Marcus Hasselhorn · Christof Zoelch (Hrsg.)

Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses

Tests und Trends
N. F. Band 10
Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik

HOGREFE

Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik

Tests und Trends

Neue Folge Band 10

Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses

hrsg. von Prof. Dr. Marcus Hasselhorn und Dr. Christof Zoelch

---

Herausgeber der Reihe:

Prof. Dr. Marcus Hasselhorn, Prof. Dr. Wolfgang Schneider,
Prof. Dr. Ulrich Trautwein

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses

herausgegeben von

Marcus Hasselhorn und Christof Zoelch

HOGREFE

GÖTTINGEN · BERN · WIEN · PARIS · OXFORD · PRAG · TORONTO
CAMBRIDGE, MA · AMSTERDAM · KOPENHAGEN · STOCKHOLM

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

Prof. Dr. Marcus Hasselhorn, geb. 1957. 1977–1983 Studium der Psychologie und Pädagogik in Göttingen und Heidelberg. 1986 Promotion. 1993 Habilitation. 1993–1997 Professor für Entwicklungspsychologie am Institut für Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie der TU Dresden. 1997–2007 Leiter der Abteilung Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie am Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie der Universität Göttingen. Seit 2007 Leiter der Arbeitseinheit Bildung und Entwicklung am Deutschen Institut für Internationale Pädagogische Forschung (DIPF) in Frankfurt am Main.

Dr. Christof Zoelch, geb. 1968. 1992–1998 Studium der Psychologie, Erwachsenenbildung und Musikwissenschaft an der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt. 2005 Promotion. 1998–2009 Tätigkeit am Lehrstuhl für Entwicklungs- und Pädagogische Psychologie an der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt. Seit 2009 Akademischer Rat an der Professur für Psychologische Diagnostik und Interventionspsychologie mit schulpsychologischem Schwerpunkt an der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt.

© 2012 Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG
Göttingen · Bern · Wien · Paris · Oxford · Prag · Toronto
Cambridge, MA · Amsterdam · Kopenhagen · Stockholm
Merkelstraße 3, 37085 Göttingen

http://www.hogrefe.de
Aktuelle Informationen · Weitere Titel zum Thema · Ergänzende Materialien

Copyright-Hinweis:
Das E-Book einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Der Nutzer verpflichtet sich, die Urheberrechte anzuerkennen und einzuhalten.

Satz: ARThür Grafik-Design & Kunst, Weimar
Format: PDF

ISBN 978-3-8409-2452-1

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

Nutzungsbedingungen:

Der Erwerber erhält ein einfaches und nicht übertragbares Nutzungsrecht, das ihn zum privaten Gebrauch des E-Books und all der dazugehörigen Dateien berechtigt.

Der Inhalt dieses E-Books darf von dem Kunden vorbehaltlich abweichender zwingender gesetzlicher Regeln weder inhaltlich noch redaktionell verändert werden. Insbesondere darf er Urheberrechtsvermerke, Markenzeichen, digitale Wasserzeichen und andere Rechtsvorbehalte im abgerufenen Inhalt nicht entfernen.

Der Nutzer ist nicht berechtigt, das E-Book – auch nicht auszugsweise – anderen Personen zugänglich zu machen, insbesondere es weiterzuleiten, zu verleihen oder zu vermieten.

Das entgeltliche oder unentgeltliche Einstellen des E-Books ins Internet oder in andere Netzwerke, der Weiterverkauf und/oder jede Art der Nutzung zu kommerziellen Zwecken sind nicht zulässig.

Das Anfertigen von Vervielfältigungen, das Ausdrucken oder Speichern auf anderen Wiedergabegeräten ist nur für den persönlichen Gebrauch gestattet. Dritten darf dadurch kein Zugang ermöglicht werden.

Die Übernahme des gesamten E-Books in eine eigene Print- und/oder Online-Publikation ist nicht gestattet. Die Inhalte des E-Books dürfen nur zu privaten Zwecken und nur auszugsweise kopiert werden.

Diese Bestimmungen gelten gegebenenfalls auch für zum E-Book gehörende Audiodateien.

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Reihenherausgeber VII

Vorwort der Bandherausgeber IX

Kapitel 1
Diagnostik der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern zwischen 5 und 12 Jahren: Die Arbeitsgedächtnistestbatterie AGTB 5-12
Katja Seitz-Stein, Ruth Schumann-Hengsteler, Christof Zoelch, Dietmar Grube, Claudia Mähler und Marcus Hasselhorn 1

Kapitel 2
Zur Invarianz der Struktur des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern
Kurt Michalczyk, Christof Zoelch und Marcus Hasselhorn 23

Kapitel 3
Die prognostische Validität der AGTB 5-12 für den Erwerb von Schriftsprache und Mathematik
Anne Fischbach, Anna-Lena Preßler und Marcus Hasselhorn 37

Kapitel 4
Die Bedeutung der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses für die Differenzialdiagnostik von Lernstörungen
Claudia Mähler und Kirsten Schuchardt 59

Kapitel 5
Besonderheiten im Arbeitsgedächtnis bei Kindern mit Sprachauffälligkeiten
Kirsten Schuchardt, Maria Worgt und Marcus Hasselhorn 77

Kapitel 6
Arbeitsgedächtnis bei Kindern und Jugendlichen mit Intelligenzminderung
Gerhard Büttner, Sebastian Poloczek, Kirsten Schuchardt und Claudia Mähler 95

Kapitel 7
Arbeitsgedächtnisbesonderheiten von Kindern mit Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung
Caterina Gawrilow, Lisa Oberbremer und Marcus Hasselhorn 113

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

Kapitel 8
Funktionstüchtigkeit des phonologischen Arbeitsgedächtnisses bei blinden Kindern im Grundschulalter
Björn Einecke, Wolfgang Woerner und Marcus Hasselhorn 133

Kapitel 9
Arbeitsgedächtnis und Rechnen
Dietmar Grube und Katja Seitz-Stein 145

Kapitel 10
Zur Diagnostik von Arbeitsgedächtnisprozessen bei 3- bis 6-jährigen Kindergartenkindern
Christof Zoelch und Claudia Mähler 159

Autorenverzeichnis 182

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

Vorwort der Reihenherausgeber

Die neue Folge der Reihe „Tests und Trends – Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik“ hat sich in den mittlerweile etwas mehr als 10 Jahren ihres Bestehens immer darum bemüht, den neuesten Stand diagnostischer Möglichkeiten in unterschiedlichen Inhaltsbereichen schulischen Lernens zu dokumentieren. In den bislang erschienenen Bänden der Reihe wurden praktisch relevante Forschungsansätze und -ergebnisse zu spezifischen Lernleistungen, spezifischen Lernvoraussetzungen sowie zu lernbegleitenden Fähigkeiten, Funktionen und Dispositionen unter diagnostischem Blickwinkel berichtet. Dabei spielten insbesondere neuere Erkenntnisse der Entwicklungspsychologie und der Pädagogischen Psychologie eine bedeutsame Rolle.

Im vorliegenden Band wird nun mit der Erfassung von Funktionsbereichen des Arbeitsgedächtnisses ein Thema aufgegriffen, das in den letzten Jahrzehnten international zunehmend an Bedeutung gewonnen hat, im deutschsprachigen Bereich jedoch noch nicht vergleichbar bekannt ist. Insbesondere die Nutzung des Arbeitsgedächtnisses für die Individualdiagnostik steckt hierzulande noch in den Anfängen. Dies scheint insofern bedauerlich, als inzwischen unzählige empirische Untersuchungen verdeutlichen konnten, dass die Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses wesentlich zum schulischen Erfolg beiträgt. Umgekehrt gibt es viele Hinweise dafür, dass Kinder mit schulischen Lernschwierigkeiten sehr oft auch Defizite im Arbeitsgedächtnis aufweisen.

Der vorliegende Band unterscheidet sich von seinen Vorläufern dadurch, dass diagnostische Möglichkeiten in diesem wichtigen Bereich am Beispiel eines einzelnen Verfahrens, nämlich der neu entwickelten Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kindern zwischen 5 und 12 Jahren (AGTB 5-12, Hasselhorn et al., 2012) vorgestellt werden. Mit diesem Verfahren steht im deutschsprachigen Raum erstmals ein standardisiertes und normiertes Diagnoseinstrument für diesen Bereich zur Verfügung Die Herausgeber des vorliegenden Bandes haben sich das Ziel gesetzt, die vielseitige Einsetzbarkeit dieses Testverfahrens und sein differenzialdiagnostisches Potenzial bei unterschiedlichen Problemstellungen zu illustrieren. So lässt sich beispielsweise zeigen, dass unterschiedliche Teilfunktionen des Arbeitsgedächtnisses dazu geeignet sind, spätere Leistungsunterschiede in den Bereichen Schriftsprache und Mathematik vorherzusagen und zu erklären. Für die pädagogisch-psychologische Praxis besonders wichtig scheinen dabei auch diejenigen Beiträge, die sich mit Besonderheiten des Arbeitsgedächtnisses bei speziellen Populationen (etwa Kinder mit Sprachauffälligkeiten, Intelligenzminderung oder ADHS) beschäftigen.

Wir hoffen sehr und sind insgesamt auch zuversichtlich, dass dieser Band dazu beitragen kann, einer breiten Leserschaft relevantes Wissen über die Möglichkeiten und die Nützlichkeit einer differenziellen Individualdiagnostik des Ar-

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

beitsgedächtnisses zu vermitteln. Es wäre sehr zu wünschen, dass dieses Instrument zum festen Bestandteil professioneller pädagogisch-psychologischer Diagnostik werden wird.

Frankfurt, Würzburg und Tübingen, im November 2011 Marcus Hasselhorn, Wolfgang Schneider und Ulrich Trautwein

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

Vorwort der Bandherausgeber

Seit mehr als drei Jahrzehnten ist bekannt, dass das Arbeitsgedächtnis eine zentrale Rolle für die Informationsverarbeitung des Menschen spielt. Während in der Forschung lange Zeit die Frage im Vordergrund stand, wie das menschliche Arbeitsgedächtnis funktioniert, thematisieren jüngere Arbeiten die Stabilität individueller Unterschiede in der Funktionstüchtigkeit verschiedener Strukturen und Mechanismen des Arbeitsgedächtnisses. Hinzu kommen vielfältige empirische Belege dafür, dass Indikatoren der individuellen Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses gut für die Vorhersage vielfältiger kognitiver Leistungen (z. B. Lesen, Rechtschreiben, Rechnen, Denken, Problemlösen) geeignet sind. Die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses stellt offensichtlich eine Art „Flaschenhals“ des kognitiven Leistungspotenzials dar.

Vor diesem Hintergrund ist das Konstrukt des Arbeitsgedächtnisses auch für Diagnostiker besonders attraktiv geworden. Die gemessene Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses erlaubt mehr noch als traditionelle Intelligenztests eine Abschätzung der basalen kognitiven Fähigkeiten der getesteten Person, und zwar weitgehend unabhängig vom verfügbaren schulischen oder akademischen Wissen. Insbesondere beim Versuch, differenzielle Leistungsprofile von Schülerinnen und Schülern zu erklären, kommt man mit einer Arbeitsgedächtnisdiagnostik deutlich weiter als mit einer Intelligenzdiagnostik. Ein gutes Beispiel hierfür ist der Versuch zu erklären, warum immerhin fast 10 Prozent eines Jahrganges trotz intakter Intelligenz massive Probleme beim Erwerb des Lesens, Schreibens und/oder Rechnens haben.

Die Nutzung des Arbeitsgedächtnisses für die Individualdiagnostik steckt in Deutschland noch in ihren Anfängen. Mit der Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder zwischen 5 und 12 Jahren (AGTB 5-12, Hasselhorn et al., 2012) liegt im deutschen Sprachraum nun erstmals eine standardisierte und normierte Testbatterie zur Differenzialdiagnostik der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern vor. Über eineinhalb Jahrzehnte lang wurde sie entwickelt und erprobt. Die praktische Nützlichkeit konnte in Beratungsstellen für Kinder mit Lernschwierigkeiten (wie z. B. die Beratungsstelle KIM an der Universität Hildesheim) wiederholt bestätigt werden.

Der vorliegende Band trägt eine Vielzahl von Validierungen der differenziellen Arbeitsgedächtnisdiagnostik zusammen, um allen an der Diagnostik und Beratung von Kindern mit Lernschwierigkeiten oder anderen Besonderheiten Interessierten in kompakter Weise die theoretischen Grundlagen, die empirischen Gültigkeiten und die daraus ableitbaren praktischen Nützlichkeiten einer differenziellen Individualdiagnostik der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses zugänglich zu machen. Dementsprechend beginnt der Band mit einem Kapitel, in dem die erwähnte Arbeitsgedächtnistestbatterie AGTB 5-12 im Einzelnen

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

vorgestellt wird (Seitz-Stein et al.). Die Kapitel 2 und 3 widmen sich der Frage der Konstruktvalidität und der prognostischen Validität der AGTB 5-12. Michalczyk, Zoelch und Hasselhorn (Kap. 2) tragen empirische Befunde zusammen, die untermauern, dass die aus der britischen Arbeitsgedächtnisforschung entlehnte Annahme einer mehrsystemigen Struktur des Arbeitsgedächtnisses unabhängig vom Alter oder vom Vorliegen einer Lernstörung valide ist. Fischbach, Preßler und Hasselhorn (Kap. 3) zeigen auf der Basis längsschnittlicher Daten, inwiefern die unterschiedlichen von der AGTB 5-12 gemessenen Teilfunktionen des Arbeitsgedächtnisses geeignet sind, um spätere Leistungsunterschiede im Lesen, Schreiben und Rechnen zu erklären.

Die Kapitel 4 bis 8 sind besonderen Teilpopulationen gewidmet sowie der Frage, inwiefern diese sich durch besondere Funktionsprofile des Arbeitsgedächtnisses auszeichnen. Mähler und Schuchardt (Kap. 4) thematisieren dabei die Möglichkeiten, mithilfe der AGTB 5-12 eine Differenzialdiagnostik von Lernstörungen zu leisten. Schuchardt, Worgt und Hasselhorn (Kap. 5) tragen zusammen, was wir bisher über die Besonderheiten im Arbeitsgedächtnis bei Kindern mit Sprachauffälligkeiten wissen. Büttner, Poloczek, Schuchardt und Mähler (Kap. 6) referieren über den Forschungsstand zum Arbeitsgedächtnis bei Kindern und Jugendlichen mit Intelligenzminderung. Gawrilow, Oberbremer und Hasselhorn (Kap. 7) berichten über erste Ergebnisse mit der AGTB 5-12 zur Charakterisierung der Besonderheiten der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern mit ADHS. Schließlich berichten Einecke, Woerner und Hasselhorn (Kap. 8) über eine erste deutschsprachige Studie, in der die Funktionstüchtigkeit des phonologischen Arbeitsgedächtnisses bei blinden Kindern im Grundschulalter untersucht wurde.

Die abschließenden zwei Kapitel des Bandes haben eine etwas stärkere grundlagenwissenschaftliche Orientierung und haben zum Ziel, den interessierten Leser mit einigen aktuellen Fragen und Kontexten der diagnostisch relevanten Arbeitsgedächtnisforschung mit Kindern vertraut zu machen. Dazu thematisieren Grube und Seitz-Stein (Kap. 9) die Rolle des Arbeitsgedächtnisses beim Rechnen, während Zoelch und Mähler (Kap. 10) sich jüngsten Forschungstrends der Arbeitsgedächtnisdiagnostik bei 3- bis 6-jährigen Kindern widmen.

Mit diesem breiten Themenspektrum wollen wir eine Praxis der differenziellen Arbeitsgedächtnisdiagnostik bei Kindern im deutschen Sprachraum stimulieren. Die in diesem Band zusammengetragenen Befunde stimmen uns zuversichtlich, dass Arbeitsgedächtnisdiagnostik zukünftig zum selbstverständlichen Bestandteil professioneller pädagogisch-psychologischer Diagnostik bei einer Vielzahl von Auffälligkeiten im Kindesalter werden wird.

Frankfurt und Eichstätt, im November 2011

Marcus Hasselhorn und
Christof Zoelch

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

Kapitel 1

Diagnostik der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern zwischen 5 und 12 Jahren: Die Arbeitsgedächtnistestbatterie AGTB 5-12

Katja Seitz-Stein, Ruth Schumann-Hengsteler, Christof Zoelch, Dietmar Grube, Claudia Mähler und Marcus Hasselhorn

Zusammenfassung

In Modellen der menschlichen Informationsverarbeitung wird angenommen, dass Informationen, die vom Lernenden mit Aufmerksamkeit bedacht werden, zunächst in eine Art Kurzzeitspeicher gelangen. Dieser von der Kapazität her begrenzte Kurzzeitspeicher sorgt dafür, dass dem Lernenden die beachtete Information für kurze Zeit im „Bewusstseinsstrom" präsent ist. Somit übernimmt der Kurzzeitspeicher beim Bearbeiten von Informationen die Funktion eines Arbeitsgedächtnisses („working memory"). In pädagogisch-psychologischen Forschungskontexten hat man mittlerweile eine Vielzahl von teilweise relativ unabhängigen Teilfunktionen des Arbeitsgedächtnisses identifiziert, so dass vermehrt die Nutzung dieser Kenntnisse in der Individualdiagnostik gefordert wurde. Im vorliegenden Beitrag wird eine erste deutschsprachige umfassende Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder im Alter zwischen 5 und 12 Jahren (AGTB 5-12, Hasselhorn et al., 2012) dargestellt. Dabei wird das zugrunde liegende, mehrere Teilsysteme und Funktionen umfassende Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley sowie einschlägige Befunde zur Rolle verschiedener Arbeitsgedächtnisfunktionen für Lernen und schulische Leistungen skizziert. Auf eine anschließende konzise Darstellung der Entwicklung und des Aufbaus der AGTB 5-12 folgt schließlich eine Einordnung des diagnostischen Potenzials dieser neuen Testbatterie.

1.1 Zur Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses für die kognitive Entwicklung im Kindesalter

Mit der Etablierung des Mehrspeichermodells des Gedächtnisses von Atkinson und Shiffrin (1968) wurden drei funktionale Komponenten der Informationsverarbeitung separiert: die Informationsaufnahme, die nach dieser Modellvorstellung von sogenannten sensorischen Registern übernommen wird; der Kurzzeit- oder Arbeitsspeicher, in dem kurzzeitige Informationsspeicherung zum Zwecke der Weiterverarbeitung und Integration mit bereits bestehenden Wissensinhalten stattfindet und der Langzeitspeicher, in dem Information überdauernd abgelegt wird. Die drei Speicher weisen höchst unterschiedliche kapazitative Begrenzungen

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

auf. Während die sensorischen Register sehr viel Information nur für sehr kurze Zeit halten können, ist der Langzeitspeicher sowohl die Informationsmenge als auch die zeitliche Erstreckung der Speicherung betreffend theoretisch unbegrenzt. Der Kurzzeitspeicher, wegen seiner aktiven Funktion der Informationsmanipulation auch Arbeitsspeicher oder Arbeitsgedächtnis genannt, ist sowohl zeitlich als auch bezüglich des Informationsumfangs, der zu einer gegebenen Zeit behalten und bearbeitet werden kann, limitiert.

Die Funktion des Arbeitsgedächtnisses zu erforschen ist in den vergangenen drei Dekaden zu einem zentralen Forschungsthema avanciert. Es dauerte nicht lange, bis auch die Entwicklungspsychologie sich der Frage um Veränderungen und Stabilitäten von Arbeitsgedächtnisprozessen annahm (Gathercole & Hitch, 1993; Henry & Millar, 1991). Vor dem Hintergrund unterschiedlicher Konzeptualisierungen des Arbeitsgedächtnisses wurde die Bedeutung dieses kognitiven Systems für Entwicklungs- und Lernfortschritte immer wieder belegt: Die Geschwindigkeit der bewussten Informationsverarbeitung, z. B. beim Lernen von Wortlisten, wurde schon früh als kritische Variable erkannt (Naus, Ornstein & Aivano, 1977). Es war Robert Kail (1991, 1997), der in zahlreichen Untersuchungsreihen für ganz unterschiedliche Gedächtnisaufgaben (z. B. mentale Rotation, Abruf von Namen, mentale Addition) eine Zunahme der Verarbeitungsgeschwindigkeit vom Vorschul- bis ins Erwachsenenalter, eine damit einhergehende effizientere Verarbeitung und schließlich bessere Leistungen feststellte. Dass die Verarbeitungseffizienz mit zunehmendem Alter zunimmt, haben auch Case, Kurland und Goldberg (1982) unter Verwendung sogenannter Spannenaufgaben gefunden. Hierbei werden Serien von Wörtern oder Zahlen kurzzeitig (etwa eine Sekunde pro Item) dargeboten, die Aufgabe des Probanden besteht darin, sich die Items einzuprägen und in der richtigen Reihenfolge wieder zu geben. Gelingt dies, wird die nächste Serie um ein Item verlängert. Die Serie, die gerade noch korrekt reproduziert werden kann, entspricht der Gedächtnisspanne. Spannenmaße sind Schätzer der maximalen Funktionstüchtigkeit des Gedächtnissystems. Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses kann aber nicht nur alterskorrelierte Verbesserungen in unterschiedlichen Gedächtnisaufgaben erklären, kapazitative Unterschiede des Arbeitsgedächtnisses werden auch als ein wesentlicher Aspekt für die Erklärung interindividueller Unterschiede im kognitiven Funktionsniveau betrachtet (Kyllonen, 1996). Dieses kognitive Funktionsniveau ist ein zentraler Faktor für kognitive Lernprozesse (Alloway & Alloway, 2010). Zahlreiche Befunde zeigen die Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses für das Erlernen unserer Kulturtechniken und die Abhängigkeit der akademischen Leistungsfähigkeit von der Funktionstüchtigkeit dieses Systems (vgl. im Überblick Dehn, 2008; Hasselhorn & Schumann-Hengsteler, 2001).

Während über die Bedeutsamkeit des Arbeitsgedächtnisses für die Informationsverarbeitung und für die Erklärung kognitiver Entwicklung große Einigkeit besteht, werden unterschiedliche Konzeptionen für ein solches System diskutiert

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

(Baddeley & Hitch, 2000; Camos & Barrouillet, 2011; Cowan, 1999; Kemps, de Rammeleare & Desmet, 2000; Oberauer, Süß, Wilhelm & Wittmann, 2003). In der entwicklungspsychologischen und in der pädagogisch-psychologischen Forschung hat sich ein Modell als besonders fruchtbar erwiesen: das Mehrspeichermodell des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley und Hitch (1974; Baddeley, 1986, 2000, 2006).

1.2 Das Arbeitsgedächtnis-Modell nach Baddeley und Hitch

Das aus der Allgemeinen Psychologie stammende Modell gliedert sich in seiner ursprünglichen Version von 1974 in drei Teile: die phonologische Schleife, zum Umgang mit verbaler Information, den visuell-räumlichen Skizzenblock, der die Manipulation von bildhaften und räumlichen Informationen unterstützt, und eine diesen beiden Hilfssystemen übergeordnete zentrale Exekutive, die als Steuer- und Kontrollinstanz des gesamten Systems konzipiert war. Während die Konzeption der phonologischen Schleife („Phonological loop“) von Beginn an zwei Komponenten vorsah, nämlich den phonetischen Speicher („Phonological store“) und den subvokalen Wiederholungsprozess („Rehearsal“), wurde der visuell-räumliche Skizzenblock („Visuo-spatial sketchpad“) erst in den 90er Jahren weiter ausdifferenziert. Ein visueller Speicher („Visual cache“) und ein räumlicher Wiederholungsprozess („Inner scribe“) wurden fortan als Bausteine des visuell-räumlichen Skizzenblocks angenommen (Logie, 1995). Nachdem die zentrale Exekutive („Central executive“) zunächst wenig erforscht wurde, hat eine Spezifikation von vier zentral-exekutiven Aufgaben (Koordinationskapazität, Steuerung von Abrufstrategien, Aufmerksamkeitslenkung, Manipulation von Langzeitgedächtnisinhalten) zum verstärkten Forschungsinteresse in diesem Bereich geführt (Baddeley, 1996). Das Modell wurde im Jahr 2000 von Baddeley um eine neue Komponente erweitert: Der episodische Puffer („Episodic Buffer“) soll modalitätsübergreifend Informationen speichern und integrieren. Das funktionalistische Modell von Baddeley und Hitch gehört zusammen mit Modellen, die aus der amerikanischen Tradition stammen (Case, 1985; Cowan, 1999; Pascual-Leone, 1970), zu den zentralen Konzeptualisierungen kurzzeitiger Informationsverarbeitungsprozesse. Dass auf der theoretischen Grundlage dieses Modells auch kindliche Informationsverarbeitung fruchtbar untersucht werden kann, wurde in den vergangenen beiden Jahrzehnten eindrucksvoll unter Beweis gestellt. Auch jüngste Befunde, die eine dreigliedrige Struktur kurzzeitiger Informationsverarbeitung spätestens ab dem fünften Lebensjahr nachweisen (Alloway, Gathercole & Pickering, 2006; Schmid, Zoelch & Roebers, 2008; Michalczyk, Zoelch & Hasselhorn, in diesem Band), belegen eine Anwendbarkeit dieses Modells für den Altersbereich ab fünf Jahren.

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

1.2.1 Phonologisches Arbeitsgedächtnis

Die phonologische Schleife ist vermutlich bis heute das am besten untersuchte Subsystem des Modells von Baddeley und Hitch (1974). Die beiden Komponenten phonetischer Speicher und subvokaler Wiederholungsprozess arbeiten eng zusammen. Während nach der Modellvorstellung akustisch-verbale Information automatischen Zugang zum phonetischen Speicher hat, dort aber nur für bis zu zwei Sekunden erhalten bleibt, dient der subvokale Wiederholungsprozess der Aufrechterhaltung der enkodierten Information oder der Rekodierung visuell dargebotener Information. Damit macht letzterer Informationsverarbeitung über die kritischen zwei Sekunden Haltefunktion des phonetischen Speichers möglich (Hasselhorn & Schumann-Hengsteler, 2001). Die basale Funktion der phonologischen Schleife wird in vielen Anforderungen des Alltags und beim Erlernen und dem Einsatz unserer Kulturtechniken benötigt. So konnte die Relevanz der phonologischen Schleife beim Sprachverständnis (Gathercole & Baddeley, 1993), Wortschatzerwerb (Gathercole, Service, Hitch, Adams & Martin, 1999), Leselernen (Crain, Shankweiler, Macaruso & Bar-Shalom, 1990), Textverstehen (Swanson & Alexander, 1997), beim Erwerb und der Nutzung grundlegenden Rechenoperationen wie Addition und Multiplikation (Grube, 2006; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2002; Thomas, Zoelch, Seitz-Stein & Schumann-Hengsteler, 2006) und vielen weiteren höherrangigen Prozessen bestätigt werden (vgl. Dehn, 2008).

Empirisch ist diese Teilung der phonologischen Schleife gut gesichert. Da sich dennoch Phänomene beobachten lassen, für die eine solche Zweiteilung nicht ausreichend zu sein scheint, bieten Hasselhorn, Grube und Mähler (2000) eine weitere Ausdifferenzierung der phonologischen Schleife an. Dabei soll der phonetische Speicher nach seiner Speicherdauer, also der *Größe* sowie der Güte der verarbeiteten Information, also der *Verarbeitungspräzision* untergliedert werden. Der subvokale Wiederholungsprozess sei nach *Geschwindigkeit* und *Automatisierungsgrad seiner Aktivierung* zu differenzieren. Mit einer automatischen Aktivierung des subvokalen Wiederholungsprozesses ist in etwa im sechsten bis siebten Lebensjahr zu rechnen (Jarrold & Tam, 2011; Gathercole & Hitch, 1993). Ab diesem Alter werden visuell dargebotene Objekte auch typischerweise verbal benannt (Hitch, Halliday, Schaafstal & Schraagen, 1988).

Neben dieser spezifischen entwicklungsbedingten Veränderung der phonologischen Schleife bei der Aktivierung des Wiederholungsprozesses kann eine Zunahme der funktionalen Kapazität des gesamten Subsystems zwischen dem vierten und zwölften Lebensjahr beobachtet werden (Gathercole, 1998). Diese wird zum einen durch eine steigende Artikulationsrate erklärt (Hulme & Tordoff, 1989), strategische Veränderungen und zunehmendes domänenspezifisches Wissen werden aber ebenso als ursächlich diskutiert (Gathercole & Adams, 1994; Hasselhorn, Grube, Mähler, Zoelch, Gaupp & Schumann-Hengsteler, 2003).

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

1.2.2 Visuell-räumliches Arbeitsgedächtnis

Visuell-räumliche Arbeitsgedächtnisprozesse sind weit weniger untersucht als die Funktion der phonologischen Schleife. Mitte der 1990er Jahre schlägt Logie (1995) vor, das vormals unitär betrachtete System in zwei Komponenten zu unterteilen: In einen eher statischen visuellen Speicher, der Farb- und Forminformation hält und einen eher dynamischen räumlichen Wiederholungsprozess, der analog zum subvokalen Wiederholungsprozess arbeitet und räumliche Veränderungen wiederholt und so längerfristig bereithält. Notwendig wurde eine solche Unterscheidung durch Befunde, die eine starke Beeinträchtigung einer visuellen Aufgabe (Behalten einer Farbfolge) durch eine visuelle Zweitaufgabe (Betrachten von irrelevanten Schwarzweißbildern) zeigten, während eine räumliche Zweitaufgabe (räumliches Fingertippen) zu deutlich geringeren Einbußen bei der visuellen Erstaufgabe führte. Umgekehrt wurde eine räumliche Erstaufgabe stärker durch die räumliche Zweitaufgabe als durch die visuelle Zweitaufgabe gestört (Logie & Marchetti, 1991). Dieses Phänomen wird auch doppelte Dissoziation genannt (Klauer & Zhao, 2004). Entwicklungspsychologisch besonders bedeutsam ist die erstmals von Logie und Pearson (1997) erbrachte Evidenz zweier unterschiedlicher Entwicklungsverläufe der beiden Komponenten des visuell-räumlichen Skizzenblocks. Während die Leistungsfähigkeit des eher passiven visuellen Speichers zwischen dem fünften und zwölften Lebensjahr stark zunimmt fällt die alterskorrelierte Steigerung im räumlich-dynamischen Bereich deutlich geringer aus. Diese entwicklungsabhängige Differenzierung des visuell-räumlichen Skizzenblocks wurde von den Autoren „Developmental fractionation“ genannt und als weiterer Beleg für die Angemessenheit der Unterscheidung zwischen den beiden Komponenten gewertet.

Festzuhalten bleibt eine Zunahme der Funktionstüchtigkeit des visuell-räumlichen Skizzenblocks, die für beide Komponenten dieses Subsystems jedoch unterschiedlich ausfällt und im Vergleich zur Entwicklung der phonologischen Schleife bisher weit weniger untersucht ist.

1.2.3 Zentral-exekutive Funktionen des Arbeitsgedächtnisses

In den späten 1990er Jahren wurde verstärkt mit der Untersuchung zentral-exekutiver Arbeitsgedächtnisprozesse begonnen. Baddeley (1996) hatte vier Funktionen der übergeordneten Steuer- und Kontrolleinheit benannt. Erstens die Koordinationskapazität, die für ein zeitgleiches oder zeitnahes Ausführen verschiedener Aufgaben benötigt wird. Zweitens die Steuerung von Abrufstrategien, die beispielsweise bei einer zweistelligen Multiplikationsaufgabe den Wechsel zwischen Operationen, Abruf von mathematischem Faktenwissen und Speicherungsprozessen gewährleistet. Drittens die Aufmerksamkeitslenkung, die irrelevante Informationen abhalten und den Fokus auf relevante Informationen steuern soll. Viertens die Manipulation von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis,

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

worunter auch die selektive Aktivierung von Wissensinhalten zu verstehen ist. Diese für die Informationsverarbeitung essenziellen Funktionen sollten voneinander abgrenzbar sein und die Basis für die empirische Untersuchung der zentralen Exekutive darstellen. Tatsächlich erwies es sich aber als äußerst schwierig einzelne Funktionen isoliert zu operationalisieren. Towse und Houston-Price (2001) gehen von einer viel höheren Anzahl unzusammenhängender, hochspezialisierter Mechanismen aus, die als zentral-exekutiv zu charakterisieren sind, und diskutieren infolgedessen einen generalisierten zentral-exekutiven Verarbeitungsmechanismus („General-purpose processor"). Für diesen können entwicklungsbedingte Zuwächse in der funktionalen Kapazität festgestellt werden (Thorn & Gathercole, 2000). Die verfügbaren Aufmerksamkeitsressourcen tragen nach Swanson (1999) aber ebenfalls zur zunehmenden Effizienz in der Verarbeitung bei. Zoelch, Seitz und Schumann-Hengsteler (2005) versuchten klassische Arbeitsgedächtnismaße und neue, kindgerecht konzipierte Aufgaben auf die vier von Baddeley (1996) genannten Funktionen zu beziehen. Einerseits zeigte sich, dass eine klare Eins-zu-eins Zuordnung zwischen einer Operationalisierung und einer der vier Funktionen sensu Baddeley kaum möglich ist, andererseits konnte in allen sieben zentral-exekutiven Maßen ein zunehmendes Funktionsniveau mit steigendem Alter nachgewiesen werden. Das Ausmaß des Alterseffekts variierte dabei deutlich.

Insgesamt ist derzeit strittig, ob es gelingen kann, die zentrale Exekutive als eine kohärente Einheit zu beschreiben. Klar ist jedoch, dass die Funktionen, die explizit oder implizit der zentralen Exekutive zugesprochen werden, eminent wichtig sind für effektive Informationsverarbeitung und damit für gute Leistungsfähigkeit bei komplexeren kognitiven Aufgaben, sei es im Alltag oder im akademischen Bereich.

1.3 Zum Zusammenhang von Arbeitsgedächtnisfunktionen und Lern- und Leistungsaspekten

In den vergangenen 20 Jahren hat die Forschung zum Arbeitsgedächtnis ein beachtliches empirisches Fundament geschaffen, das die Bedeutsamkeit dieses Konstrukts für weite Teile der kognitiven Psychologie untermauert. Dazu gehören auch die Belege von Zusammenhängen zwischen Arbeitsgedächtnismaßen und akademischen Leistungen (Swanson, 1995). Die von Alloway und Alloway (2010) berichteten längsschnittlich erhobenen Daten konnten Arbeitsgedächtniskapazität als im Vergleich zum Intelligenzquotient besseren Prädiktor schulischer Leistungen (Lesen und mathematisches Denken) ausmachen und damit die Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses als wichtige Determinante für schulischen Erfolg ausweisen.

Die Forschung zum Zusammenhang von Arbeitsgedächtnis und akademischen Leistungen hat mindestens über drei empirische Zugänge die zentrale Rolle des

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

Arbeitsgedächtnisses bestätigt. (1) Die Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses kann experimentell (z. B. mit sogenannten Doppel- oder Interferenzaufgaben) untersucht werden. Hierbei lässt man die Probanden eine akademische Erstaufgabe bearbeiten (z. B. eine zweistellige Addition) und belegt zeitgleich spezifische Arbeitsgedächtnisressourcen mit einer Zweitaufgabe (z. B. fortlaufende Artikulation des Wortes „limo“, eine Zweitaufgabe zur Blockade des subvokalen Wiederholungsprozesses). Führt diese Doppelaufgabe im Vergleich zu einer Kontrollbedingung zu signifikant schlechteren Leistungen in der Erstaufgabe, hier dem Addieren, gilt dies als Beleg für den Zugriff auf diese Ressourcen durch die Bearbeitung der Erstaufgabe. In unserem Beispiel wäre auf die Nutzung der phonologischen Schleife, genauer gesagt des subvokalen Wiederholungsprozesses, beim Addieren zweistelliger Zahlen zu schließen. Mit solchen und ähnlichen experimentellen Studien wird der Nachweis der Nutzung von Arbeitsgedächtnisfunktionen (bei unbeeinträchtigten Probanden) geführt. (2) Ein anderer Zugang besteht in der Untersuchung der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses bzw. seiner Komponenten bei Probanden, die in einem akademischen Bereich beeinträchtigt sind. Vergleicht man diese mit der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses bzw. seiner Komponenten bei Probanden, die nicht beeinträchtigt sind, und findet bedeutsame Unterschiede, kann dies als Hinweis auf die Relevanz dieser basalen Prozesse für den entsprechenden akademischen Bereich gewertet werden. (3) Wird ein längsschnittliches Design gewählt, können potenziell bedeutsame Einflussfaktoren, zum Beispiel Vorläuferfertigkeiten, vor der curricularen Instruktion untersucht werden.

Die Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses beim *Lesen* ist schon lange empirisch nachgewiesen (Daneman, Carpenter & Just, 1982; Daneman & Tardif, 1987; Gathercole & Baddeley, 1993). Dies gilt sowohl für das *Dekodieren,* das häufig als basale Lesefertigkeit bezeichnet wird, als auch für die komplexere Fertigkeit des Leseverstehens. Leseanfänger müssen beispielsweise gedruckte Buchstaben sequenziell in entsprechende Klänge umwandeln, sie dann miteinander verschleifen und sie dabei so lange im Arbeitsgedächtnis halten, bis sie aufgrund der gesamten Klangsequenz ein Wort erkennen können. Die sogenannte phonologische Bewusstheit hat sich als eine zentrale Vorläuferfertigkeit für einen erfolgreichen Erstleseunterricht erwiesen (z. B. Näslund & Schneider, 1996). Der Umgang mit Phonemen, also klanglicher Information, wird von der phonologischen Schleife unterstützt. Folglich determiniert die Funktionsfähigkeit dieses Systems das vorhandene Ausmaß an phonologischer Bewusstheit nicht unwesentlich mit. In einer Metaanalyse von Daneman und Merikle (1996) konnte ein Zusammenhang zwischen Leseverständnis und der Kapazität des phonologischen Arbeitsgedächtnisses von $r = .41$ gefunden werden. Die Größenordnung dieses Zusammenhanges steigt von Schuljahr zu Schuljahr an (Seigneuric & Ehrlich, 2005).

Untersuchungen der oben beschriebenen zweiten Art, bei denen beeinträchtigte und nicht beeinträchtigte Lernende hinsichtlich ihrer Arbeitsgedächtnisleistungsfähigkeit verglichen werden, bestätigen dieses Bild. In vielen Studien zu

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

gestörten Lesefertigkeiten und damit einhergehenden beeinträchtigten komplexen Leistungen wie dem Textverstehen zeigen sich Defizite im Bereich zentral-exekutiver Arbeitsgedächtnisfunktionen (Swanson & Alexander, 1997; Palmer, 2000; Schuchardt, Mähler & Hasselhorn, 2008; Swanson, 2006, 2011). Ebenfalls als gesichert können substanzielle Zusammenhänge zwischen Beeinträchtigungen im phonologischen Arbeitsgedächtnis und Dyslexie gesehen werden (Vellutino, Fletcher, Snowling & Scanlon, 2004; Pickering, 2006; Swanson, 2006; Schuchardt, Roick, Mähler & Hasselhorn, 2008), wohingegen sich kaum zuverlässige Zusammenhänge zwischen der Funktionstüchtigkeit des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses und dem Auftreten dyslektischer Störungen finden lassen (vgl. Mähler & Schuchardt, in diesem Band; O'Shaughnessy & Swanson, 1998; Pickering, 2006).

Die Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses beim *Rechnen* ist ebenfalls über verschiedene methodische Ansätze abgesichert. In zumeist experimentellen Studien konnten vor allem phonologische und zentral-exekutive Teilprozesse als besonders relevant für grundlegende Rechenoperationen wie Addieren und Multiplizieren nachgewiesen werden (Lemaire, Abdi & Fayol, 1996; Logie, Gilhooly & Wynn, 1994; Grube, 2006; Grube & Barth, 2004; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2000; Grube & Seitz-Stein, in diesem Band). Mit zunehmender Automatisierung mentaler Additions- und Multiplikationsprozesse verändert sich die Bedeutung phonologischer und zentral-exekutiver Arbeitsgedächtnisprozesse. So wird etwa angenommen, dass ungeübte Rechner bei mentaler Multiplikation Rechenstrategien zunächst schrittweise automatisieren und diese dann zugunsten eines reinen Abrufs von Ergebnissen aus dem Langzeitgedächtnis aufgeben (Ashcraft, Donley, Halas & Vakali, 1992; Lemaire & Siegler, 1995; Thomas, Zoelch, Seitz-Stein & Schumann-Hengsteler, 2006). Für geübte Rechner ist die Beteiligung der zentralen Exekutive bei mentaler Multiplikation eindeutig nachgewiesen (vgl. De Rammelaere, Stuyven & Vandierendonck, 2001; De Rammelaere & Vandierendonck, 2001; Lemaire et al., 1996; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2000). Die phonologische Schleife scheint demgegenüber, zumindest für einfache Multiplikationsaufgaben, eine eher untergeordnete Rolle zu spielen.

Für den Erwerb grundlegender Rechenoperationen haben sich sogenannte mathematische Basisfertigkeiten als wesentlich erwiesen (Krajewski & Schneider, 2006; Krajewski, Schneider & Nieding, 2008; vgl. auch Gaupp, Zoelch & Schumann-Hengsteler, 2004). Sowohl beim Erwerb wie auch für die spätere Durchführung von Rechenoperationen werden Speicher- und Verarbeitungsprozesse des Arbeitsgedächtnisses benötigt. Für die Lösung mentaler Additionsaufgaben scheinen phonologische und zentral-exekutive Arbeitsgedächtnisprozesse von Bedeutung zu sein und zwar sowohl bei Kindern wie bei Erwachsenen (Adams & Hitch, 1997; Bull, Johnston & Roy, 1999; De Rammelaere et al., 2001; De Rammelaere & Vandierendonck, 2001; Lemaire et al., 1996; Logie et al., 1994; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2000, 2002). Für die Prädiktion schulbezogener mathematischer Kompetenzen im Kindergartenalter scheinen aber ge-

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

rade visuell-räumliche Arbeitsgedächtnisfunktionen geeignet zu sein (Simmons, Singleton & Horne, 2008). Diese werden auch beim Kopfrechnen von Erwachsenen, wenn auch recht selten, nachgewiesen (Heathcote, 1994).

Die Untersuchung von rechenschwachen Kindern und Erwachsenen bestätigt die Bedeutsamkeit verschiedener Arbeitsgedächtniskomponenten für das Rechnen. Gaupp (2003) und Schuchardt, Mähler und Hasselhorn (2008) finden übereinstimmend defizitäre Leistungen in visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgaben bei rechenschwachen Kindern. Neben diesen Defiziten im Bereich des visuell-räumlichen Notizblocks berichten McLean und Hitch (1999) in ihrer Studie auch defizitäre Leistungen bei zentral-exekutiven Teilprozessen, wie der Koordination von Abrufstrategien sowie der Steuerung des Zugriffs und des Bereithaltens von langzeitig abgelegter Information (vgl. auch Bull et al., 1999). Während eine Beeinträchtigung zentral-exekutiver Arbeitsgedächtnisprozesse bei Kindern mit Schwächen im Bereich der Mathematik als gesichert gilt (Wilson & Swanson, 2001; Geary, Hoard & Hamson, 1999; Kaufmann, 2002; Andersson, 2008), besteht Unklarheit hinsichtlich phonologischer Arbeitsgedächtnisprozesse bei rechenschwachen Kindern: Hitch und McAuley (1991) konnten bei den von ihnen untersuchten rechenschwachen Kindern eine unterdurchschnittliche Zahlenspanne nachweisen, Bull und Johnston (1997) fanden keine gravierenden Gedächtnisspannenprobleme bei Kindern mit niedrigen Mathematikleistungen. Da in diesen Studien Rechenschwäche sehr unterschiedlich definiert wurde und komorbide Beeinträchtigungen nicht immer kontrolliert wurden, sind die Befunde nur mit großer Vorsicht zu interpretieren (vgl. Mähler & Schuchardt, in diesem Band; Grube & Seitz-Stein, in diesem Band).

In Studien, die lese-rechtschreibschwache mit rechenschwachen Kindern und solchen, die in beiden Bereichen beeinträchtigt sind, kontrastieren, konnte gezeigt werden, dass Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung ein besonderes Defizit im phonologischen Subsystem aufweisen, Kinder mit Dyskalkulie besondere Leistungsdefizite in Bereichen des visuell-räumlichen Notizblocks zeigen und dass Kinder mit beiden Störungen in allen Bereichen des Arbeitsgedächtnisses beeinträchtigt sind (vgl. Hasselhorn, Mähler & Grube, 2008; Mähler & Schuchardt, in diesem Band). Diese Befunde machen die differenzielle Bedeutung von Teilfunktionen des Arbeitsgedächtnisses für den erfolgreichen Erwerb und die Anwendung unserer Kulturtechniken besonders deutlich.

1.4 Von der Idee zur Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder im Alter von 5 bis 12 Jahren (AGTB 5-12)

Mit dem Einzug des Arbeitsgedächtnismodells in die Entwicklungs- und Pädagogische Psychologie und dem Nachweis seiner Bedeutsamkeit für die Untersuchung kurzzeitiger Informationsverarbeitung im Kindesalter entstand Mitte der

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

1990er Jahre beim Abfassen eines Handwörterbuchbeitrages zum Arbeitsgedächtnis im Kontext der Pädagogischen Psychologie (Hasselhorn & Schumann-Hengsteler, 2001) die Idee, die Funktionstüchtigkeit der Teilkomponenten des Arbeitsgedächtnisses altersgemäß, differenziert und mit den üblichen testpsychologischen Gütemaßstäben messbar zu machen. Die Notwendigkeit eines solchen Vorgehens wurde auch von britischen Arbeitsgruppen erkannt. 2001 legten Pickering und Gathercole eine erste Testbatterie zur differenziellen Individualdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses für den englischen Sprachraum vor (Working Memory Test Battery for Children; WMTB-C). Dieses Papier- und Bleistift-Verfahren wurde für den Altersbereich von 5 bis 15 Jahren normiert und ist mittlerweile mit einigen Modifikationen auch computerbasiert erhältlich (Automated Working Memory Assessment; AWMA; Alloway, 2007).

Für die Entwicklung einer deutschsprachigen Arbeitsgedächtnistestbatterie haben unsere damals in Göttingen und Eichstätt ansässigen Arbeitsgruppen sich daraufhin an die Erprobung von Operationalisierungen der unterschiedlichen Arbeitsgedächtnisfunktionen gemacht. Eine große Herausforderung bestand dabei in einer altersgerechten Umsetzung: Diese sollte theoriegeleitet sein und gleichzeitig in hochstandardisierten und jedes einzelne Kind motivierenden Aufgabenstellungen bestehen. Die mit Erwachsenen und auch Schulkindern häufig noch durchführbaren Arbeitsgedächtnisaufgaben sind aufgrund ihrer Anforderungen mit Kindergartenkindern oft nicht mehr sinnvoll (z. B. Listening span oder Satzspanne sensu Daneman & Carpenter, 1980; Baddeley, Emslie & Nimmo-Smith, 1992). Bei der in der einschlägigen Forschung verbreiteten Satzspanne zum Beispiel ist die Arbeitsgedächtnisbelastung für das Verstehen, Bewerten und Ermitteln des letzten Wortes im Satz schon so hoch, dass die Speicherung und Wiedergabe der letzten Worte des Satzes in der vorgegebenen Reihenfolge für Kindergartenkinder nicht mehr zu bewältigen ist.

Aus den zahlreichen erprobten und stetig verbesserten Arbeitsgedächtnisaufgaben wurden schließlich zur Pilotierung der Arbeitsgedächtnistestbatterie diejenigen ausgewählt, die für Kinder im Altersbereich von fünf bis zwölf Jahren durchführbar waren und zusätzlich innerhalb jeder Altersgruppe geeignete differenzialdiagnostische Informationen lieferten. Die Umsetzung als computerbasiertes Verfahren schien aus vielerlei Gründen erstrebenswert, bedeutete aber auch einen enormen Entwicklungs- und Programmieraufwand. Für die Pilotierungsphase wurden 20 Subtests ausgewählt, die sich auf die Erfassung der drei Subsysteme mit ihren jeweiligen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses verteilten. Für die Messung der phonologischen Schleife waren dies die Ziffernspanne, die Wortspanne einsilbig, die Wortspanne dreisilbig, eine Kunstwortspanne, das Kunstwörternachsprechen, eine Rhythmusspanne und die Artikulationsrate. Für den visuell-räumlichen Skizzenblock wurden fünf Aufgabenformate berücksichtigt: Matrix-Spanne einfach, Matrix-Spanne komplex, Corsi Block-Spanne einfach, Corsi Block-Spanne komplex, Mentale Fusionierung. Zur Messung der zentralen Exekutive wurden insgesamt acht verschiedene Subtests genutzt: Zif-

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

fernspanne rückwärts, Farben rückwärts, Wortspanne rückwärts, Objektspanne, Go/NoGo-Aufgabe, Zählspanne, Hörspanne und Stroop-Aufgabe.

Aus testökonomischer Sicht und in Anbetracht der 20 Subtests wurde ein adaptives Verfahren gewählt, welches unabhängig vom Funktionsniveau der Kinder eine festgelegte Anzahl von Untersuchungsdurchgängen bei den Spannenaufgaben vorsieht (siehe unten). Die Instruktionen für die Bearbeitung der Testaufgaben wurden so gewählt, dass keine zu hohen Anforderungen an Sprachrezeption und -produktion entstanden. So wurde beispielsweise das klassische Aufgabenformat zur Erfassung der zentralen Exekutive über die Wiedergabe von Ziffern oder Worten in umgekehrter Reihenfolge als Grundlage für eine Aufgabe genommen, bei der Farben visuell präsentiert werden und diese dann in umgekehrter Reihenfolge auf einem Farbenkreis angezeigt werden sollen. Durch die visuelle Veranschaulichung kann das schwer zu verstehende Invertieren der Originalreihenfolge auch jüngeren Kindern vermittelt werden. Auf rein sprachlicher Ebene ist dies im Vorschulalter nur eingeschränkt möglich. Außerdem sollten die verwendeten Aufgaben der AGTB möglichst frei von besonderen kulturtechnischen und möglicherweise kulturspezifischen Anforderungen sein. Eine Vorversion der deutschen Arbeitsgedächtnistestbatterie wurde mit Kindern zwischen 4;5 und 13;5 Jahren erprobt. Aufgrund der Ergebnisse dieser Pilotierung und der zahlreichen Vorläuferstudien wurde die Endfassung der AGTB 5-12 erstellt. Dabei folgten wir zunächst dem Kriterium der Passung mit der Struktur des zugrunde gelegten Arbeitsgedächtnis-Modells und wählten Aufgaben mit starken und kontinuierlichen Alterseffekten aus. Die Endversion der AGTB 5-12 besteht aus zwölf Subtests. Mit der Reduktion auf diese zwölf Untertests ist eine sehr gute Durchführbarkeit – auch bei den jüngsten – sichergestellt. In der Endversion der AGTB 5-12 sind insgesamt vier phonologische, zwei visuell-räumliche und sechs zentral-exekutive Subtests enthalten.

Die AGTB 5-12 wurde an über 1.600 Kindern im Alter von 5;0 bis 12;11 Jahren normiert. Um eine möglichst hohe differenzialdiagnostische Güte zu erreichen, wurden zwischen 5;0 und 7;11 Jahren Halbjahresabstände für die Normen gewählt, zwischen 8;0 und 12;11 Jahren Ganzjahresabstände. Die testpsychologischen Gütekriterien sind für die Objektivität (aufgrund der komplett computergesteuerten Vorgabe und Auswertung) in einem Höchstmaß gegeben. Die Reliabilitätswerte sind für entwicklungspsychologische Testverfahren als überwiegend gut einzustufen (interne Konsistenzen zwischen .58 und .98 für fünf- bis achtjährige und .67 und .99 für neunjährige und ältere Kinder; Retestreliabilitäten zwischen .66 und .89). Die Konstruktvalidität ist über den empirischen Nachweis der Altersinvarianz der der AGTB 5-12 zugrunde gelegten dreiteiligen Arbeitsgedächtnisstruktur gegeben (vgl. auch Michalczyk, Zoelch & Hasselhorn, in diesem Band).

Durch die Verwendung eines adaptiven Algorithmus bei den verwendeten Spannenaufgaben wurde die Durchführungsökonomie optimiert: Traditionell werden

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.

Spannenaufgaben so bearbeitet, dass dargebotene Serien einer zunehmenden Anzahl von Items zu reproduzieren sind. Abgebrochen werden die Aufgaben, wenn eine vorher festgelegte Zahl von Fehlversuchen der korrekten Reproduktion erfolgte. Diese Darbietung hat den Nachteil, dass die Anzahl der zu bearbeitenden Serien umso größer ist, je besser die erfasste Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses ausfällt. Außerdem liegen nur verhältnismäßig wenige vorgegebene Serien an der Leistungsgrenze der Testperson. Um diese Nachteile zu überwinden, wurde ein adaptiver Algorithmus entwickelt, bei dem in Abhängigkeit vom Alter der zu untersuchenden Personen zunächst entweder eine Zweier-, Dreier- oder Vierer-Serie dargeboten wird. Die ersten beiden Aufgaben dienen dazu, relativ schnell einen Schwierigkeitsgrad zu erreichen, der dem Leistungspotenzial des jeweiligen Kindes entspricht. Bearbeitet das Kind die erste und die zweite Serie richtig, wird der Schwierigkeitsgrad um eine Stufe erhöht. Bei falscher Reproduktion wird die Aufgabenschwierigkeit entsprechend gesenkt. Ab der dritten Aufgabe wird jeweils der Schwierigkeitsgrad erst wieder verändert, wenn entweder zwei Itemserien hintereinander richtig (Einstellung der nächst höheren Schwierigkeitsstufe) oder aber falsch (Einstellung der nächst niedrigeren Schwierigkeitsstufe) bearbeitet wurden.

1.4.1 Subtests zur Erfassung des phonologischen Arbeitsgedächtnisses

Ziffernspanne: Mehrere Ziffern von 1 bis 9 werden im 1.5-Sekunden-Takt akustisch dargeboten. Die Aufgabe besteht aus der unmittelbaren Reproduktion der Ziffernserien. Die Testung erfolgt nach dem beschriebenen adaptiven Algorithmus. Mit der Ziffernspanne wird die Gesamtkapazität der phonologischen Schleife im Arbeitsgedächtnis geschätzt (Hasselhorn et al., 2000).

Wortspanne einsilbig: Bei dieser Wortspanne werden einsilbige Wörter akustisch dargeboten, die unmittelbar im Anschluss an die Präsentation in der vorgegebenen Reihenfolge reproduziert werden sollen. Die Taktung und der Algorithmus entsprechen der Ziffernspanne. Auch die Wortspanne dient der Erfassung der Gesamtkapazität der phonologischen Schleife.

Wortspanne dreisilbig: Analog zur Ziffernspanne und Wortspanne für einsilbige Wörter werden hier dreisilbige Wörter vorgegeben. Die Aufgabe besteht im unmittelbaren Reproduzieren der Reihenfolge der dreisilbigen Wörter. Die Taktung und der Algorithmus sind wiederum analog zu den bereits beschriebenen phonologischen Spannenaufgaben gestaltet. Mit der dreisilbigen Wortspanne wird auch die Kapazität der phonologischen Schleife erfasst, wobei die Dreisilbigkeit besondere Anforderungen an den artikulatorischen Kontrollprozess stellt. Der Unterschied zur einsilbigen Wortspanne hat sich bei spezifischen Lern- und Leistungsstörungen als besonders relevant erwiesen (Hasselhorn et al., 2000; Hasselhorn & Mähler, 2007).

Dieses Dokument ist nur für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf in keiner Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden.
Aus M. Hasselhorn & C. Zoelch: Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses (ISBN 9783840924521)
© 2012 Hogrefe Verlag, Göttingen.