


Abb. 1: Kaskade altersbedingter neurologischer und kognitiver Veränderungen in Anlehnung an [1]

## Reduktion der Arbeitsgedächtniskapazität

Neben zahlreichen anderen Ideen zur Kapazitätsbegrenzung des Arbeitsgedächtnisses hatte vor allem das *Modell der begrenzten Kapazität* (limited capacity model) nach Kahneman [31] einen großen Einfluss auf die Forschung in den 70er- und 80er-Jahren. Zentrale Annahmen dieser Theorie sind, dass

- die Informationsverarbeitung durch die Menge der kognitiven Kapazität bzw. mentaler Ressourcen begrenzt wird, die zu einem gegebenen Zeitpunkt verfügbar sind und
- kognitive Aktivitäten sich in ihren Anforderungen an solche mentalen Ressourcen unterscheiden. So verlangen bspw. automatisierte Prozesse (wie langjähriges Autofahren) deutlich weniger Kapazität als kontrollierte Prozesse (z. B. das erstmalige Bedienen eines Fahrkartenautomats in einer fremden Stadt). Es wird vermutet, dass sich diese Kapazität mit zunehmendem Alter verringert [10] und sich kaum auf automatisierte Prozesse auswirkt (z. B. auf den lexikalischen Abruf), aber stark auf kontrollierte Prozesse, wie z. B. auf die Generierung anaphorischer Inferenzen [49].

Insgesamt sprechen die Befunde zahlreicher Studien für eine nachlassende Arbeitsgedächtniskapazität im Alter. Cowan [13] zeigte, dass Items, bevor sie zu Chunks verbunden werden können, zuvor im Arbeitsgedächtnis koexistieren müssen. Ist nun die Arbeitsgedächtniskapazität gering, ist auch die Anzahl der Chunks relativ klein. Bei Älteren zeigt sich, dass mit steigendem Alter immer weniger Chunks im Arbeitsgedächtnis gehalten werden können. Allerdings herrscht immer noch Unsicherheit über die Natur der Kapazitätsbegrenzung. Zum einen wird vermutet, dass die Speicherkapazität limitiert ist, zum anderen, dass die Zeitdauer begrenzt ist, in der Items im Kurzzeitgedächtnis ohne Rehearsal aktiv aufrechterhalten werden können. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass bei Älteren beide Mechanismen betroffen sind.

Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses verändert sich also im Verlaufe des Lebens – sie wächst während der Kindheit und Adoleszenz an und verschlechtert sich ab dem 50. Lebensjahr. Unklar ist, ob mit zunehmendem Alter tatsächlich die Kapazität selbst abnimmt; eine alternative Theorie ist, dass eher die inhibitorische Kontrolle der Aufmerksamkeit nachlässt [7].

## Reduzierte Inhibition

Hasher & Zacks [27] vertreten in ihrer *Inhibitorischen Kontroll-Hypothese* (inhibitory control hypothesis) eine etwas andere Idee als Kahneman [31] oder Cowan [12]: Sie assoziieren Verschlechterungen von Arbeitsgedächtnisleistungen Älterer weniger mit Kapazitätsreduktionen per se, sondern eher mit den Inhalten des Arbeitsgedächtnisses, die in ihrem Umfang limitiert sind: Ihrer Auffassung nach hängt die Effektivität kognitiver Leis-

tungen nicht von der Kapazität ab, sondern davon, wie gut die Inhalte des Arbeitsgedächtnisses (d.h. die zu einem bestimmten Zeitpunkt aktivierten Informationen) die aktuellen Aufgabenziele repräsentieren [46]. Wenn die im Arbeitsgedächtnis aktivierten Repräsentationen eng mit den fortlaufenden Aufgaben verbunden sind, wird die Leistung gut sein; enthalten die aktivierten Elemente hingegen viele irrelevante Informationen, wird das simultane Verarbeiten relevanter und irrelevanter Informationen zu einer Art geteilter Aufmerksamkeitsaufgabe, was zu Enkodierungsschwierigkeiten führt, die sich wiederum negativ auf das Verstehen und den Abruf weiterer Informationen auswirken.

Inhibition kann als Gegenspieler der Aktivierung von Informationen im Arbeitsgedächtnis aufgefasst werden. Sie ermöglicht die Unterdrückung verhaltenswirksamer Informationen im Arbeitsgedächtnis bzw. verhindert, dass neue Informationen im Arbeitsgedächtnis aktiviert werden. *Inhibition wird daher als ein möglicher Kontroll- und Interferenzabwehrmechanismus verstanden*, der den Einfluss irrelevanter Reize auf das Verhalten einschränkt bzw. verhindert [47]. Prinzipiell gibt es drei Möglichkeiten, wie Inhibitionsprozesse die Inhalte des Arbeitsgedächtnisses kontrollieren können: durch Zugriff (access), Löschen (deletion) und Hemmung (restraint). Diese Funktionen stellen sicher, dass im Arbeitsgedächtnis nur zielrelevante Informationen aktiviert sind. Der Eintritt in das Arbeitsgedächtnis wird kontrolliert, indem irrelevante Items nicht zugelassen bzw. unterdrückt werden. Fehler dieser Löschfunktion führen zu proaktiver Interferenz, wenn irrelevante Elemente nicht deaktiviert werden können – eine erhöhte proaktive Interferenzanfälligkeit bei Älteren spricht daher für eine nachlassende inhibitorische Kontrolle.

Der Schlüssel zu einer erfolgreichen kognitiven Verarbeitung ist nach Hasher & Zacks [27] also die *Fähigkeit, relevante Informationen ins Arbeitsgedächtnis hineinzu lassen und irrelevante Informationen daran zu hindern* – so müssen z. B. beim Verstehen von Sprache einlaufende Informationen rasch und effizient sowohl im Arbeitsgedächtnis gehalten als auch wieder daraus entfernt werden [46]. Eine defizitäre inhibitorische Kontrolle über die Inhalte des Arbeitsgedächtnisses führt dazu, dass das System mit aufgabenirrelevanten Informationen okkupiert wird, da diese nicht unterdrückt werden können, woraus Interferenzen sowie Schwierigkeiten beim Zugriff und beim Abruf aufgabenrelevanter Informationen resultieren. Irrelevante Informationen können auch dazu führen, dass relevantes Material nicht mehr durch Rehearsal aufgefrischt werden kann, wodurch mehr Informationen vergessen werden [37].

Das Inhibitionsmodell kann viele Muster kognitiver Defizite bei Älteren erklären – z. B. ihre erhöhte Ablenkbarkeit und Anfälligkeit für perzeptuelle Interferenz, was sich bspw. im Stroop-Test zeigt, in dem Ältere schlechter als Jüngere in der Lage sind, die vertraute Reaktion des Lesens der Farbwörter zu unterdrücken, wenn sie den Namen der Wortfarbe angeben sollen [9]. Zudem kann

die Inhibitionstheorie auch einige Unterschiede zwischen Jüngeren und Älteren vorhersagen, z. B.:

- Ältere haben mehr irrelevante Informationen im aktiven Arbeitsgedächtnis als Jüngere. Dies macht sich u. a. in der Spontansprache bemerkbar, da Ältere diese mit mehr Informationen anreichern, weil sie Gedanken schlechter unterdrücken können. Ältere haben generell Schwierigkeiten beim Unterdrücken irrelevanter Informationen – egal, ob diese internal generiert sind (z. B. Sprachproduktion) oder external präsentiert werden (z. B. visuelle Ablenker während des Lesens). Allerdings ist bislang noch nicht geklärt, was irrelevante Informationen eigentlich überhaupt sind.
- Ältere haben Schwierigkeiten, Informationen aus dem Arbeitsgedächtnis zu eliminieren, die gerade aktiviert, aber irrelevant sind. Dies führt zu Schwierigkeiten beim Auffrischen des Arbeitsgedächtnisses mit zielrelevanten Informationen.
- Ältere zeigen eine größere Interferenz bei der Enkodierung und beim Abruf von Informationen aufgrund konkurrierender irrelevanter Inhalte während dieser Prozesse [46].

Obwohl die Inhibitionstheorie eigentlich als Alternative zur Kapazitätstheorie entwickelt wurde, kann sie durchaus auch unter einem Kapazitätsaspekt betrachtet werden: Wenn irrelevante Informationen im Arbeitsgedächtnis sind, lassen diese weniger Raum frei für die Speicherung und Verarbeitung relevanter Informationen. Vielfach wird die nachlassende Resistenz gegenüber Interferenz (d. h. die Kapazität zur Inhibition) als Hauptursache der individuellen Unterschiede in den Arbeitsgedächtnisleistungen angesehen [7]. Jonides et al. [29, 30] konnten zeigen, dass Ältere im Vergleich zu Jüngeren deutlich anfälliger für proaktive Interferenz sind und dass dies bei Aufgaben, die mit proaktiver Interferenz assoziiert sind, mit einer erhöhten kortikalen Aktivierung im linken inferioren präfrontalen Kortex (BA 45) einhergeht. Das visuo-spatiale Arbeitsgedächtnis scheint sogar noch interferenzanfälliger zu sein als das verbale [40]. Engle [18] vertritt die Ansicht, dass auch die Kontrolle der Inhibition im Arbeitsgedächtnis ein Prozess ist, der durch verfügbare Aufmerksamkeitsressourcen beschränkt wird und auch Rowe, Hasher & Turcotte [40] vermuten, dass die Ursache wahrscheinlich in einer im Alter abnehmenden Menge an kontrollierter Aufmerksamkeit liegt, die zur Unterdrückung nicht mehr relevanter Informationen erforderlich ist.

### Arbeitsgedächtnis, Altern und Sprachverarbeitung

Aktuell gibt es zwei alternative (bzw. sich ergänzende) Erklärungsansätze, warum sich die Merkfähigkeit und das Verstehen komplexer Texte mit zunehmendem Alter verschlechtern: zum einen die *Produktionsdefizit-Hypothese* (production deficiency hypothesis), zum anderen die *Verarbeitungskapazitäts-Hypothese* (processing capa-

city hypothesis), die von den meisten Autoren präferiert wird.

#### Die Produktionsdefizit-Theorie der Textverarbeitung

Grundidee dieser Theorie ist, dass Textverarbeitung bei Älteren deswegen oft beeinträchtigt ist, da dies für sie eine ungewöhnliche Aufgabe ist, für die sie *weniger effektive Strategien* besitzen als Jüngere [8]. D.h. Älteren fehlt schlichtweg das Training im Umgang mit komplexen Texten. Kritische Determinanten sind daher der Bildungsgrad und die verbalen Fähigkeiten – Individuen mit einer hohen Verbalfähigkeit haben meist auch gute Strategien und zeigen daher kaum oder keine Alterseffekte im Textgedächtnis.

Auch wenn hier als Hauptproblem ineffektive Strategien angenommen werden, spielen die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und die Verarbeitungsgeschwindigkeit keine unbedeutende Rolle, da eine hohe Verbalfähigkeit mit einer hohen Verarbeitungskapazität in direkter Beziehung steht: Letztlich ist es die hohe Kapazität, die die Anwendung guter Strategien erlaubt. Ist das Arbeitsgedächtnis überlastet, nützen die besten Strategien nichts und es können z. B. anaphorische Referenzen nicht mehr ausreichend aufeinander bezogen werden, sodass bspw. Handlungen den falschen Protagonisten zugeordnet werden. Je länger und komplexer Texte sind, desto schwieriger und kapazitätsfordernder ist ihre Verarbeitung [8].

#### Die Verarbeitungskapazitäts-Theorie der Textverarbeitung

Diese Theorie nimmt an, dass Textverarbeitung defizitär wird durch die *Kombination aus Verarbeitungsverlangsamung und reduzierter Arbeitsgedächtniskapazität*. Vor allem eine defizitäre Kapazität des Arbeitsgedächtnisses wirkt sich in vielfacher Hinsicht auf Sprachverarbeitungsprozesse aus. So kann als Konsequenz die Verarbeitung komplexer syntaktischer Strukturen beeinträchtigt sein – einerseits durch mangelhafte Erzeugung eines adäquaten mentalen Situationsmodells, wenn Konzeptrelationen nicht hinreichend gut erfasst werden, andererseits durch eine erschwerte Integration von Propositionen und eine ungenügende Inferenzziehung durch Überlastung [34]. Durch verminderte Verarbeitungsressourcen des Arbeitsgedächtnisses können Satzbedeutungen zudem oft nur oberflächlich exploriert werden, sodass vor allem implizite Textinformationen (im Gegensatz zu expliziten) nicht vollständig erschlossen werden können.

Es besteht eine lineare Beziehung zwischen dem Alter und der Quantität an Textinformationen, die überhaupt erinnert werden können [26], d.h. Defizite in der Textverarbeitung bei Älteren sind eher quantitativer als qualitativer Natur: Ältere nutzen dieselben Verarbeitungsmechanismen wie Jüngere, nur mit weniger effektiven Ergebnissen. Bei der Textverarbeitung werden zwei Arten von Informationen durch die Speicherfunktion

des Arbeitsgedächtnisses bedient – zum einen Informationen, die vom vorausgehenden Text abgeleitet werden und zum anderen Informationen, die aus dem Langzeitgedächtnis aktiviert werden. Je mehr solcher Informationen im Arbeitsgedächtnis gespeichert werden können, desto tiefer (elaborierter) wird das Verstehen des darauf folgenden Textes sein [14]. Studien zeigen, dass effiziente Operationen von Verstehensmechanismen abhängig davon sind, wie viele frühere Textinformationen (vor allem aus den letzten zwei Sätzen) im Arbeitsgedächtnis noch verfügbar sind; nimmt die Speicherkapazität im Alter ab, stehen nicht mehr so viele Informationen zur Verfügung und die Textbasis wird lückenhaft [21].

Altersbedingte Verschlechterungen im Verstehen komplexer Strukturen sind also eher nicht auf den Verlust spezifischer linguistischer Verarbeitungskomponenten zurückzuführen, sondern auf die umfangreichen Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis beim Verarbeiten von Komplexität. Neben der verringerten Verarbeitungsgeschwindigkeit wird vor allem die reduzierte Arbeitsgedächtniskapazität dafür verantwortlich gemacht, dass komplexe Beziehungen zwischen Konzepten in Texten bzw. im Diskurs nicht erfasst werden können, woraus Sprachverständnisdefizite resultieren. Ein adäquates mentales Modell eines Textes/Diskurses beinhaltet die Integration der Propositionen und ihrer Beziehungen in ein Ganzes, das später abgerufen und erinnert werden kann [50]. Hierbei scheinen Ältere Schwierigkeiten zu haben – hauptsächlich beim Ziehen von Inferenzen und beim Aufbau einer akkuraten Textrepräsentation. Vor allem das Ziehen von Inferenzen (im Sinne von Schlussfolgerungen auf der Basis von Weltwissen mit dem Ziel, Kohärenz herzustellen) stellt teilweise hohe Anforderungen an die Speicherkapazität des Arbeitsgedächtnisses und zeigt deutliche Alterseffekte.

Die Theorie der im Alter nachlassenden Arbeitsgedächtniskapazität erklärt viele Befunde – z. B. einen schlechteren unmittelbaren Abruf von auditiv präsentiertem Sprachmaterial als ihn Jüngere zeigen [20] oder Sprachverstehensdefizite bei komplexen syntaktischen Strukturen – allerdings muss die Ursache nicht unbedingt in einer Verringerung der Arbeitsgedächtniskapazität per se liegen, die dazu führt, dass weniger multiple Chunks gehalten werden können. Eine alternative Sicht gibt die *Assoziativ-Defizit-Hypothese* (associative deficit hypothesis) von Naveh-Benjamin [35], in der davon ausgegangen wird, dass Ältere möglicherweise Probleme bei der Bildung solcher Chunks haben, die aus sowohl semantischen als auch syntaktischen Informationen bestehen, sich also aus multiplen Informationen zusammensetzen.

Insgesamt sind die Studienergebnisse zu den Leistungen Älterer bei der komplexen Textverarbeitung widersprüchlich. Eine Studie von Oberauer, Wendland & Kliegl [36] zeigte bei Älteren keine Störungen in der Geschwindigkeit beim selektiven Zugriff auf Elemente im Arbeitsgedächtnis, allerdings Defizite in der Fähig-

keit, diese Elemente im Arbeitsgedächtnis zugänglich zu halten. Sie schlussfolgerten daraus, dass nicht alle Teilbereiche, sondern nur einzelne Funktionen des Arbeitsgedächtnisses sich im Alter verschlechtern. Während das Kurzzeitgedächtnis sich bei Älteren bspw. nicht verschlechtert [43], lässt die Fähigkeit zum Auffrischen (updating) von Informationen im Alter deutlich nach [6]. DeDe et al. [15] konnten wiederum gar keine Alterseffekte des verbalen Arbeitsgedächtnisses auf die individuelle syntaktische On-line-Verarbeitung nachweisen.

### Altern und Arbeitsgedächtnis in der Bildgebung

Auch wenn es einige wenige Gegenbefunde gibt, herrscht allgemeiner Konsens darüber, dass sich das Textverständnis mit zunehmendem Alter verschlechtert. Die neuronalen Ursachen sind jedoch noch unklar.

So zeigte bspw. eine PET-Studie, dass junge Probanden bei verbalen Arbeitsgedächtnisaufgaben linksseitige und bei spatialen Arbeitsgedächtnisaufgaben eher rechtsseitige frontale Areale aktivieren, während Ältere bilaterale Aktivierungen bei beiden Arbeitsgedächtnisanforderungen zeigen und dabei paradoxerweise eine größere linksseitige Aktivierung bei räumlichen sowie größere rechtsseitige Aktivierungen bei verbalen Aufgabenstellungen aufweisen [39]. Jennings, van der Veen & Meltzer [28] fanden hingegen keine Unterschiede zwischen Älteren und Jüngeren bei verbalen und spatialen Arbeitsgedächtnisaufgaben – bei der Manipulation aktivierten alle Probanden dorsale präfrontale Regionen, bei der Aufrechterhaltung ventrolaterale präfrontale Areale und für die Repräsentation dorsale und ventrale Verbindungen.

In einer anderen Studie wurden Ältere und Jüngere hinsichtlich visuell präsentierter Satzverständnisaufgaben verglichen, die in Bezug auf syntaktische Muster und verbale Arbeitsgedächtnisanforderungen variierten. Sowohl Jüngere als auch Ältere rekrutierten ein Satzverarbeitungsnetzwerk, das aus dem linken postero-lateralen Temporal- und dem bilateralen Okzipitalkortex bestand. Unterschiedliche Aktivierungen zeigten sich hingegen in denjenigen Hirnregionen, die mit verbalen Arbeitsgedächtnisleistungen assoziiert werden, wobei Ältere einmal weniger und einmal zusätzliche Areale aktivierten [23]. Diese Befunde konnten mehrfach repliziert werden. Man könnte vermuten, dass Ältere keine Schwierigkeiten bei verbalen Arbeitsgedächtnisleistungen haben, die lediglich eine Aufrechterhaltung von Informationen erfordern, da diese Leistung eigentlich relativ geringe Anforderungen an Exekutivfunktionen stellt. Dem ist jedoch nicht so: PET- und fMRT-Studien zeigen, dass auch bei geringer Anforderung an exekutive Funktionen Ältere andere Aktivierungen vor allem im dorsolateralen präfrontalen Kortex (BA 9, 46) zeigen als Jüngere. Generell zeigen Ältere schon bei geringen Gedächtnisanforderungen (wenn wenig Items gemerkt werden müssen) eine Überaktivierung im rechten dorsolateralen

präfrontalen Kortex sowie eine Minderaktivierung bei hohen Gedächtnisanforderungen [5]. Diese Befunde werden im sogenannten *CRUNCH-Modell* (compensation-related utilization of neural circuits hypothesis) von Reuter-Lorenz & Cappell [38] so erklärt, dass Ältere mehr neuronale Ressourcen aktivieren müssen, um Verarbeitungsziele zu erreichen – daher zeigen sie im Vergleich zu Jüngeren Überaktivierungen im dorsolateralen präfrontalen Kortex, da dieselben Aufgaben bei ihnen mehr exekutive Ressourcen beanspruchen. Diese vermehrte Aktivierung schon bei geringen Anforderungen hat ihren Preis, denn dadurch stehen weniger Verarbeitungsressourcen für Aufgaben zur Verfügung, die höhere Anforderungen stellen; Minderaktivierungen des rechten dorsolateralen präfrontalen Kortex werden als Ausdruck von Defiziten bei der Rekrutierung der zusätzlich erforderlichen exekutiven Prozesse interpretiert, die schlichtweg nicht mehr zur Verfügung stehen [41]. *Ältere gelangen also anscheinend schon bei geringeren Anforderungen an ihre Verarbeitungsgrenze und können nur noch schlecht kompensieren, wenn die Anforderungen an das verbale Arbeitsgedächtnis steigen* [5].

Auch Senioren unterscheiden sich hinsichtlich ihrer neuronalen Aktivierungen, je nachdem, ob sie gut oder schlecht im Satzverständnis sind: In einer fMRT-Studie zeigten schlechte Versther eine reduzierte Aktivierung des linken postero-lateralen Temporal- und des linken inferioren Frontalkortex – bei ihnen waren also diejenigen Areale minderaktiviert, die mit Sprachverständnis und verbalen Arbeitsgedächtnisfunktionen assoziiert werden. Dafür zeigten die schlechten Versther eine erhöhte Aktivierung im linken präfrontalen Kortex, im linken posterioren Zingulum und rechts dorsal inferior frontal – in Regionen, die Ausdruck einer alternativen, nicht syntaktischen Strategie für die Verarbeitung komplexer symbolischer Informationen sein könnten [24].

### Zusammenfassung

Theorien des kognitiven Alterns sind zahlreich [45]. So gibt es Theorien wie die Theorie der generellen Verlangsamung (general slowing theory, auch: global speed theory), die von einer Verlangsamung (vor allem exekutiver) kognitiver Funktionen ausgehen unabhängig von der Art der Informationen [42]. Andere Theorien betonen, dass die Arten bzw. Strukturen der Gedächtniseinheiten beim kognitiven Altern eine wichtige Rolle spielen (z. B. die Theorie spezifischer Verluste oder: specific loss theory) und dass die gestörten kognitiven Funktionen eng an neurobiologische Veränderungen im alternden Gehirn gebunden sind – primär solchen im Hippokampus und im Frontalkortex [51]. In Bezug auf Arbeitsgedächtnisfunktionen scheint es relativ unerheblich zu sein, welche Theorie man präferiert, da Arbeitsgedächtnisprozesse in allen Theorien (entweder direkt oder indirekt) immer betroffen sind, weil sie eng an Exekutivfunktionen und damit vor allem an den präfrontalen Kortex gebunden sind.

Studien zeigen, dass sich bereits im mittleren Alter Leistungen verschlechtern, die Anforderungen an exekutive Funktionen stellen [16]. Viele gesunde Ältere zeigen ab dem 60. Lebensjahr ein nachlassendes auditives Sprachverständnis für längere und komplexere Sätze, welches nicht allein durch eine Presbyakusis erklärt werden kann. Diese Verstehensdefizite werden sehr wahrscheinlich durch Arbeitsgedächtnisdefizite hervorgerufen und fallen im normalen Alltag aufgrund einer allgemein hohen sprachlichen Redundanz meist wenig ins Gewicht. Einige Aspekte der Sprachverarbeitung werden von defizitären Arbeitsgedächtnisprozessen jedoch stärker beeinflusst – z. B. das Erfassen von komplexen syntaktischen Strukturen, Konzeptrelationen und Propositionen im Diskurs (z. B. wenn mehrere Gesprächspartner anwesend sind und der thematische Fokus rasch und häufig wechselt) oder das Erzeugen eines adäquaten mentalen Situationsmodells [34].

Mit zunehmendem Alter verschlechtert sich entweder die Arbeitsgedächtniskapazität oder die Zuverlässigkeit des Arbeitsspeichers – oder aber beide Komponenten verschlechtern sich gleichzeitig. Normale Sprachverarbeitung erfordert sowohl Verarbeitungs- als auch Speicherkomponenten des Arbeitsgedächtnisses, da die komplexe Verarbeitung aktueller Informationen fortlaufend erfolgt und eine kontinuierliche Aufrechterhaltung früherer Informationen die ganze Zeit gewährleistet sein muss [46]. Es verwundert daher nicht, dass komplexe Sprachverarbeitung Alterseffekte zeigt.

Möglicherweise ist die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses an sich weniger bedeutsam als die Inhalte des Arbeitsgedächtnisses, die ihrerseits von intakten inhibitorischen Funktionen abhängen [7]. Brechen Inhibitionsmechanismen zusammen, hat das in einem parallel organisierten Aufmerksamkeitssystem dramatische Konsequenzen. So kann es bei leichten Störungen der Inhibition dazu kommen, dass irrelevante Informationen ins Arbeitsgedächtnis gelangen und/oder dort zu lange verweilen, bei schweren Störungen kann es zur Überlagerung simultan aktivierter Informationen kommen, die eine organisierte Reaktion darauf verhindern – z. B. bei Schizophrenie, Depression oder ADHS. Bei Älteren kann eine gestörte Inhibition z. B. dazu führen, dass bestimmte Gedanken, Interpretationen oder Themen dominant bleiben oder dass ein Neulernen erschwert wird und eine fehlende Inhibition irrelevanter, früher erworbener Informationen zu Intrusionsfehlern führt [27].

Auch das Vergessen relevanter Informationen im Diskurs durch Überlastung der Arbeitsgedächtniskapazität ist problematisch, wenn aufgrund nicht erinnerter Propositionen, mangelhafter Inferenzziehung und gestörter syntaktischer Verarbeitung keine zufriedenstellende Kohärenz hergestellt werden kann [19].

Individuelle Differenzen Älterer im Satz- und Textverstehen sind also eng verbunden mit der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und der Fähigkeit, lexikalische, syntaktische und semantische Informationen mental zu manipulieren und zu inhibieren. Wenn die Verarbei-

tungskapazität im Alter sinkt, kann es bspw. zu Schwierigkeiten bei der Aufrechterhaltung satzinitialer Einbettungen, bei der Kontrolle und Korrektur syntaktischer Regelverstöße, bei der semantischen Analyse, bei der Interpretation und Wiedergabe von Texten, bei der Produktion und beim Nachsprechen komplexer, mehrfach eingebetteter Sätze kommen [33].

Elaborationsprozesse im Sinne des Modells der Verarbeitungstiefe von Craik & Lockhart [11] erfordern ebenfalls eine hohe Verarbeitungskapazität, über die Ältere nicht mehr verfügen. Die Folge ist eine geringere Verankerung von Informationen im episodischen System aufgrund einer zu oberflächlichen Verarbeitung [48].

Auch bildgebende Studien spiegeln die Veränderungen im Alter wider: Ältere zeigen bei verschiedenen Arbeitsgedächtnisaufgaben zum einen weniger Aktivität in bestimmten Arealen und zum anderen mehr Aktivierungen als Jüngere – z. B. rekrutieren sie mehr linkshemisphärische präfrontale Areale (u. a. den dorsolateralen präfrontalen Kortex) bei exekutiven Komponenten des Aufgabenwechsels und bei Aufgaben, die ein Speichern unter Ablenkung erfordern [44] oder zeigen beim Gedächtnisabruf geringere Aktivierungen im dorsolateralen präfrontalen Kortex als Jüngere [41]. Beide Phänomene werden als Kompensationsmechanismen und neuronale Ineffektivität gewertet [22].

## Literatur

1. Anderson ND, Craik FIM. Memory in the Aging Brain. In: Tulving E, Craik FIM (eds). *The Oxford Handbook of Memory*. Oxford University Press, New York 2000, 411-425.
2. Balota DA, Dolan PO, Duchek JM. Memory Changes in Healthy Older Adults. In: Tulving E, Craik FIM (eds). *The Oxford Handbook of Memory*. Oxford University Press, New York 2000, 395-409.
3. Baltes PB, Lindenberger U, Staudinger UM. Die zwei Gesichter der Intelligenz im Alter. *Spektrum der Wissenschaft* 1995; 10: 52-61.
4. Bisiacchi PS, Tarantino V, Ciccola A. Aging and prospective memory: The role of working memory and monitoring processes. *Aging Clinical and Experimental Research* 2008; 20: 569-577.
5. Cappel KA, Gmeindl L, Reuter-Lorenz PA. Age differences in prefrontal recruitment during verbal working memory maintenance depend on memory load. *Cortex* 2010; 46: 462-473.
6. Chen T, Li D. The roles of working memory updating and processing speed in mediating age-related differences in fluid intelligence. *Neuropsychology, Development, and Cognition, Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition* 2007; 14: 631-646.
7. Chiappe P, Hasher L, Siegel LS. Working memory, inhibitory control, and reading disability. *Memory and Cognition* 2000; 28: 8-17.
8. Cohen G. Age Differences in Memory for Texts: Production Deficiency or Processing Limitations? In: Light LL, Burke DM (eds). *Language, Memory, and Aging*. Cambridge University Press, New York 1988, 171-190.
9. Cohn NB, Dustman RE, Bradford DC. Age-related decrements in stroop color test performance. *Journal of Clinical Psychology* 1984; 40: 1244-1250.
10. Craik FIM. On the transfer of information from temporary to permanent memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 1983; Series B, 302: 341-359.
11. Craik FIM, Lockhart RS. Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 1972; 11: 671-684.
12. Cowan N. An Embedded-Processes Model of Working Memory. In: Miyake A, Shah P (eds). *Models of Working Memory. Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*, Cambridge University Press, New York 1999, 62-101.

13. Cowan N. The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences* 2000; 24: 187-185.
14. Daneman M, Carpenter PA. Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 1980; 19: 450-466.
15. DeDe G, Caplan D, Kemtes K, Waters G. The relationship between age, verbal working memory, and language comprehension. *Psychology and Aging* 2004; 19: 601-616.
16. De Mattos Pimenta Parente MA, Meyer de Taussik I, Daura Ferreira E, Haag Kristensen C. Different pattern of prospective, retrospective, and working memory decline across adulthood. *Interamerican Journal of Psychology* 2005; 39: 231-238.
17. De Renzi E, Vignolo LA. Token Test (TT). Deutsche Bearbeitung von B. Orgass. Beltz, Weinheim 1962.
18. Engle RW. (1996): Working Memory and Retrieval: An Inhibition-Resource Approach. In: Richardson JTE, Engle RW, Hasher L, Logie RH, Stoltzfus ER, Zacks RT. *Working Memory and Human Cognition*. Oxford University Press, New York 1996, 89-119.
19. Friederici A, Schriefers H, Lindenberger U. Differential age effects on semantic and syntactic priming. *International Journal of Behavioral Development* 1998; 22: 813-845.
20. Gilchrist AL, Cowan N, Naveh-Benjamin M. Working memory capacity for spoken sentences decreases with adult ageing: Recall of fewer but not smaller chunks in older adults. *Memory* 2008; 16: 773-787.
21. Glanzer M, Fischer B, Dorfman D. Short-term storage in reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 1984; 23: 467-486.
22. Grady CL. Cognitive neuroscience of aging. *Annals of the New York Academy of Sciences* 2008; 1124: 127-144.
23. Grossman M, Cooke A, DeVita C, Alsop D, Detre J, Chen W, Gee J. Age-related changes in working memory during sentence comprehension: An fMRI study. *Neuroimage* 2002; 15: 302-317.
24. Grossman M, Cooke A, DeVita C, Chen W, Moore P, Detre J, Alsop D, Gee J. Sentence processing strategies in healthy seniors with poor comprehension: An fMRI study. *Brain and Language* 2002; 80: 296-313.
25. Halpern S. *Memory! Neues über unser Gedächtnis*. dtv, München 2009.
26. Hartley JT. Aging and Individual Differences in Memory for Written Discourse. In: Light LL, Burke DM (eds). *Language, Memory, and Aging*. Cambridge University Press, New York 1988, 36-57.
27. Hasher L, Zacks RT. Working Memory, Comprehension, and Aging: A Review and a New View. In: Bower GH (ed). *The Psychology of Learning and Motivation*, Volume 22. Academic Press, New York 1988, 193-225.
28. Jennings JR, van der Veen FM, Meltzer CC. Verbal and spatial working memory in older individuals: A positron emission tomography study. *Brain Research* 2006; 1092: 177-189.
29. Jonides J, Smith EE, Marshuetz C, Koeppel RA, Reuter-Lorenz PA. Inhibition in verbal working memory revealed by brain activation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 1998; 95: 8410-8413.
30. Jonides J, Marshuetz C, Smith EE, Reuter-Lorenz PA, Koeppel RA, Hartley A. Age differences in behavior and PET activation reveal differences in interference resolution in verbal working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2000; 12: 188-196.
31. Kahneman D. *Attention and Effort*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ 1973.
32. Kail R, Salthouse TA. (1994): Processing speed as a mental capacity. *Acta Psychologica* 1994; 86: 199-225.
33. Kemper S. Geriatric Psycholinguistics: Syntactic Limitations of Oral and Written Language. In: Light LL, Burke DM (eds). *Language, Memory, and Aging*. Cambridge University Press, New York 1988, 58-76.
34. Light LL, Albertson SA. Comprehension of Pragmatic Implications in Young and Older Adults. In: Light LL, Burke DM (eds). *Language, Memory, and Aging*. Cambridge University Press, New York 1988, 133-153.
35. Naveh-Benjamin M. Adult age differences in memory performance: Tests of an associative deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 2000; 26: 1170-1187.
36. Oberauer K, Wendland M, Kliegl R. Age differences in working memory – the roles of storage and selective access. *Memory and Cognition* 2003; 31: 563-569.
37. Radvansky GA, Zacks RT, Hasher L. Age and Inhibition: The retrieval of situation models. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences* 2005; 60 (5): 276-278.
38. Reuter-Lorenz PA, Cappell KA. Neurocognitive aging and the compensation hypothesis. *Current Directions in Psychological Science* 2008; 17: 177-182.
39. Reuter-Lorenz PA, Jonides J, Smith EE, Hartley A, Miller A, Marshuetz C, Koeppel RA. Age differences in the frontal lateralization of verbal and spatial working memory revealed by PET. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2000; 12: 174-187.
40. Rowe G, Hasher L, Turcotte J. Age differences in visuospatial working memory. *Psychology and Aging* 2008; 23: 79-84.
41. Rypma B, D'Esposito M. Isolating the neural mechanisms of age-related changes in human working memory. *Nature Neuroscience* 2000; 3: 509-515.
42. Salthouse TA. The processing-speed-theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review* 1996; 103: 403-428.
43. Siegel LS. Working memory and reading: A life-span perspective. *International Journal of Behavioral Development* 1994; 17: 109-124.
44. Smith EE, Geva A, Jonides J, Miller A, Reuter-Lorenz P, Koeppel RA. The neural basis of task-switching in working memory: Effects of performance and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 2001; 98: 2095-2100.
45. Span MM, Ridderinkhof KR, van der Molen MW. Age-related changes in the efficiency of cognitive processing across the life span. *Acta Psychologica* 2004; 117: 155-183.
46. Stoltzfus ER, Hasher L, Zacks RT. Working Memory and Aging: Current Status of the Inhibitory View. In: Richardson JTE, Engle RW, Hasher L, Logie RH, Stoltzfus ER, Zacks RT. *Working Memory and Human Cognition*. Oxford University Press, New York 1996, 66-88.
47. Uhl K. *Kontrollfunktion des Arbeitsgedächtnisses über interferierende Information*. Leipzig: Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, MPI Series in Cognitive Neuroscience 2002; 27.
48. Wippich W. *Lehrbuch der angewandten Gedächtnispsychologie*. Band 1. Kohlhammer, Stuttgart 1984.
49. Zacks RT, Hasher L. (1988): Capacity Theory and the Processing of Inferences. In: Light LL, Burke DM (eds). *Language, Memory, and Aging*. Cambridge University Press, New York 1988, 154-170.
50. Zelinski EM. (1988): Integrating Information From Discourse: Do Older Adults Show Deficits? In: Light LL, Burke DM (eds). *Language, Memory, and Aging*. Cambridge University Press, New York 1988, 117-132.
51. Zwartkruis-Pelgrim E, de Ruyter B. Developing an Adaptive Memory Game for Seniors. In: Markopoulos P, de Ruyter B, Ijsselstein W, Rowland D (eds). *Fun and Games* 2008. LNCS 5294. Springer, Berlin 2008, 170-181.

**Interessenvermerk:**

Es besteht kein Interessenkonflikt.

**Korrespondenzadresse:**

Dr. phil. Maria-Dorothea Heidler  
 Brandenburg Klinik  
 Haus Havelland, Neuro 4  
 Brandenburgallee 1  
 16321 Bernau-Waldsiedlung  
 E-mail: heidler@brandenburgklinik.de