

**Tabletgestützte Arbeitsgedächtniserfassung -
Konzeption, Validierung und Untersuchung der Eichstätter Messung des
Arbeitsgedächtnisses (EI-MAG)**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des
Doktorgrades der Philosophisch-Pädagogischen Fakultät
der
Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt

vorgelegt von

Eva Oesterlen

aus Eichstätt

2019

Referent: Prof. Dr. Katja Seitz-Stein

Korreferent: Prof. Dr. Joachim Thomas

Tag der Disputation: 23. September 2019

Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	Arbeitsgedächtnis Modellvorstellungen	2
3	Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses	3
4	Bedeutsamkeit des Arbeitsgedächtnisses für höhere kognitive Leistungen	6
5	Zielsetzungen der Arbeit.....	7
6	Konzeption einer tabletgestützten Applikation zur Arbeitsgedächtnismessung.....	8
6.1	Vorüberlegungen.....	8
6.2	Die Eichstätter Messung des Arbeitsgedächtnisses (EI-MAG).....	9
7	Validierung einer ersten App-Version (Publikation I)	15
8	Experimentelle Untersuchungen zum Antwortformat tabletgestützter phonologischer Spannungsaufgaben (Publikation II)	18
8.1	Experiment 1	20
8.2	Experiment 2.....	21
9	Weitere Untersuchungen (Publikation III und Publikation IV, in Vorbereitung)	22
10	Diskussion und Ausblick	27
	Literaturverzeichnis	32
	Autorenbeiträge.....	47

1 Einleitung

Touchscreen-Medien sind in der Lebenswelt von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen allgegenwärtig geworden. Wie die KIM-Studie 2018 zum Medienumgang von Kindern zwischen 6 und 13 Jahren (Feierabend, Rathgeb, & Reutter, 2019; Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2018b) zeigt, besitzen 89% der Familien ein Smartphone, 5% mehr als noch im Jahr 2016. Die Ausstattung mit Tablets ist mit 38% sogar um 10% seit 2016 gestiegen. Fast die Hälfte der 6- bis 13-Jährigen (42%) nutzt täglich ein Handy oder Smartphone, 26% verwenden mindestens einmal pro Woche ein Tablet. Für Jugendliche ist die Nutzungshäufigkeit sogar noch höher. Wie die JIM-Studie 2018 (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2018a) zeigt, nutzen 94% der 12- bis 19-Jährigen täglich ein Smartphone, 24% mehrmals pro Woche ein Tablet. Touchscreen-Geräte gehören damit zu den Medien mit der dynamischsten Entwicklung und haben im Alltag von Kindern und Jugendlichen einen festen Platz eingenommen. Vor diesem Hintergrund verwundert es kaum, dass sich auch die entwicklungspsychologische Forschung vermehrt mit den Chancen und Herausforderungen von Touch-Technologien beschäftigt. Dabei interessiert zum einen die Möglichkeit, Touch-Medien als Lernwerkzeuge zur Unterstützung sozialer, sprachlicher und kognitiver Entwicklungsprozesse zu nutzen (Chmiliar, 2017; Couse & Chen, 2010; Neumann, 2016). Zum anderen wurde auch ihr Potential zur validen und ökonomischen Erfassung kognitiv-entwicklungspsychologisch relevanter Daten erkannt (Frank, Sugarman, Horowitz, Lewis, & Yurovsky, 2015; Piatt, Coret, Choi, Volden, & Bisanz, 2016; Pitchford & Outhwaite, 2016; Semmelmann et al., 2016). Ebendieses Potential wird in der vorliegenden Arbeit über die Konzeption, Validierung und Untersuchung einer tabletgestützten Applikation zur Messung basaler Arbeitsgedächtnisfunktionen bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen untersucht.

2 Arbeitsgedächtnis Modellvorstellungen

Das Arbeitsgedächtnis stellt ein internes, kapazitätsbegrenzt kognitives System dar, das für die kurzfristige Speicherung und aktive Manipulation aktuell relevanter Information zuständig ist (Baddeley, 1986, 2000, 2003). Im ursprünglichen Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch (1974) wird zwischen zwei domänenspezifischen Sklavensystemen, der phonologischen Schleife und dem visuell-räumlichen Notizblock, und einer übergeordneten Kontroll- und Steuerinstanz, der zentralen Exekutive, unterschieden. Die phonologische Schleife ist für das kurzfristige Behalten und Verarbeiten von akustisch-verbalem Material zuständig. Sie wird in zwei Subkomponenten unterteilt: den phonetischen Speicher, der Information für maximal 2 Sekunden halten kann, und einen subvokalen Wiederholungsprozess (Rehearsal). Letzterer dient der Aufrechterhaltung von Information über die kritische Zwei-Sekunden-Grenze hinweg und ermöglicht die Rekodierung visueller Information. Der visuell-räumliche Notizblock ist für das kurzfristige Behalten und Manipulieren von visuellem bzw. räumlichem Material verantwortlich. Analog zur phonologischen Schleife wird seit 1995 auch für dieses System eine Unterteilung in zwei Subkomponenten angenommen (Logie, 1995). In einem eher statischen Speicher werden visuelle Informationen wie Farbe und Form gespeichert. Der räumlich-dynamische Wiederholungsprozess hält Bewegungsabläufe und räumliche Veränderungen bereit. Zudem wiederholt er Informationen aus dem visuellen Speicher durch eine Art mentalen Abschreibens und schützt sie vor dem Verblässen. Die zentrale Exekutive ist zuständig für die Aufmerksamkeitssteuerung, die Koordination der Subsysteme, die Steuerung von Abrufstrategien und die Manipulation von Information aus dem Langzeitgedächtnis (Baddeley, 1996). Im Jahr 2000 wurde das Modell durch eine weitere Komponente, den episodischen Puffer, erweitert (Baddeley, 2000). Dieser stellt ein kapazitätsbegrenzt, kurzfristiges Speichersystem dar, das Informationen aus den Subsystemen und dem Langzeitgedächtnis unter der Kontrolle der zentralen Exekutive in einen multimodalen Code integriert.

Neben Baddeleys Modell (1986, 2000) wurden in den vergangenen Jahren eine ganze Reihe alternativer Arbeitsgedächtniskonzeptionen vorgelegt (Cowan, 1988, 1995; Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999; Oberauer, Süß, Schulze, Wilhelm, & Wittmann, 2000; Oberauer, Süß, Wilhelm, & Wittmann, 2003; Shah & Miyake, 1996). Shah and Miyake (1996) gehen ähnlich wie Baddeley von einem modalitätsabhängigen System mit einer verbalen und visuell-räumlichen Komponente aus, trennen jedoch nicht explizit zwischen Speicherungs- und Manipulationskomponenten. Oberauer und Kollegen (2000, 2003) beschreiben Arbeitsgedächtnis anhand der beiden Dimensionen Inhalt und Funktion. Ähnlich wie Baddeley wird eine domänenspezifische Verarbeitung verbaler und numerischer sowie räumlich-figuraler Inhalte angenommen. Als Funktionen werden Speicherung und Transformation, Supervision und Koordination unterschieden. Nach Cowan (1988, 1995) sowie Engle und Kollegen (1999) kann Arbeitsgedächtnis vorrangig über die Verteilung von exekutiven Aufmerksamkeitsprozessen (focus of attention bzw. controlled attention) definiert werden. Analog zur zentralen Exekutive in Baddeleys Modell wird also eine zentrale Kontrollkomponente postuliert. Jedoch wird Arbeitsgedächtnis in diesen Konzeptionen als einheitlicheres System verstanden. Kurzzeitspeicher werden zwar nicht abgelehnt, allerdings als separate Konstrukte angenommen. Prominente Modelle unterscheiden sich also darin, ob Arbeitsgedächtnis als Mehrkomponentenkonstrukt oder einheitliches System betrachtet wird, welche Rolle domänenspezifischen Komponenten zukommt und in welchem Ausmaß Speicherungs- und Manipulationskomponenten (bzw. Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis) differenziert werden.

3 Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses

Obwohl die spezifische Struktur und Funktionsweise des Arbeitsgedächtnisses noch immer diskutiert werden, konnte die Annahme einer Mehrkomponentenstruktur von Arbeitsgedächtnisfunktionen in diversen Studien sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen

gestützt werden (Alloway, Gathercole, & Pickering, 2006; Buehner, Mangels, Krumm, & Ziegler, 2005; Ferreira, Almeida, & Prieto, 2011; Giofrè, Mammarella, & Cornoldi, 2013; Gray et al., 2017; Michalczyk, Malstädt, Worgt, Könen, & Hasselhorn, 2013).

Die funktionale Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nimmt dabei von der frühen Kindheit bis ins Jugendalter zu (Gathercole, 1999), bevor sie im jungen Erwachsenenalter ihren Höhepunkt erreicht (Alloway & Alloway, 2013). Gemessen werden diese Kapazitätswüchse häufig über sogenannte Spannenaufgaben: Hierbei werden Itemserien vorgegeben, die vom Probanden erinnert und unmittelbar im Anschluss an die Präsentation in der richtigen Reihenfolge reproduziert werden müssen. Bei korrekter Wiedergabe wird die nächste Serie um ein Item verlängert. Die längste Serie, die gerade noch korrekt reproduziert wird, stellt die individuelle Gedächtnisspanne dar. Sie dient als Schätzer der maximalen Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses (Seitz-Stein et al., 2012). Es wird zwischen einfachen und komplexen Spannenmaßen unterschieden. Einfache Spannenaufgaben verlangen lediglich die Speicherung der vorgegebenen Information. Nach Baddeleys (1986) Modellvorstellung erfassen sie damit die Funktionstüchtigkeit der phonologischen Schleife bzw. des visuell-räumlichen Notizblocks. Komplexe Spannen erfordern neben der Speicherung eine zusätzliche Manipulation der Information (z.B. durch Rückwärts-Wiedergabe oder Bearbeitung einer Zweitaufgabe). Sie dienen folglich der Messung zentral-exekutiver Arbeitsgedächtnisfunktionen (vgl. Publikation I, S. 84).

Für phonologische Arbeitsgedächtnisfunktionen finden sich in der frühen und mittleren Kindheit die größten Leistungszuwüchse (Gathercole & Baddeley, 1993; Henry & Millar, 1991). So berichtet Gathercole (1998) Spannen von zwei bis drei Items im Alter von 4 Jahren und Spannen von ca. sechs Items im Alter von 12 Jahren (siehe auch Dempster, 1981; Michalczyk et al., 2013). Eine automatische Aktivierung des subvokalen Rehearsalprozesses ab etwa 7 Jahren (Gathercole & Hitch, 1994; Jarrold & Tam, 2011) und damit eng verbunden eine zunehmend flexiblere Rekodierfähigkeit (Henry, Messer, Luger-Klein, & Crane, 2012;

Palmer, 2000; Schumann-Hengsteler, 1995; Tam, Jarrold, Baddeley, & Sabatos-DeVito, 2010) sind für diese entwicklungsbedingten Veränderungen in der phonologischen Schleife mit verantwortlich. Ebenso werden eine steigende Artikulationsrate (Henry & Millar, 1991; Hulme & Tordoff, 1989), zunehmend effizienterer Strategiegebrauch und erweitertes Vorwissen (Gathercole & Adams, 1993; Kail & Park, 1994; Roodenrys, Hulme, & Brown, 1993) als Erklärungsfaktoren diskutiert (vgl. Publikation II, S. 394). Ab dem Jugendalter werden Spannenwerte in etwa auf dem Niveau junger Erwachsener erreicht (Dempster, 1981; Schneider, Knopf, & Sodian, 2009).

Auch für den visuell-räumlichen Notizblock lässt sich eine entwicklungsbedingte Zunahme der Funktionstüchtigkeit über die Kindheit beobachten (Gathercole, 1998, 1999; Isaacs & Vargha-Khadem, 1989). Die Entwicklungsverläufe zwischen 5 und 12 Jahren fallen dabei für den eher passiven visuellen Speicher steiler aus als für die räumlich-dynamische Komponente (Logie & Pearson, 1997). Die höchsten visuell-räumlichen Leistungen werden im frühen Erwachsenenalter erreicht (Alloway & Alloway, 2013; Brockmole & Logie, 2013).

Zentral-exekutive Arbeitsgedächtnisprozesse umfassen eine ganze Reihe unterschiedlicher, wenn auch verwandter Subfunktionen (Baddeley, 1996; Diamond, 2013; Lehto, Juujärvi, Kooistra, & Pulkkinen, 2003; Miyake et al., 2000), die differenzielle Entwicklungsverläufe aufweisen (Zoelch, Seitz, & Schumann-Hengsteler, 2005). Insgesamt scheinen sich zentral-exekutive Funktionen im Vergleich zu einfachen Speicherfunktionen jedoch langsamer zu entwickeln und zeigen eine Zunahme im Funktionsniveau von der Kindheit über das Jugendalter und teilweise bis ins junge Erwachsenenalter (Davidson, Amso, Anderson, & Diamond, 2006; Diamond, 2013; Irwin-Chase & Burns, 2000; Olesen, Macoveanu, Tegnér, & Klingberg, 2007; Schleepen & Jonkman, 2010). Leistungszuwächse in der zentralen Exekutive werden insbesondere auf Verbesserungen in genereller Verarbeitungseffizienz und Aufmerksamkeitskontrolle zurückgeführt (Gathercole, 1999).

4 Bedeutsamkeit des Arbeitsgedächtnisses für höhere kognitive Leistungen

Unabhängig von der zugrundeliegenden Modellvorstellung gilt die Bedeutsamkeit des Arbeitsgedächtnisses für höhere Denk- und Lernprozesse als unbestritten (Alloway & Alloway, 2010; Dehn, 2008; Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, & Schulze, 2002; Swanson & Alloway, 2012). Zahlreiche Studien zeigen substantielle Zusammenhänge zwischen der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses und so vielfältigen Bereichen wie Intelligenz (Ackerman, Beier, & Boyle, 2005; Giofrè et al., 2013; Jastrzębski, Ciechanowska, & Chuderski, 2018; Kuhn, 2016), Sprachverständnis (Daneman & Merikle, 1996) und Schulleistung (Alloway & Alloway, 2010; Dehn, 2008; Lechuga, Pelegrina, Pelaez, Martin-Puga, & Justicia, 2016). Insbesondere beim Erwerb und beim Anwenden elementarer Kulturtechniken hat sich die individuelle Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisse als zentrale Determinante erwiesen (Seigneuric, Ehrlich, Oakhill, & Yuill, 2000; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2000; Vanderberg & Swanson, 2007). Lernschwächen und -störungen im Lesen, Schreiben und Rechnen sind mit Defiziten im Arbeitsgedächtnis assoziiert (Lesen/Schreiben: Fischbach, Könen, Rietz, & Hasselhorn, 2014; Kibby, Marks, Morgan, & Long, 2004; Rechnen: Kleszczewski et al., 2015; Passolunghi, 2011; Lesen/Schreiben und Rechnen: Peng & Fuchs, 2016; Schuchardt, Kunze, Grube, & Hasselhorn, 2006; Weerdt, Desoete, & Roeyers, 2013). Ebenso gehen klinisch relevante Auffälligkeiten wie AD(H)S (Maehler & Schuchardt, 2016), Autismus (Englund, Decker, Allen, & Roberts, 2014; Wang et al., 2017), Down Syndrom (Lanfranchi, Baddeley, Gathercole, & Vianello, 2012), Intelligenzminderung (van der Molen, van Luit, Jongmans, & van der Molen, 2007) und spezifische Sprachentwicklungsstörungen (Vugs, Knoors, Cuperus, Hendriks, & Verhoeven, 2016) mit Funktionsbeeinträchtigungen des Arbeitsgedächtnisses einher. Etwaige Defizite müssen frühzeitig erkannt und Kinder mit entsprechendem Förderbedarf identifiziert werden, um einem Kumulieren kognitiver Defizite gegenzusteuern. Daher besteht ein hoher Bedarf an standardisierten Messverfahren zur validen Erfassung basaler Arbeitsgedächtnisfunktionen.

5 Zielsetzungen der Arbeit

Trotz der besonderen Notwendigkeit mangelte es im deutschen Sprachraum bislang an einem forschungs- und praxistauglichen Messinstrument zur Arbeitsgedächtniserfassung. Zwar liegt mit der Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren (AGTB 5-12; Hasselhorn et al., 2012) ein umfassendes und standardisiertes Instrument vor, das sich im Rahmen der Individualdiagnostik bewährt hat; als versuchsleitergesteuertes und computerisiertes Einzeltestverfahren ist es jedoch mit einem hohen Kosten- und Zeitaufwand verbunden. Es eignet sich damit nur bedingt für größer angelegte Studien und ökologisch valide Untersuchungen im Schulkontext. Aus diesem Notstand heraus und vor dem Hintergrund der neuen Möglichkeiten, die sich mit der stetig wachsenden Ausbreitung und Weiterentwicklung von Touch-Technologien ergeben, entwickelte sich die Idee für das vorliegende Dissertationsvorhaben. Vier übergeordnete Zielsetzungen wurden verfolgt:

- 1) Die theoriegeleitete Konzeption eines standardisierten, tabletgestützten und ökonomischen Arbeitsgedächtnis-Messinstruments für den deutschen Sprachraum
- 2) Die Validierung einer ersten App-Version (Publikation I)
- 3) Experimentelle Untersuchungen zum Antwortformat tabletgestützter phonologischer Spannaufgaben (Publikation II)
- 4) Weitere Untersuchungen (Publikation III und Publikation IV, in Vorbereitung)

6 Konzeption einer tabletgestützten Applikation zur Arbeitsgedächtnismessung

6.1 Vorüberlegungen

Um die Lücke an einem ökonomischen, deutschsprachigen Arbeitsgedächtnisverfahren zu schließen, sollte im Rahmen der vorliegenden Dissertation ein standardisiertes und gruppentestgeeignetes Verfahren zur differenziellen und altersgemäßen Erfassung basaler Arbeitsgedächtnisfunktionen bei deutschsprachigen Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen konzipiert werden, das für Forschung und Praxis Potential bietet. Im Vergleich zu bisherigen Verfahren soll Arbeitsgedächtnismessung nicht länger in der Eins-zu-Eins Situation stattfinden, sondern ressourcensparend im Gruppensetting. Damit ist Arbeitsgedächtnismessung besser in den schulischen Alltag integrierbar und ermöglicht eine ökologisch validere Erfassung basaler Arbeitsgedächtnisfunktionen. Durch die Entsprechung von Erhebungs- und Alltagskontext, in der Arbeitsgedächtnisfunktionen tagtäglich gefordert sind, kann der prädiktive Wert der erfassten Arbeitsgedächtnismaße erhöht werden. Gleichzeitig können durch die reduzierte Interaktion zwischen Versuchsleiter und Proband in der Gruppensituation Versuchsleitereffekte minimiert werden.

Vor dem Hintergrund dieser grundlegenden Zielsetzungen sollten bei der Konzeption des neuen Messinstruments folgende Aspekte berücksichtigt werden: Die Zusammenstellung der Arbeitsgedächtnisaufgaben sollte theoriegeleitet und unter Rückgriff auf bewährte Aufgabentypen erfolgen (vgl. Publikation I, S. 84 für Beschreibung einfacher und komplexer Spannaufgaben). Orientiert am Baddeleyschen Arbeitsgedächtnismodell (1986), das sich in der entwicklungs- und pädagogisch-psychologischen Forschung als fruchtbare Basis erwiesen hat, sollten sowohl phonologische als auch visuell-räumliche und zentral-exekutive Arbeitsgedächtnisaufgaben zusammengestellt werden. Darüber hinaus sollte unabhängig von einer spezifischen Arbeitsgedächtniskonzeption im Sinne einer modellübergreifenden Annahme von Speicher- und Manipulationskomponenten in distinkten inhaltlichen Domänen (Alloway et al., 2006; Buehner et al., 2005; Ferreira et al., 2011; Oberauer et al., 2003; Shah

& Miyake, 1996) darauf geachtet werden, Aufgaben mit unterschiedlichem Anforderungsgehalt (reine Speicheraufgaben, Speicheraufgaben mit einer zusätzlichen Manipulationskomponente sowie Speicheraufgaben mit einer Interferenzkomponente; vgl. auch Zoelch et al., 2005) und unterschiedlichem Material (phonologisch-numerisch, phonologisch-verbal, visuell-räumlich) einzubinden.

Weiter sollte mit dem neu entwickelten Verfahren die Erfassung des Arbeitsgedächtnisses über eine relativ breite Altersspanne hinweg ermöglicht werden. Dazu sollten die Aufgaben grundsätzlich so gestaltet sein, dass sie bereits von Vor- und Grundschulkindern bearbeitet werden können, gleichzeitig aber auch im oberen Leistungsbereich noch gut differenzieren.

Da das Medium Tablet den Ansprüchen nach Ökonomie, ökologischer Validität und altersgemäßer Erfassung durch seine flexible Einsetzbarkeit in Feld- und Laborsituationen und seinen motivationalen Charakter (Couse & Chen, 2010; Frank et al., 2015; Semmelmann et al., 2016) in besonderer Weise gerecht zu werden schien, sollte das neue Arbeitsgedächtnis-Messinstrument schließlich als Applikation für Tablets konzipiert werden (vgl. Publikation I, S. 84 für weitere Vorteile von Tablets).

6.2 Die Eichstätter Messung des Arbeitsgedächtnisses (EI-MAG)

Über mehrere Entwicklungsphasen¹ ist dabei die Eichstätter Messung des Arbeitsgedächtnisses (EI-MAG; Oesterlen, Gade, & Seitz-Stein, 2016), eine Android Applikation für Tablet-PCs, entstanden. Alle Aufgaben sind weitgehend automatisiert und nach einer allgemeinen, standardisierten Instruktion durch den Versuchsleiter selbstgesteuert durch den Probanden durchführbar. Aufgabenspezifische Anleitungen liegen als Audio-Files vor und werden über Kopfhörer gegeben. Um die Anforderungen an Sprache und Gedächtnis

¹ Entwicklungsphase 1 (Vorversion bestehend aus drei Aufgaben, vgl. Publikation I): 2015-2016.
Entwicklungsphase 2 (EI-MAG, vgl. vorliegende Ausführungen sowie Publikation II): 2016-2017.

so gering wie möglich zu halten, werden die Anleitungen in kindgerechter Sprache und kleinschrittig formuliert sowie mit animierten Bildern der Aufgabe veranschaulicht. Zudem leiten Piktogramme, die in allen Subtests wiederkehren, durch die App: Eine grüne Ampel beispielsweise steht für den Beginn einer neuen Aufgabe, eine rote Ampel für das Ende. In ihrer jetzigen Form beinhaltet die App drei Vortests, elf Spannaufgaben zur Arbeitsgedächtnismessung sowie zwei visuelle Analogskalen.

Die Vortests „Zahlencode“, „Farbcode“ und „Schatzsuche“ sind optional durchführbar und können den eigentlichen Arbeitsgedächtnis-Subtests vorausgeschaltet werden. Sie dienen der Prüfung grundlegender probandenbezogener sowie technischer Voraussetzungen.

Mit dem Vortest „Zahlencode“ wird gewährleistet, dass alle Probanden zeitgleich mit der Aufgabenbearbeitung beginnen. Damit können die Probanden das Tablet erst entsperren, d.h. die App erst starten, nachdem sie vom Versuchsleiter instruiert wurden, zweimal schnell hintereinander auf den voreingestellten schwarzen Bildschirm zu tippen und einen vierstelligen Zahlencode in einem Ziffernblock einzugeben.

Im anschließenden Vortest „Farbcode“ sollen die Probanden zwei distinkte Farben, die auditiv über Kopfhörer vorgegeben werden, in einer 3x3 Farbmatrix antippen. Dies stellt sicher, dass die notwendigen motorischen Fähigkeiten für die Bearbeitung der eigentlichen Arbeitsgedächtnisaufgaben gegeben sind. Die Probanden haben hier außerdem die Möglichkeit, die Lautstärke über einen Regler auf dem Touch-Display individuell einzustellen. Der Vortest „Farbcode“ dient damit gleichzeitig als Audiotest (vgl. Publikation I, S. 86).

Über den Vortest „Schatzsuche“, der als einfache Reaktionszeitaufgabe konzipiert ist, können grundlegende visuomotorische Fähigkeiten erfasst und ggf. kontrolliert werden. Es werden 20 Kreise in einem 8x5 Grid präsentiert. Nacheinander verwandelt sich jeweils ein Kreis in eine Goldmünze (insgesamt acht Trials). Aufgabe der Probanden ist es, die Goldmünze schnellstmöglich anzutippen. Die Goldmünze muss solange angetippt bleiben, bis sich der nächste Kreis in eine Goldmünze verwandelt.

Im Anschluss an die Vortests findet die eigentliche Arbeitsgedächtnismessung über einfache und komplexe Spannenaufgaben statt. Die elf zur Verfügung stehenden Aufgaben sind in Abbildung 6.2-1 zugeordnet nach den verschiedenen Arbeitsgedächtniskomponenten im Baddeley-Modell (1986) bzw. modellunabhängig nach Anforderungsgehalt und Domäne dargestellt.

	Domäne		
Anforderung	phonologisch-verbal	phonologisch-numerisch	visuell-räumlich
	PHONOLOGISCHE SCHLEIFE		VISUELL-RÄUMLICHER NOTIZBLOCK
Speicher	Wortspanne einsilbig Wortspanne dreisilbig	Ziffernspanne	Matrix Formspanne Corsi Block
	ZENTRALE EXEKUTIVE		
Speicher und Manipulation	Wortspanne rückwärts	Ziffernspanne rückwärts	Formspanne rückwärts
Speicher und Interferenz	Zählspanne		Objektspanne

Abbildung 6.2-1. Zuordnung der EI-MAG Aufgaben nach Komponente im Baddeleyschen Arbeitsgedächtnismodell (1986) sowie modellübergreifend nach Anforderungsgehalt und Domäne (adaptiert nach Englund, Decker, Woodlief, & DiStefano, 2014).

Je nach Bedarf und Zielsetzung können beliebig viele Arbeitsgedächtnisaufgaben durchgeführt werden. Die Reihenfolge der Aufgabendarbietung ist dabei flexibel durch den Versuchsleiter wählbar; üblicherweise werden jedoch keine zwei Aufgaben aus demselben Teilbereich des Arbeitsgedächtnisses direkt hintereinander präsentiert.

Alle Aufgaben können zudem in einer Kurz- oder einer Langversion durchgeführt werden. Die Kurzversion besteht aus einer Übungs- und einer Testphase (vgl. Publikation II, S. 395 für Algorithmus der Kurzversion). In der Übungsphase müssen zwei aus vier Zweiersequenzen in Folge korrekt bearbeitet werden, um mit der Testphase beginnen zu können. Wird dieses Kriterium nicht erreicht, erscheint auf dem Tablet-Display ein Piktogramm, das dem Probanden anzeigt, sich zu melden. Da in diesem Fall von unzureichendem Instruktionsverständnis ausgegangen werden muss, erhält der Proband eine standardisierte Eins-zu-Eins-Nachinstruktion durch den Versuchsleiter. Wird die Übungsphase erfolgreich absolviert, erhält der Proband positives, standardisiertes Feedback über Kopfhörer und kann mit der Testphase beginnen. In dieser Testphase müssen zwei aus drei Serien derselben Spannenlänge korrekt reproduziert werden, um in den nächsthöheren Block aufzusteigen. Dieser ist durch Serien mit einer um ein Item erweiterten Spannenlänge gekennzeichnet. Sobald zwei aus drei Serien korrekt bearbeitet wurden, steigt der Proband in den nächsthöheren Block auf. Wenn der Proband also die ersten beiden Serien eines Blockes korrekt bearbeitet, wird die dritte Serie nicht mehr präsentiert, aber als korrekt gewertet. Wird die Aufstiegsregel nicht erfüllt, also weniger als zwei Serien einer Spannenlänge korrekt bearbeitet, wird die Aufgabe beendet (hartes Abbruchkriterium).

Die Langversion beinhaltet neben Übungs- und Testphase auch eine Kalibrierungsphase, die der schnellen Einstellung auf das individuelle Leistungsniveau des Probanden dient (vgl. Publikation I, S. 86 für Algorithmus der Langversion). Die Übungsphase ist identisch zur Übung der Kurzversion. Die darauffolgende Kalibrierung besteht aus maximal drei Blöcken mit Dreier- bis Fünfersequenzen, die entsprechend des Algorithmus der Testphase der

Kurzversion durchlaufen werden. Wird das Aufstiegskriterium nicht mehr erfüllt, beginnt die Testphase mit der um ein Item verminderten Spannenlänge, die in der Kalibrierung korrekt bearbeitet wurde (min = Zweiersequenz, max = Vierersequenz). In der Testphase der Langversion müssen drei aus fünf Serien derselben Spannenlänge korrekt bearbeitet werden, um in den nächsthöheren Block aufzusteigen (Spannenlänge + ein Item). Auch hier werden Serien übersprungen und als korrekt gewertet, sobald die Aufstiegsregel erfüllt ist. Analog zur Kurzversion wird auch hier ein hartes Abbruchkriterium realisiert, um Frustration durch Überforderung mit langen Spannen bei niedriger Arbeitsgedächtnisleistung zu verhindern.

Der Ablauf der einzelnen Serien ist in beiden Versionen identisch: Über eine kurze Initialisierungsphase wird die Aufmerksamkeit für die neue Serie hergestellt (durch Fixationskreuz oder auditives Signal). In der darauffolgenden Lernphase werden die zu erinnernden Items entweder visuell oder auditiv dargeboten. Danach erfolgt die Aufforderung zum Abruf (Rauschen-Bild oder auditives Signal) und die eigentliche Abrufphase, in der das Eintippen der Antwort innerhalb von maximal 20 Sekunden erfolgen muss, bevor die nächste Serie präsentiert wird.

Für alle Aufgaben liegen Zweier- bis Achter- (Matrix, Zählspanne) bzw. Neunersequenzen (restliche neun Aufgaben) vor, um ein breites Leistungsspektrum abdecken zu können. Die Generierung der Sequenzen erfolgte nach subtestspezifisch festgelegten Kriterien. Die für die Aufgaben benötigten Stimuli wurden – wenn sprachbasiert – der Lebenswelt von Kindern entnommen (vgl. Publikation I, S. 87).

Nach der Bearbeitung der Arbeitsgedächtnisaufgaben können optional zwei visuelle Analogskalen zur Erfassung von Spaß bei der Bearbeitung der Aufgaben und Touchscreen-Erfahrung durchgeführt werden. Über Verschieben eines Reglers in Richtung eines lachenden (viel Spaß) bzw. eines traurigen (wenig Spaß) Smileys geben die Probanden an, wie viel Freude ihnen das Bearbeiten der Aufgaben gemacht hat. Analog wird die Erfahrung im Umgang mit Touch-Technologien (Tablet, Smartphone) erfasst, indem ein Regler in Richtung eines Plus-

(viel Erfahrung) bzw. Minuszeichens (wenig Erfahrung) verschoben wird.

Das Ende der Testung wird durch das Erscheinen eines Pokals in der Mitte des Touch-Displays angezeigt. Die Probanden erhalten über hinterlegte Audiofiles positive standardisierte Rückmeldung und werden aufgefordert, ihr Tablet umzudrehen und ihre Kopfhörer abzunehmen. Sie signalisieren so dem Versuchsleiter, dass sie fertig sind.

Die Ergebnisse werden automatisch durch das Programm aufgezeichnet. Neben allgemeinen Daten (z.B. Uhrzeit Beginn, Uhrzeit Ende, Pausenanzahl, Pausendauer) beinhalten die Ergebnisfiles für jede Aufgabe Werte auf Itemebene (z.B. tatsächliche Reaktion, Reaktionszeit für Item, Korrektheit des Items) als auch aggregierte Maße (z.B. diverse Spannenmaßen, Gesamtzahl korrekter Serien).

Alle in der Applikation verwendeten Bilddateien wurden als schwarz-weiße Strichzeichnungen per Hand angefertigt und mittels des Bildbearbeitungsprogramms GIMP 2.8.14 (Gnu Image Manipulation Program; The GIMP Team, 2014) bearbeitet. Die subtestübergreifenden Piktogramme wurden in Microsoft PowerPoint über Standardformen erstellt oder über colourbox.com (Colourbox GmbH, 2017) bezogen und modifiziert.

Alle Audiofiles (Subtest Instruktionen, Feedback nach Übung, Analogskalen, Testende), wurden durch die Autorin selbst eingesprochen und über das Programm Audacity R (Version 2.1.0; Audacity Team, 2014) bearbeitet.

7 Validierung einer ersten App-Version (Publikation I)

Tablet-based working memory assessment in children and adolescents

Eva Oesterlen, Markus Eichner, Miriam Gade & Katja Seitz-Stein

Abstract

Working memory (WM) is a key determinant of academic success. Therefore, standardized tools for measuring WM are of critical importance. So far, WM tests in the German-speaking context require one-to-one instruction, making WM assessment time- and resource-consuming. To ease assessment of WM, a tablet-based, group administrable application for German-speaking children and adolescents was developed. The aim of the current study was to investigate the applicability, reliability, and validity of the word span, Corsi block, and word span backward tasks of the newly designed application for use with primary and secondary school children. The results indicated good internal consistency and satisfactory test-retest reliability for all three tasks. In addition, the results provide some indication of content and concurrent validity. We conclude that the application is a promising tool for the assessment of WM and has the potential for resource-saving collection of developmental data in large-scale studies.

Keywords: working memory, assessment, tablet, computerized, group-setting

Veröffentlicht als:

Oesterlen, E., Eichner M., Gade, M., & Seitz-Stein, K. (2018). Tablet-based working memory assessment in children and adolescents. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 50(2), 83-96. © 2018 by Hogrefe Verlag
<https://doi.org/10.1026/0049-8637/a000189>

Nach einer ersten Entwicklungsphase wurden die tabletgestützten Arbeitsgedächtnisaufgaben hinsichtlich ihrer testpsychologischen Güte in verschiedenen Altersgruppen geprüft. Dazu wurden in Studie I (vgl. Publikation I) die Aufgaben Wortspanne einsilbig, Corsi Block und Wortspanne rückwärts mit einer Stichprobe von $N = 594$ Kindern und Jugendlichen ($M_{Alter} = 11.7$ Jahre, $SD_{Alter} = 2.9$ Jahre; 299 weiblich) im Gruppensetting durchgeführt. Die Reliabilitätsprüfung erfolgte zum einen über die Ermittlung der internen Konsistenz der Aufgaben (Cronbachs α), zum anderen über die Untersuchung von Test-Retest-Reliabilitätswerten. Für letztere wurden einer Teilstichprobe ($n = 391$) die Aufgaben ein zweites Mal nach einem Intervall von ca. 4 Wochen vorgelegt. Zur Einschätzung der inhaltlichen Validität der Applikation wurden Altersverläufe betrachtet. Es wurde erwartet, dass altersbedingte Leistungszuwächse, wie sie in der Literatur berichtet werden (Alloway et al., 2006; Alloway & Alloway, 2010; Gathercole, 1998; van de Weijer-Bergsma, Kroesbergen, Jolani, & van Luit, 2016; van de Weijer-Bergsma, Kroesbergen, Prast, & van Luit, 2015), auch mit den tabletgestützten Aufgaben abgebildet werden können. Die Kriteriumsvalidität (konkurrent) wurde an einer weiteren Teilstichprobe ($n = 267$) über Zusammenhänge zwischen der Leistung in verschiedenen Arbeitsgedächtniskomponenten und Lese- und Rechtschreibfähigkeiten geprüft. In Einklang mit früheren Befunden (Fischbach et al., 2014; Kibby et al., 2004; Maehler & Schuchardt, 2016; Schuchardt et al., 2006; Wang & Gathercole, 2013) wurden bedeutsame Korrelationen mit phonologischen und zentral-exekutiven Arbeitsgedächtnisfunktionen erwartet, jedoch keine bzw. geringere Zusammenhänge mit visuell-räumlichen Funktionen. Die Ergebnisse der Studie sprechen für die Durchführbarkeit von tabletgestützten Arbeitsgedächtnisaufgaben im Gruppensetting bereits ab dem Grundschulalter. Nur acht Teilnehmer (1.2%) konnten die Aufgaben selbst nach einer individuellen Nachinstruktion durch den Versuchsleiter nicht erfolgreich bearbeiten. Die Objektivität ist durch die automatisierte Durchführung und Auswertung als erfüllt zu sehen. Für alle drei Aufgaben wurden gute interne Konsistenzen sowohl für die Gesamtgruppe (alle

Cronbachs $\alpha > .88$) als auch getrennt nach Altersgruppe (alle Cronbachs $\alpha > .84$) gefunden. Die ermittelten Test-Retest-Reliabilitätswerte zwischen .68 und .76 für die Gesamtgruppe bzw. zwischen .48 und .73 für die einzelnen Altersgruppen sind für entwicklungspsychologische Verfahren als zufriedenstellend zu bewerten (vgl. Publikation I, S. 91). Die mittels der App aufgedeckten Altersverläufe in den Aufgaben Wortspanne einsilbig, Corsi Block und Wortspanne rückwärts sind vergleichbar mit den in der Literatur berichteten altersabhängigen Leistungszuwächsen und weisen auf die inhaltliche Validität der Tablet-Aufgaben hin. Die Studie liefert außerdem erste Hinweise für eine kriteriumsvalide Erfassung basaler Arbeitsgedächtnisfunktionen mittels der für das Medium Tablet entwickelten Spannenaufgaben. Wie erwartet finden sich bedeutsame Zusammenhänge zwischen Lese- und Rechtschreibfähigkeiten und phonologischen sowie zentral-exekutiven, nicht aber visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisfunktionen. Die Zusammenhänge fallen allerdings etwas geringer aus als die in der Literatur berichteten (Goff, Pratt, & Ong, 2005; Hasselhorn et al., 2012; St Clair-Thompson, 2013). Neben anderen Faktoren (vgl. Publikation I, S. 91 f.) könnte das Antwortformat in den phonologischen Tablet-Spannenaufgaben mit verantwortlich für die schwächeren Zusammenhänge sein. Im Gegensatz zu klassischen phonologischen Spannenaufgaben mit verbalem Antwortformat wurde in den tabletgestützten Aufgaben ein visuomotorisches Antwortformat realisiert, um die Durchführbarkeit im Gruppensetting zu ermöglichen. Die Wiedergabe erfolgt hier also nicht verbal, sondern durch Antippen entsprechender Bilder auf dem Touch-Display. Es ist daher vorstellbar, dass tabletgestützte phonologische Aufgaben neben phonologischen Funktionen weitere Prozesse abbilden. Aus diesem Grund wurden in einer zweiten Studie Effekte des Antwortformats bei der automatisierten Messung phonologischer Arbeitsgedächtnisfunktionen näher untersucht.

8 Experimentelle Untersuchungen zum Antwortformat tabletgestützter phonologischer Spannaufgaben (Publikation II)

Phonological span in children and adults: Does response format matter?

Eva Oesterlen & Katja Seitz-Stein

Abstract

In contrast to classical phonological span tasks which require verbal recall, those used in self-reliant, group-administrable working memory measurement contain a visuospatial response format. As a consequence, these tasks involve recoding, executive, and visual search requirements in addition to encoding and storage processes. To examine age-dependent effects of these special requirements, tablet-based word and digit span tasks with a visuospatial response format were compared to corresponding tasks with a verbal response format in first and second graders, third and fourth graders, and adults ($N = 105$). Whereas children's performance was impaired by the visuospatial response format, adults' performance was not. Whether the arrangement of stimuli in the visuospatial response format - either variable or fixed - has differential effects on performance in children and adults ($N = 434$), was examined in a second experiment. No substantial differences between variable and fixed response format were found in any of the age groups. Possible underlying mechanisms for age-dependent effects of response format, and the role of executive functions and visual search in automatized phonological span tasks are discussed.

Keywords: working memory, assessment, tablet, response format, development, touch technology

Veröffentlicht als:

Oesterlen, E., & Seitz-Stein, K. (2019). Phonological span in children and adults: Does response format matter? *International Journal of Behavioral Development*, 43(5), 393-402. © The Author(s) 2019 <https://doi.org/10.1177/0165025419840709>

Automatisierte phonologische Spannungsaufgaben mit visuomotorischem Antwortformat sind bereits mehrfach im Einsatz (St Clair-Thompson, 2013; van de Weijer-Bergsma et al., 2016). Potentielle Auswirkungen eines solchen Antwortformats auf die erfasste Arbeitsgedächtnisleistung wurden bislang jedoch nicht systematisch untersucht. Auf der Ebene kognitiver Prozesse zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen dem klassischen verbalen und dem neueren visuomotorischen Antwortformat. Neben der Enkodierung, Aufrechterhaltung (über Rehearsal) und dem Abruf von Information sind unter visuomotorischem Antwortformat weitere Verarbeitungsprozesse gefordert (Rekodierung, visuelle Suche und exekutive Funktionen wie Shifting und Inhibition). Für all diese Teilanforderungen sind entwicklungsbedingte Leistungsverbesserungen gut belegt (z.B. Rehearsal/Rekodieren: Dempster, 1981; Gathercole & Hitch, 1994; Gathercole, 1998; Jarrold & Tam, 2011; Michalczyk et al., 2013; Palmer, 2000; Schumann-Hengsteler, 1995; Tam et al., 2010; exekutive Funktionen: Davidson et al., 2006; Diamond, 2013; Irwin-Chase & Burns, 2000; Olesen et al., 2007; Schleepen & Jonkman, 2010; visuelle Suche: Brennan, Bruderer, Liu-Ambrose, Handy, & Enns, 2017; Hommel, Li, & Li, 2004; Trick & Enns, 1998). Vor diesem Hintergrund und ausgehend von einem kapazitätsbegrenzten Arbeitsgedächtnissystem (Baddeley, 1986; Cowan, 2010; Fougny & Marois, 2011) stellt sich die Frage, inwieweit die im visuomotorischen Antwortformat geforderten Teilprozesse um gemeinsame Ressourcen konkurrieren und ob etwaige Interferenzeffekte in Abhängigkeit des Alters variieren (Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004; Klingberg, 1998; Vergauwe, Barrouillet, & Camos,

2010). Diese Überlegungen stellen den Ausgangspunkt für Studie II (vgl. Publikation II) dar.

8.1 Experiment 1

In einem ersten Experiment wurden über einen direkten Vergleich von visuomotorischem und verbalem Antwortformat altersabhängige Unterschiede in der erfassten Arbeitsgedächtnisleistung untersucht. Es wurde angenommen, dass Kinder unter visuomotorischem Format niedrigere Leistungen zeigen als unter verbalem Format. Da die geforderten Teilprozesse noch nicht vollständig entwickelt sind, so die Annahme, werden noch mehr Ressourcen für deren Ausführung benötigt (Hasher & Zacks, 1979), die in der Folge für die eigentliche Aufrechterhaltung der Information fehlen. Für Erwachsene, für die eine automatisierte und effizientere Ausführung der Teilprozesse angenommen werden kann, wurden weniger ausgeprägte bzw. keine Leistungsunterschiede in Abhängigkeit des Antwortformats erwartet. Untersucht wurden $n = 45$ Erst- und Zweitklässler ($M_{Alter} = 7.6$ Jahre, $SD_{Alter} = 0.6$ Jahre; 19 weiblich), $n = 41$ Dritt- und Viertklässler ($M_{Alter} = 9.5$ Jahre, $SD_{Alter} = 0.6$ Jahre; 14 weiblich) sowie $n = 30$ Erwachsene ($M_{Alter} = 22.5$, $SD_{Alter} = 3.2$; 27 weiblich). Die Teilnehmenden bearbeiteten jeweils eine Wortspannen- und Ziffernspannen-Aufgabe aus EI-MAG mit visuomotorischem Antwortformat sowie entsprechende Aufgaben der AGTB 5-12 (Hasselhorn et al., 2012) mit verbalem Antwortformat. Neben den üblichen Alterseffekten erbrachte die statistische Auswertung die erwartete Interaktion zwischen Altersgruppe und Antwortformat. Darüber hinaus zeigte sich für beide Antwortformate und alle Altersgruppen ein Überlegenheitseffekt der Ziffern- gegenüber der Wortspanne. Für die EI-MAG Aufgaben könnte dieser Effekt zumindest in Teilen über die unterschiedliche Anordnung der Stimuli im visuomotorischen Antwortformat erklärt werden: In der Wortspannen-Aufgabe wechseln die Bilder in der Antwortmatrix von Trial zu Trial ihre Position (variables Antwortformat). Dagegen nehmen die Ziffern in der Ziffernspannen-Aufgabe über alle Trials dieselbe Position

in einem Ziffernblock ein (statisches Antwortformat). Ein Wiedergabevorteil bei statischer Anordnung durch implizites Lernen (Chun & Jiang, 1998; Manginelli, Geringswald, & Pollmann, 2012) bzw. Vertrautheit mit dem Kontext (Hulme, Maughan, & Brown, 1991; Kail & Park, 1994), einhergehend mit einer potentiell größeren Sucheﬃzienz und strategischen Vorteilen, ist insbesondere für höhere Altersgruppen wahrscheinlich.

8.2 Experiment 2

Um altersspezifische Auswirkungen der unterschiedlichen Anordnungen im visuomotorischen Antwortformat zu prüfen, wurde ein zweites Experiment durchgeführt. Dazu bearbeiteten $n = 122$ Erst- und Zweitklässler ($M_{\text{Alter}} = 7.6$ Jahre, $SD_{\text{Alter}} = 0.7$ Jahre; 60 weiblich), $n = 120$ Dritt- und Viertklässler ($M_{\text{Alter}} = 9.5$ Jahre, $SD_{\text{Alter}} = 0.6$ Jahre; 60 weiblich), $n = 154$ Sekundarstufenschülerinnen und -schüler ($M_{\text{Alter}} = 12.9$ Jahre, $SD_{\text{Alter}} = 1.6$ Jahre; 89 weiblich) und $n = 79$ Erwachsene ($M_{\text{Alter}} = 20.9$ Jahre, $SD_{\text{Alter}} = 1.9$ Jahre; 65 weiblich) neben der originalen EI-MAG Wortspanne mit variabler Anordnung sowie der Ziffernspanne mit statischer Anordnung zwei weitere Aufgaben, die sich lediglich in der Stimulusanordnung unterschieden (Wortspanne statisch, Ziffernspanne variabel). Die Analysen erbrachten zwar die typischen Alterseffekte, jedoch keine altersspezifischen Effekte der Stimulusanordnung. Im Vergleich zur variablen Anordnung waren Ziffernspannen unter statischer Anordnung tendenziell höher. Für die Wortspannen zeigten sich keine Unterschiede in Abhängigkeit der Stimulusanordnung (vgl. Publikation II, S. 399 für mögliche Erklärungen materialspezifischer Effekte, z.B. Vertrautheit mit dem Ziffernblock). Der Ziffernüberlegenheits-Effekt aus Experiment 1 konnte repliziert werden. Tatsächlich zeigte sich die Überlegenheit auch, wenn die Ziffernspanne, nicht aber die Wortspanne einen zusätzlichen Load beinhaltete (Ziffern variabel, Wörter statisch). Es kann also ausgeschlossen werden, dass der Ziffernüberlegenheits-Effekt in Experiment 1 auf die unterschiedlichen Stimulusanordnungen im visuomotorischen

Antwortformat zurückgeht.

9 Weitere Untersuchungen (Publikation III und Publikation IV, in Vorbereitung)

Publikation III (in Vorbereitung): Tippen vs. Sprechen – Welche (altersabhängige) Rolle spielen Antwortformat und visuelle Suche in phonologischen Spannen?

Eva Oesterlen & Katja Seitz-Stein

Abstract

Tabletgestützte phonologische Spannenaufgaben nutzen ein visuelles Antwortformat (AF). Die Wiedergabe erfolgt nicht wie in klassischen Aufgaben verbal, sondern durch Antippen entsprechender Bilder auf dem Display. Diese Art der Wiedergabe fordert zusätzliche kognitive Prozesse, insbesondere Rekodier- und visuelle Suchfähigkeiten, die altersbedingten Veränderungen unterliegen. Über einen Vergleich von Wort- und Ziffernspannen mit verbalem AF aus der AGTB 5-12 (Hasselhorn et al., 2012) und entsprechenden Aufgaben mit visuellem AF aus dem Tablet-Verfahren EI-MAG (Oesterlen et al., 2016) konnten bereits altersspezifische Effekte des AFs gezeigt werden: Grundschüler erzielten unter visuellem AF niedrigere Leistungen als unter verbalem AF, während Erwachsene keine Leistungsunterschiede zeigten (Oesterlen & Seitz-Stein, 2018).

Ziel der vorliegenden Studie ist es, diese Effekte mit identischem Material zu replizieren, sie an einer breiteren Altersspanne zu prüfen und die möglicherweise altersabhängige Rolle von Rekodier- und visuellen Suchfähigkeiten zu spezifizieren.

Dazu wurden 51 Erst- bis Viertklässler ($M = 8.5$ Jahre, $SD = 1.3$), 64 Fünft- bis Neuntklässler ($M = 13.2$ Jahre, $SD = 1.7$) und 23 Erwachsene ($M = 21.9$ Jahre, $SD = 5.6$) in ca. 30-minütigen Einzelsitzungen am Tablet untersucht. Jeder Proband bearbeitete die EI-MAG Wortspannen-

Aufgabe in zwei Varianten - mit visuellem und verbalem AF. Zusätzlich wurde eine visuelle Suchaufgabe durchgeführt. Mit dieser wurden die Rekodier- und Suchanforderungen, die Teilprozesse der Spannaufgabe mit visuellem AF sind, isoliert.

Für die Spannaufgaben konnte neben dem üblichen Alterseffekt, $F(2, 135) = 49.18, p < .001, \eta_p^2 = .42$, die Altersgruppe x AF Interaktion repliziert werden, $F(2, 135) = 3.08, p = .049, \eta_p^2 = .04$. Für die Suchaufgabe fand sich ebenso ein Alterseffekt (Fehler: $F(2, 135) = 12.31, p < .001, \eta_p^2 = .15$; RT: $F(2, 135) = 51.34, p < .001, \eta_p^2 = .43$). Grundschüler machten mehr Fehler und benötigten längere RT als Sekundarstufenschüler. Letztere zeigten im Vergleich zu Erwachsenen höhere RT aber vergleichbare Fehlerraten. Die Ergebnisse stützen die Annahme, dass Rekodier- und Suchfähigkeiten (wie sie speziell im visuellen AF gefordert sind) für die Wechselwirkung von Altersgruppe und AF mit verantwortlich sind. Konsequenzen für die automatisierte Messung phonologischer Arbeitsgedächtnisfunktionen werden vor dem Hintergrund dieser und weiterer (auch unerwarteter) Befunde diskutiert.

Schlagwörter: Arbeitsgedächtnis, visuelle Suche, Rekodierung, Tablet, Antwortformat, Entwicklung

Manuskript aktuell in Vorbereitung:

Oesterlen, E., & Seitz-Stein, K. (2019, September). *Tippen vs. Sprechen – Welche (altersabhängige) Rolle spielen Antwortformat und visuelle Suche in phonologischen Spannen?* Vortrag präsentiert auf der gemeinsamen Tagung der Fachgruppen Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie (paEpsy 2019), Leipzig.

Als Ursache für die in Studie II (Experiment 1) gefundenen altersabhängigen Antwortformateffekte in phonologischen Spannen wurden u.a. entwicklungsbedingte Veränderungen in Rekodier- und visuellen Suchfähigkeiten (z.B. Hommel et al., 2004; Palmer, 2000; Trick & Enns, 1998), wie sie speziell im visuomotorischen Antwortformat gefordert sind, diskutiert (vgl. Publikation II, S. 396 f.). Um diese Annahme zu prüfen, wurde Studie III (vgl. Publikation III, in Vorbereitung) mit $n = 55$ Grundschulkindern ($M_{Alter} = 8.4$ Jahre, $SD_{Alter} = 1.3$ Jahre; 28 weiblich), $n = 77$ Sekundarstufenschülerinnen und -schülern ($M_{Alter} = 13.2$ Jahre, $SD_{Alter} = 1.7$; 30 weiblich) und $n = 25$ Erwachsenen ($M_{Alter} = 21.7$ Jahre, $SD_{Alter} = 5.4$; 21 weiblich) durchgeführt. Die Probanden bearbeiteten die EI-MAG Wortspannen-Aufgabe sowohl mit visuomotorischem als auch mit verbalem Antwortformat. Zusätzlich wurde eine visuelle Suchaufgabe durchgeführt. Mit dieser wurden die Rekodier- und Suchanforderungen als Teilprozesse der Spannenaufgabe mit visuomotorischem Antwortformat isoliert. In allen Aufgaben wurde identisches EI-MAG Material verwendet. Somit wurde mit dieser Untersuchung auch der Limitation von Studie II begegnet, dass neben der Variation im Antwortformat (visuomotorisch vs. verbal) eine Variation im Verfahren selbst (EI-MAG vs. AGTB 5-12) und damit dem verwendeten Stimulusmaterial, Algorithmus etc. stattfand (vgl. Publikation II, S. 399). Die statistische Auswertung der Arbeitsgedächtnisaufgaben erbrachte den üblichen Alterseffekt, $F(2, 135) = 49.18$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .42$. Die Altersgruppe x Antwortformat Interaktion konnte ebenfalls repliziert werden, $F(2, 135) = 3.08$, $p = .049$, $\eta_p^2 = .04$. Die altersspezifischen Effekte des Antwortformats in Studie II sind somit nicht auf die Verfahrensvariation (EI-MAG vs. AGTB 5-12) zurückzuführen. Für die Suchaufgabe fand sich ebenso ein Alterseffekt, Fehler: $F(2, 135) = 12.31$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .15$; Reaktionszeiten: $F(2, 135) = 51.34$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .43$. Grundschul Kinder machten mehr Fehler und benötigten längere Reaktionszeiten als Sekundarstufenschülerinnen und -schüler. Letztere zeigten im Vergleich zu Erwachsenen höhere Reaktionszeiten, aber vergleichbare Fehlerraten. Die Ergebnisse stützen die Annahme,

dass Rekodier- und Suchfähigkeiten für die altersspezifischen Antwortformateffekte in phonologischen Spannen mit verantwortlich sind.

Publikation IV (eingereicht): Individual vs. group administration of tablet-based working memory tasks – Does setting matter?

Eva Oesterlen & Katja-Seitz-Stein

Abstract

Working memory (WM) is a key determinant of academic success. Therefore, standardized assessment tools are needed. In the past, WM assessment has been time-consuming and costly, as WM instruments could only be used in one-to-one settings. The development of automatized, self-reliant WM tasks such as the tablet-based application EI-MAG (Oesterlen, Gade, & Seitz-Stein, 2016) allows for a more economic assessment of WM in groups. However, so far, only few studies have empirically validated the comparability of WM scores obtained in individual and group setting. To close this gap, $N = 106$ children between 7 and 10 years of age ($M = 8.8$ years, $SD = 0.6$ years) were administered four WM tasks of EI-MAG individually as well as in groups. The analyses show that independent of age and WM task, setting does not influence WM performance. It can be concluded that automatized WM assessment with EI-MAG leads to comparable results in individual and group setting.

Keywords: working memory, group setting, setting effects, tablet, assessment

Manuskript aktuell in Begutachtung beim *European Journal of Psychological Assessment*:

Oesterlen, E., & Seitz-Stein, K. (2019). *Individual vs. group administration of tablet-based*

working memory tasks – Does setting matter? Manuskript als Brief Report zur

Veröffentlichung eingereicht.

Neben dem eher grundlagenorientierten Interesse an basalen Arbeitsgedächtnisprozessen und ihrer altersgemäßen Erfassung, das in den experimentellen Studien II und III zum Ausdruck kommt, wird mit EI-MAG auch ein anwendungsbezogenes Ziel verfolgt. So soll die Applikation in naher Zukunft über die Nutzung als Forschungsinstrument hinaus im Rahmen der Individualdiagnostik eingesetzt werden können. Grundlegende Voraussetzung für einen solchen bedarfsabhängigen Einsatz von EI-MAG als Einzel- (Individualdiagnostik, jüngere Kinder) oder Gruppentestverfahren (Screening, Forschung) ist die Vergleichbarkeit der in Einzel- und Gruppensetting erhobenen Arbeitsgedächtnismaße. Diese Voraussetzung wurde bereits über einen within-Vergleich an $N = 106$ 7- bis 10-jährige Grundschulkindern ($M_{Alter} = 8.8$ Jahre, $SD_{Alter} = 0.6$ Jahre; 47 weiblich) geprüft (Publikation IV, eingereicht). Unabhängig von der Altersgruppe (7- bis 8.5-Jährige, 8.6- bis 10-Jährige) und der EI-MAG Aufgabe (Corsi Block, Wortspanne einsilbig, Objektspanne, Ziffernspanne rückwärts), zeigten sich keine bedeutsamen Unterschiede zwischen der im Einzel- und Gruppensetting erzielten Arbeitsgedächtnisleistung. Es kann also ausgeschlossen werden, dass allein das gewählte Untersuchungssetting über Faktoren wie soziale Erleichterung bzw. Inhibition (Sharma, Booth, Brown, & Huguet, 2010; Uziel, 2007; Zajonc, 1965) oder Ablenkungskonflikte (Baron, 1986; Muller, Atzeni, & Butera, 2004) zu einer systematischen Über- oder Unterschätzung der Arbeitsgedächtnisleistung führt. Die grundlegende Voraussetzung für den Einsatz von EI-MAG als Einzeltest ist damit gegeben.

10 Diskussion und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein standardisiertes, tabletgestütztes und gruppentestgeeignetes Verfahren zur Arbeitsgedächtnismessung bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen zu entwickeln, zu validieren und zu untersuchen – die Eichstatter Messung des Arbeitsgedächtnisses (EI-MAG; Oesterlen et al., 2016). Neben der theoriegeleiteten Konzeption wurden dazu mehrere Studien durchgeführt. In Studie I (vgl. Publikation I) wurden drei tabletgestützte Aufgaben einer Vorversion von EI-MAG auf ihre Durchführbarkeit und Testgüte hin geprüft. In Studie II (vgl. Publikation II) wurden die phonologischen Aufgaben Wortspanne einsilbig und Ziffernspanne aus EI-MAG aufgrund ihres besonderen visuomotorischen Antwortformats in zwei Experimenten näher untersucht. Daran anknüpfend wurde mit Studie III (vgl. Publikation III, in Vorbereitung) die Rolle von Rekodier- und visuellen Suchfähigkeiten in phonologischen Spannen mit unterschiedlichen Antwortformaten spezifiziert. In Studie IV (vgl. Publikation IV, eingereicht) wurden Effekte des Untersuchungssettings (Einzel- vs. Gruppensetting) im Rahmen der tabletgestützten Arbeitsgedächtnismessung geprüft.

Die Ergebnisse der vier Studien zeigen, dass die Zielsetzung einer altersangemessenen Arbeitsgedächtnismessung über verschiedene Altersgruppen hinweg erreicht wird: Die tabletgestützten Spannenaufgaben sind bereits ab dem Grundschulalter im Gruppensetting selbstgesteuert durchführbar; gleichzeitig differenzieren sie auch im oberen Leistungsbereich bei Erwachsenen noch ausreichend gut (keine Deckeneffekte).

Zudem konnten für eine relativ breite Altersspanne (6- bis 19-Jährige) Hinweise für die psychometrische Qualität der tabletgestützten Arbeitsgedächtnisaufgaben Wortspanne einsilbig, Corsi Block und Wortspanne rückwärts gefunden werden (vgl. Publikation I). Dass auch in Studie II typische Befunde der traditionellen Arbeitsgedächtnismessung wie Ziffernüberlegenheitseffekte (Dempster, 1981; Gathercole, 1998; Michalczyk et al., 2013) und altersbedingte Spannenzuwächse (Alloway et al., 2006; Dempster, 1981; Gathercole, 1998;

Michalczyk et al., 2013) mit tabletgestützten Aufgaben repliziert werden konnten, festigt diese Hinweise (vgl. Publikation II, S. 395 f., S. 398).

Die durchgeführten Studien belegen darüber hinaus die Testökonomie von EI-MAG. Durch die Konzeption als Gruppentestverfahren konnten personelle und zeitliche Ressourcen für die Messung der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses erheblich minimiert werden. Gerade Forschungsvorhaben, in denen Arbeitsgedächtnisleistung lediglich als Kontroll- oder Prädiktorvariable miterfasst werden soll, können von einem solchen ökonomischen Instrument profitieren. Auch die Zielsetzung der Praxistauglichkeit ist durch die Möglichkeit einer Gruppentestung und einer realitätsnahen Arbeitsgedächtnismessung (z.B. im Klassenkontext) prinzipiell gegeben. Aktuell ist EI-MAG aufgrund fehlender Normen vorrangig als Forschungsinstrument geeignet; In naher Zukunft soll die Applikation jedoch auch zur Erfassung eines differenziellen Funktionsprofils des Arbeitsgedächtnisses im Rahmen der Individualdiagnostik eingesetzt werden können. Vor dem Hintergrund der weiter oben beschriebenen Bedeutsamkeit des Arbeitsgedächtnisses für die kognitive Entwicklung und Schulleistung (Alloway & Alloway, 2010; Lechuga et al., 2016; Wang & Gathercole, 2013; Weerdt et al., 2013) soll EI-MAG die Identifikation von spezifischen Lernproblemen oder -störungen, aber auch von kognitiven Stärken ermöglichen, um entsprechenden Förderbedarf ableiten zu können. Wie die Ergebnisse von Studie IV zeigen, ist die grundlegende Voraussetzung hierfür gegeben: Im direkten Einzel-Gruppen-Vergleich fanden sich keine Unterschiede hinsichtlich der erfassten Arbeitsgedächtnisleistung. EI-MAG kann also je nach Bedarf als Einzel- oder Gruppentest eingesetzt werden. Um nun auch die für die Individualdiagnostik notwendigen Normen zur Verfügung stellen zu können, findet aktuell eine groß angelegte Untersuchung mit einer repräsentativen deutschen Stichprobe zur umfassenden Validierung und Normierung von EI-MAG statt.

Die Notwendigkeit solcher Normen wird umso deutlicher, wenn man die in Studie II aufgedeckten altersspezifischen Antwortformateffekte bei der tabletgestützten

Arbeitsgedächtnismessung näher betrachtet. Grundschul Kinder erzielten in den phonologischen EI-MAG Aufgaben mit visuomotorischem Antwortformat niedrigere Arbeitsgedächtnisleistungen als in vergleichbaren klassischen Aufgaben mit verbalem Antwortformat. Erwachsene zeigten dagegen keine Leistungsunterschiede. Diese Befunde lassen sich über entwicklungsbedingte Leistungszuwächse in den geforderten Teilprozessen (z.B. Rehearsal/Rekodieren: Dempster, 1981; Gathercole & Hitch, 1994; Gathercole, 1998; Jarrold & Tam, 2011; Michalczyk et al., 2013; Palmer, 2000; Schumann-Hengsteler, 1995; Tam et al., 2010; exekutive Funktionen: Davidson et al., 2006; Diamond, 2013; Irwin-Chase & Burns, 2000; Olesen et al., 2007; Schleepen & Jonkman, 2010; visuelle Suche: Brennan et al., 2017; Hommel et al., 2004; Trick & Enns, 1998) sowie Verbesserungen in der Ressourcenverteilung (Barrouillet, Gavens, Vergauwe, Gaillard, & Camos, 2009; Vergauwe et al., 2010) erklären (vgl. Publikation II, S. 396 f.). Die Annahme, dass insbesondere altersbedingte Veränderungen in Rekodier- und visuellen Suchfähigkeiten, wie sie speziell in phonologischen EI-MAG Aufgaben gefordert sind, eine Rolle spielen, konnte durch die Ergebnisse von Studie III empirisch gestützt werden. Welche Anteile Prozessen wie Shifting und Inhibition bei der Aufklärung der altersspezifischen Antwortformateffekte zukommen, muss in weiteren Studien spezifiziert werden (vgl. Publikation II, S. 399).

Mit Blick auf die zunehmende Nutzung neuer Touch-Technologien zur Erfassung entwicklungspsychologischer Daten (z.B. Obradović, Sulik, Finch, & Tirado-Strayer, 2018; Piatt et al., 2016; Pitchford & Outhwaite, 2016), unterstreichen die altersabhängigen Antwortformateffekte aus Studie II und Studie III die Notwendigkeit systematischer Vergleichsuntersuchungen von bewährten und neueren Verfahren, bevor von ihrer Äquivalenz ausgegangen werden kann. Zwar sprechen die in den vorliegenden Studien I, II und III konsistent gefundenen Alterseffekte einerseits dafür, dass Zuwächse in der Arbeitsgedächtniskapazität so robust sind, dass sie über verschiedene Aufgaben und Formate abgebildet werden können (vgl. Simmering & Perone, 2012). Gleichzeitig zeigen die Befunde

aber auch, dass schon scheinbar kleine Änderungen im Aufgabenformat (hier Antwortformat) einen bedeutsamen Einfluss auf die Höhe und Art der erfassten Leistung haben können (vgl. Simmering & Perone, 2012). Die Altersabhängigkeit der gefundenen Effekte belegt, dass dies umso mehr in der entwicklungspsychologischen Verfahrensentwicklung und Testung gilt. Dabei muss die entwicklungsbedingte Variation nicht als Rauschen verstanden werden; vielmehr kann sie Hinweise für die Arbeitsgedächtnismessung mittels Spannenaufgaben und für die Theoriebildung liefern.

So indizieren die altersbedingten Antwortformateffekte aus Studie II und Studie III, dass tabletgestützte phonologische Spannenaufgaben in Abhängigkeit des Entwicklungsstandes neben Speicherprozessen auch Verarbeitungsprozesse miteinbeziehen. Die theoretische Trennung zwischen einfachen und komplexen Spannenaufgaben ist folglich zu vereinfachend und sollte in Frage gestellt werden (vgl. Aben, Stapert, & Blokland, 2012; Engle et al., 1999; Simmering & Perone, 2012; Unsworth & Engle, 2007). Auch Engle und Kollegen (1999) weisen darauf hin, dass die Grenze zwischen einfachen und komplexen Spannenaufgaben schwammig ist: Aufgaben, die für manche Individuen einfache Spannen darstellen, können für andere Individuen, z.B. Kinder, komplexe Spannen sein. Als Ursachen sind interindividuelle Unterschiede hinsichtlich der Anfälligkeit für Interferenz und unterschiedliche Automatisierungsgrade der geforderten Prozesse zu nennen. Spannenaufgaben sind demnach weniger als kategorial anzusehen; vielmehr ist anzunehmen, dass sie sich hinsichtlich des Ausmaßes, in dem sie Speicher- und Manipulationskomponenten erfassen, auf einer Art Kontinuum bewegen. Diese Erkenntnis wiederum liefert wichtige Implikationen für die Arbeitsgedächtnis-Theoriebildung. Noch immer herrscht Uneinigkeit über die exakte Struktur des Arbeitsgedächtnisses bzw. über das Verhältnis von Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis (z.B. Baddeley, 1986, 2000; Cowan, 1988, 1995; Engle et al., 1999; Oberauer et al., 2003; Shah & Miyake, 1996). Häufig bilden Spannenaufgaben die Grundlage für die Definition der Konstrukte. Dabei werden einfache Spannenaufgaben verwendet, um Kurzzeitspeicher-

Prozesse abzubilden, komplexe Spannenaufgaben um Arbeitsgedächtnisprozesse zu erfassen. Wie die Befunde von Studie II bzw. Studie III und anderen Autoren (z.B. Engle et al., 1999; Simmering & Perone, 2012) zeigen, kann dabei die Zuordnung zu einfach oder komplex in Abhängigkeit der Aufgabengestaltung und der untersuchten Stichprobe unterschiedlich ausfallen, was in der Folge zu unterschiedlichen Annahmen über die Struktur des Arbeitsgedächtnisses führt. Dieses Dilemma lässt sich auch durch die vorliegenden Studien nicht lösen. Die Hinweise auf die Überlappungen zwischen einfachen und komplexen Spannenaufgaben sprechen aber gegen Konzeptionen, die von einer strikten Trennung von Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis als unabhängige Konstrukte ausgehen (vgl. Aben et al., 2012).

Insgesamt lässt sich festhalten, dass mit EI-MAG erstmals auch für den deutschen Sprachraum ein umfassendes gruppentestgeeignetes Arbeitsgedächtnisverfahren vorliegt. Die verwendeten Spannenaufgaben sind eng angelehnt an bewährte Aufgaben. Der Neuigkeitswert liegt in ihrer Durchführbarkeit im Gruppensetting und der Verwendung des Mediums Tablet, das in der Lebenswelt von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen eine zunehmend wichtigere Rolle spielt (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2018a, 2018b). Die besonderen Anpassungen (z.B. im Antwortformat phonologischer Spannen, vgl. Publikation II), die für eine tabletgestützte Messung notwendig wurden, dürfen in ihren altersspezifischen Auswirkungen auf die erfasste Arbeitsgedächtnisleistung nicht vernachlässigt werden. Wie die Ergebnisse der vorliegenden Studien zeigen, schmälert dies aber nicht das Potential tabletgestützter Aufgaben zur flexiblen, ökonomischen, präzisen und validen Sammlung entwicklungspsychologisch relevanter Daten.

Literaturverzeichnis

- Aben, B., Stapert, S., & Blokland, A. (2012). About the distinction between working memory and short-term memory. *Frontiers in Psychology*, 3, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00301>
- Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2005). Working memory and intelligence: The same or different constructs? *Psychological Bulletin*, 131(1), 30–60. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.1.30>
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 106(1), 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.11.003>
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2013). Working memory across the lifespan: A cross-sectional approach. *Journal of Cognitive Psychology*, 25(1), 84–93. <https://doi.org/10.1080/20445911.2012.748027>
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2006). Verbal and visuospatial short-term and working memory in children: Are they separable? *Child Development*, 77(6), 1698–1716. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00968.x>
- Audacity Team. (2014). Audacity(R): Free Audio Editor and Recorder (Version 2.1.0). Retrieved from <http://www.audacityteam.org/download/>
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 49(1), 5–28. <https://doi.org/10.1080/027249896392784>
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829–839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>

- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation* (pp. 47–89). New York, NY: Academic Press.
- Baron, R. S. (1986). Distraction-conflict theory: Progress and problems. In L. Berkowitz (Ed.), *Advances in experimental social psychology* (pp. 1–40). New York, NY: Academic Press.
- Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(1), 83–100. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.83>
- Barrouillet, P., Gavens, N., Vergauwe, E., Gaillard, V., & Camos, V. (2009). Working memory span development: A time-based resource-sharing model account. *Developmental Psychology*, *45*(2), 477–490. <https://doi.org/10.1037/a0014615>
- Brennan, A. A., Bruderer, A. J., Liu-Ambrose, T., Handy, T. C., & Enns, J. T. (2017). Lifespan changes in attention revisited: Everyday visual search. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne De Psychologie Expérimentale*, *71*(2), 160–171. <https://doi.org/10.1037/cep0000130>
- Brockmole, J. R., & Logie, R. H. (2013). Age-related change in visual working memory: A study of 55,753 participants aged 8-75. *Frontiers in Psychology*, *4*, 1–5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00012>
- Buehner, M., Mangels, M., Krumm, S., & Ziegler, M. (2005). Are working memory and attention related constructs? *Journal of Individual Differences*, *26*(3), 121–131. <https://doi.org/10.1027/1614-0001.26.3.121>
- Chmiliar, L. (2017). Improving learning outcomes: The iPad and preschool children with disabilities. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00660>
- Chun, M. M., & Jiang, Y. (1998). Contextual cueing: Implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive Psychology*, *36*, 28–71. <https://doi.org/10.1006/cogp.1998.0681>

- Colourbox GmbH (2017). Retrieved from <https://www.colourbox.de>
- Couse, L. J., & Chen, D. W. (2010). A tablet computer for young children? Exploring its viability for early childhood education. *Journal of Research on Technology in Education*, 43(1), 75–98. <https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782562>
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, 104(2), 163–191.
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory: An integrated framework* (Oxford psychology series, Vol. 26). New York, NY: Oxford University Press.
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychological Science*, 19(1), 51–57. <https://doi.org/10.1177/0963721409359277>
- Daneman, M., & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(4), 422–433. <https://doi.org/10.3758/BF03214546>
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037–2078. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006>
- Dehn, M. J. (2008). *Working memory and academic learning: Assessment and intervention*. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, Inc.
- Dempster, F. N. (1981). Memory span: Sources of individual and developmental differences. *Psychological Bulletin*, 89(1), 63–100. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.89.1.63>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>

- Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science, 19*(1), 19–23. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00160>
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General, 128*(3), 309–331. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.128.3.309>
- Englund, J. A., Decker, S. L., Allen, R. A., & Roberts, A. M. (2014). Common cognitive deficits in children with attention-deficit/hyperactivity disorder and autism: Working memory and visual-motor integration. *Journal of Psychoeducational Assessment, 32*(2), 95–106. <https://doi.org/10.1177/0734282913505074>
- Englund, J. A., Decker, S. L., Woodlief, D. T., & DiStefano, C. (2014). Development and evaluation of an online, multicomponent working memory battery. *Assessment, 21*(5), 543–561. <https://doi.org/10.1177/1073191114524016>
- Feierabend, S., Rathgeb, T., & Reutter, T. (2019). Kindheit, Internet und Medien: Ergebnisse der KIM-Studie 2018. *Media Perspektiven, 4*, 146-155.
- Ferreira, A. I., Almeida, L. S., & Prieto, G. (2011). The role of processes and contents in human memory: An item response theory approach. *Journal of Cognitive Psychology, 23*(7), 873–885. <https://doi.org/10.1080/20445911.2011.584692>
- Fischbach, A., Könen, T., Rietz, C. S., & Hasselhorn, M. (2014). What is not working in working memory of children with literacy disorders? Evidence from a three-year-longitudinal study. *Reading and Writing, 27*(2), 267–286. <https://doi.org/10.1007/s11145-013-9444-5>

- Fougnie, D., & Marois, R. (2011). What limits working memory capacity? Evidence for modality-specific sources to the simultaneous storage of visual and auditory arrays. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *37*(6), 1329–1341. <https://doi.org/10.1037/a0024834>
- Frank, M. C., Sugarman, E., Horowitz, A. C., Lewis, M. L., & Yurovsky, D. (2015). Using tablets to collect data from young children. *Journal of Cognition and Development*, *17*(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/15248372.2015.1061528>
- Gathercole, S. E. (1998). The development of memory. *Journal of Child Psychology*, *39*(1), 3–27. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00301>
- Gathercole, S. E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *3*(11), 410–419. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01388-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01388-1)
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1993). *Working memory and language*. Hove, UK: Erlbaum.
- Gathercole, S. E., & Adams, A.-M. (1993). Phonological working memory in very young children. *Developmental Psychology*, *29*(4), 770–778. <https://doi.org/10.1037//0012-1649.29.4.770>
- Gathercole, S. E., & Hitch, G. J. (1994). Developmental changes in short-term memory: A revised working memory perspective. In A. F. Collins, M. A. Conway, & P. E. Morris (Eds.), *Theories of memory* (pp. 189–209). Hove, UK: Erlbaum.
- Giofrè, D., Mammarella, I. C., & Cornoldi, C. (2013). The structure of working memory and how it relates to intelligence in children. *Intelligence*, *41*(5), 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.06.006>

- Goff, D. A., Pratt, C., & Ong, B. (2005). The relations between children's reading comprehension, working memory, language skills and components of reading decoding in a normal sample. *Reading and Writing, 18*(7-9), 583–616. <https://doi.org/10.1007/s11145-004-7109-0>
- Gray, S., Green, S., Alt, M., Hogan, T. P., Kuo, T., Brinkley, S., & Cowan, N. (2017). The structure of working memory in young children and its relation to intelligence. *Journal of Memory and Language, 92*, 183–201. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2016.06.004>
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of Experimental Psychology: General, 108*(3), 356–388. <https://doi.org/10.1037//0096-3445.108.3.356>
- Hasselhorn, M., Schumann-Hengsteler, R., Grube, D., König, J., Mähler, C., Schmidt, I., . . . Zoelch, C. (2012). *Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren (AGTB 5-12)*. Göttingen, Germany: Hogrefe.
- Henry, L., & Millar, S. (1991). Memory span increase with age: A test of two hypotheses. *Journal of Experimental Child Psychology, 51*, 459–484. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(91\)90088-A](https://doi.org/10.1016/0022-0965(91)90088-A)
- Henry, L. A., Messer, D., Luger-Klein, S., & Crane, L. (2012). Phonological, visual, and semantic coding strategies and children's short-term picture memory span. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 65*(10), 2033–2053. <https://doi.org/10.1080/17470218.2012.672997>
- Hommel, B., Li, K. Z. H., & Li, S.-C. (2004). Visual search across the life span. *Developmental Psychology, 40*(4), 545–558. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.4.545>
- Hulme, C., Maughan, S., & Brown, G. D. A. (1991). Memory for familiar and unfamiliar words: Evidence for a long-term memory contribution to short-term memory span. *Journal of Memory and Language, 30*, 685–701. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(91\)90032-F](https://doi.org/10.1016/0749-596X(91)90032-F)

- Hulme, C., & Tordoff, V. (1989). Working memory development: The effects of speech rate, word length, and acoustic similarity on serial recall. *Journal of Experimental Child Psychology*, *47*, 72–87. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(89\)90063-5](https://doi.org/10.1016/0022-0965(89)90063-5)
- Irwin-Chase, H., & Burns, B. (2000). Developmental changes in children's abilities to share and allocate attention in a dual task. *Journal of Experimental Child Psychology*, *77*(1), 61–85. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2557>
- Isaacs, E. B., & Vargha-Khadem, F. (1989). Differential course of development of spatial and verbal memory span: A normative study. *British Journal of Developmental Psychology*, *7*(4), 377–380. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1989.tb00814.x>
- Jarrold, C., & Tam, H. (2011). Rehearsal and the development of working memory. In P. Barrouillet & V. Gaillard (Eds.), *Cognitive development and working memory: A dialogue between neo-Piagetian and cognitive approaches* (pp. 177–200). New York, NY: Psychology Press.
- Jastrzębski, J., Ciechanowska, I., & Chuderski, A. (2018). The strong link between fluid intelligence and working memory cannot be explained away by strategy use. *Intelligence*, *66*, 44–53. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.11.002>
- Kail, R., & Park, Y.-S. (1994). Processing time, articulation time, and memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, *57*(2), 281–291. <https://doi.org/10.1006/jecp.1994.1013>
- Kibby, M. Y., Marks, W., Morgan, S., & Long, C. J. (2004). Specific impairments in developmental reading disabilities: A working memory approach. *Journal of Psychoeducational Assessment*, *37*(4), 349–363. <https://doi.org/10.1177/00222194040370040601>
- Kluszczewski, J., Brandenburg, J., Fischbach, A., Grube, D., Hasselhorn, M., & Büttner, G. (2015). Working memory functioning in children with poor mathematical skills. *Zeitschrift für Psychologie*, *223*(2), 83–92. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000206>

- Klingberg, T. (1998). Concurrent performance of two working memory tasks: Potential mechanisms of interference. *Cerebral Cortex*, 8(7), 593–601.
- Kuhn, J.-T. (2016). Controlled attention and storage: An investigation of the relationship between working memory, short-term memory, scope of attention, and intelligence in children. *Learning and Individual Differences*, 52, 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2015.04.009>
- Lanfranchi, S., Baddeley, A., Gathercole, S., & Vianello, R. (2012). Working memory in Down syndrome: Is there a dual task deficit? *Journal of Intellectual Disability Research*, 56(2), 157–166. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2011.01444.x>
- Lechuga, M. T., Pelegrina, S., Pelaez, J. L., Martin-Puga, M. E., & Justicia, M. J. (2016). Working memory updating as a predictor of academic attainment. *Educational Psychology*, 36(4), 675–690. <https://doi.org/10.1080/01443410.2014.950193>
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21(1), 59–80. <https://doi.org/10.1348/026151003321164627>
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove, UK: Erlbaum.
- Logie, R. H., & Pearson, D. G. (1997). The inner eye and the inner scribe of visuo-spatial working memory: Evidence from developmental fractionation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9(3), 241–257. <https://doi.org/10.1080/713752559>
- Maehler, C., & Schuchardt, K. (2016). Working memory in children with specific learning disorders and/or attention deficits. *Learning and Individual Differences*, 49, 341–347. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.05.007>
- Manginelli, A. A., Geringswald, F., & Pollmann, S. (2012). Visual search facilitation in repeated displays depends on visuospatial working memory. *Experimental Psychology*, 59(1), 47–54. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000125>

- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. (2018a). *JIM-Studie 2018: Jugend, Information, Medien; Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger*. Retrieved from http://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2018/Studie/JIM_2018_Gesamt.pdf
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. (2018b). *KIM-Studie 2018: Kindheit, Internet, Medien; Basisuntersuchung zum Medienumgang 6- bis 13-Jähriger*. Retrieved from https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/KIM/2018/KIM-Studie2018_Web.pdf
- Michalczyk, K., Malstädt, N., Worgt, M., Könen, T., & Hasselhorn, M. (2013). Age differences and measurement invariance of working memory in 5- to 12-year-old children. *European Journal of Psychological Assessment, 29*(3), 220–229. <https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000149>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Muller, D., Atzeni, T., & Butera, F. (2004). Coaction and upward social comparison reduce the illusory conjunction effect: Support for distraction-conflict theory. *Journal of Experimental Social Psychology, 40*(5), 659–665. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2003.12.003>
- Neumann, M. M. (2016). Young children's use of touch screen tablets for writing and reading at home: Relationships with emergent literacy. *Computers & Education, 97*, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.013>
- Oberauer, K., Süß, H.-M., Schulze, R., Wilhelm, O., & Wittmann, W. W. (2000). Working memory capacity - facets of a cognitive ability construct. *Personality and Individual Differences, 29*(6), 1017–1045. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(99\)00251-2](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(99)00251-2)

- Oberauer, K., Süß, H.-M., Wilhelm, O., & Wittmann, W. W. (2003). The multiple faces of working memory. *Intelligence*, *31*(2), 167–193. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(02\)00115-0](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(02)00115-0)
- Obradović, J., Sulik, M. J., Finch, J. E., & Tirado-Strayer, N. (2018). Assessing students' executive functions in the classroom: Validating a scalable group-based procedure. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *55*, 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2017.03.003>
- Oesterlen, E., Gade, M., & Seitz-Stein, K. (2016). EI-MAG: Eichstätter Messung des Arbeitsgedächtnisses [Applikation]. Unveröffentlichtes Forschungsinstrument des Lehrstuhls Entwicklungs- und Pädagogische Psychologie, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Deutschland.
- Olesen, P. J., Macoveanu, J., Tegnér, J., & Klingberg, T. (2007). Brain activity related to working memory and distraction in children and adults. *Cerebral Cortex*, *17*(5), 1047–1054. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhl014>
- Palmer, S. (2000). Development of phonological recoding and literacy acquisition: A four-year cross-sequential study. *British Journal of Developmental Psychology*, *18*(4), 533–555. <https://doi.org/10.1348/026151000165841>
- Passolunghi, M. C. (2011). Cognitive and emotional factors in children with mathematical learning disabilities. *International Journal of Disability, Development and Education*, *58*(1), 61–73. <https://doi.org/10.1080/1034912X.2011.547351>
- Peng, P., & Fuchs, D. (2016). A meta-analysis of working memory deficits in children with learning difficulties: Is there a difference between verbal domain and numerical domain? *Journal of Learning Disabilities*, *49*(1), 3–20. <https://doi.org/10.1177/0022219414521667>

- Piatt, C., Coret, M., Choi, M., Volden, J., & Bisanz, J. (2016). Comparing children's performance on and preference for a number-line estimation task: Tablet versus paper and pencil. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 34(3), 244–255. <https://doi.org/10.1177/0734282915594746>
- Pitchford, N. J., & Outhwaite, L. A. (2016). Can touch screen tablets be used to assess cognitive and motor skills in early years primary school children? A cross-cultural study. *Frontiers in Psychology*, 7, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01666>
- Roodenrys, S., Hulme, C., & Brown, G. (1993). The development of short-term memory span: Separable effects of speech rate and long-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56, 431–442. <https://doi.org/10.1006/jecp.1993.1043>
- Schleepen, T. M. J., & Jonkman, L. M. (2010). The development of non-spatial working memory capacity during childhood and adolescence and the role of interference control: An N-Back task study. *Developmental Neuropsychology*, 35(1), 37–56. <https://doi.org/10.1080/87565640903325733>
- Schneider, W., Knopf, M., & Sodian, B. (2009). Verbal memory development from early childhood to early adulthood. In W. Schneider & M. Bullock (Eds.), *Human development from early childhood to early adulthood: Findings from a 20 year longitudinal study* (pp. 63–90). New York, NY: Psychology Press.
- Schuchardt, K., Kunze, J., Grube, D., & Hasselhorn, M. (2006). Arbeitsgedächtnisdefizite bei Kindern mit schwachen Rechen- und Schriftsprachleistungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20(4), 261–268. <https://doi.org/10.1024/1010-0652.20.4.261>
- Schumann-Hengsteler, R. (1995). *Die Entwicklung des visuell-räumlichen Gedächtnisses*. Göttingen, Germany: Hogrefe.

- Seigneuric, A., Ehrlich, M.-F., Oakhill, J. V., & Yuill, N. M. (2000). Working memory resources and children's reading comprehension. *Reading and Writing, 13*(1-2), 81–103. <https://doi.org/10.1023/A:1008088230941>
- Seitz, K., & Schumann-Hengsteler, R. (2000). Mental multiplication and working memory. *European Journal of Cognitive Psychology, 12*(4), 552–570. <https://doi.org/10.1080/095414400750050231>
- Seitz-Stein, K., Schumann-Hengsteler, R., Zoelch, C., Grube, D., Mähler, C., & Hasselhorn, M. (2012). Diagnostik der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern zwischen 5 und 12 Jahren: Die Arbeitsgedächtnistestbatterie AGTB 5-12. In M. Hasselhorn & C. Zoelch (Eds.), *Funktionsdiagnostik des Arbeitsgedächtnisses: Tests und Trends, Bd. 10* (pp. 1–22). Göttingen: Hogrefe.
- Semmelmann, K., Nordt, M., Sommer, K., Rohnke, R., Mount, L., Prufer, H., . . . Weigelt, S. (2016). U can touch this: How tablets can be used to study cognitive development. *Frontiers in Psychology, 7*, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01021>
- Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology, 125*(1), 4–27. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.125.1.4>
- Sharma, D., Booth, R., Brown, R., & Huguet, P. (2010). Exploring the temporal dynamics of social facilitation in the Stroop task. *Psychonomic Bulletin & Review, 17*(1), 52–58. <https://doi.org/10.3758/PBR.17.1.52>
- Simmering, V. R., & Perone, S. (2012). Working memory capacity as a dynamic process. *Frontiers in Psychology, 3*, 1–26. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00567>
- St Clair-Thompson, H. (2013). Establishing the reliability and validity of a computerized assessment of children's working memory for use in group settings. *Journal of Psychoeducational Assessment, 32*(1), 15–26. <https://doi.org/10.1177/0734282913497344>

- Süß, H.-M., Oberauer, K., Wittmann, W. W., Wilhelm, O., & Schulze, R. (2002). Working-memory capacity explains reasoning ability—and a little bit more. *Intelligence, 30*(3), 261–288. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00100-3](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00100-3)
- Swanson, H. L., & Alloway, T. P. (2012). Working memory, learning, and academic achievement. In K. R. Harris, T. U. S. Graham, C. B. McCormick, G. M. Sinatra, & J. Sweller (Eds.), *APA educational psychology handbook, Vol 1: Theories, constructs, and critical issues* (pp. 327–366). Washington, DC: American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/13273-012>
- Tam, H., Jarrold, C., Baddeley, A. D., & Sabatos-DeVito, M. (2010). The development of memory maintenance: Children's use of phonological rehearsal and attentional refreshment in working memory tasks. *Journal of Experimental Child Psychology, 107*(3), 306–324. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.05.006>
- The GIMP Team. (2014). GIMP: Gnu Image Manipulation Program (Version 2.8.14). Retrieved from <https://www.gimp.org/>
- Trick, L. M., & Enns, J. T. (1998). Lifespan changes in attention: The visual search task. *Cognitive Development, 13*, 369–386. [https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(98\)90016-8](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(98)90016-8)
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007). On the division of short-term and working memory: An examination of simple and complex span and their relation to higher order abilities. *Psychological Bulletin, 133*(6), 1038–1066. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.6.1038>
- Uziel, L. (2007). Individual differences in the social facilitation effect: A review and meta-analysis. *Journal of Research in Personality, 41*(3), 579–601. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2006.06.008>

- Van de Weijer-Bergsma, E., Kroesbergen, E. H., Jolani, S., & van Luit, J. E. H. (2016). The Monkey game: A computerized verbal working memory task for self-reliant administration in primary school children. *Behavior Research Methods*, *48*(2), 756–771. <https://doi.org/10.3758/s13428-015-0607-y>
- Van de Weijer-Bergsma, E., Kroesbergen, E. H., Prast, E. J., & van Luit, J. E. H. (2015). Validity and reliability of an online visual-spatial working memory task for self-reliant administration in school-aged children. *Behavior Research Methods*, *47*(3), 708–719. <https://doi.org/10.3758/s13428-014-0469-8>
- Van der Molen, M. J., van Luit, J. E. H., Jongmans, M. J., & van der Molen, M. W. (2007). Verbal working memory in children with mild intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research*, *51*(2), 162–169. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2006.00863.x>
- Vanderberg, R., & Swanson, H. L. (2007). Which components of working memory are important in the writing process? *Reading and Writing*, *20*(7), 721–752. <https://doi.org/10.1007/s11145-006-9046-6>
- Vergauwe, E., Barrouillet, P., & Camos, V. (2010). Do mental processes share a domain-general resource? *Psychological Science*, *21*(3), 384–390. <https://doi.org/10.1177/0956797610361340>
- Vugs, B., Knoors, H., Cuperus, J., Hendriks, M., & Verhoeven, L. (2016). Interactions between working memory and language in young children with specific language impairment (SLI). *Child Neuropsychology*, *22*(8), 955–978. <https://doi.org/10.1080/09297049.2015.1058348>
- Wang, S., & Gathercole, S. E. (2013). Working memory deficits in children with reading difficulties: Memory span and dual task coordination. *Journal of Experimental Child Psychology*, *115*(1), 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.11.015>

- Wang, Y., Zhang, Y.-b., Liu, L.-l., Cui, J.-f., Wang, J., Shum, D. H. K., . . . Chan, R. C. K. (2017). A meta-analysis of working memory impairments in autism spectrum disorders. *Neuropsychology Review*, 27(1), 46–61. <https://doi.org/10.1007/s11065-016-9336-y>
- Weerdt, F. de, Desoete, A., & Roeyers, H. (2013). Working memory in children with reading disabilities and/or mathematical disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 46(5), 461–472. <https://doi.org/10.1177/0022219412455238>
- Zajonc, R. B. (1965). Social facilitation. *Science*, 149, 269–274. <https://doi.org/10.1126/science.149.3681.269>
- Zoelch, C., Seitz, K., & Schumann-Hengsteler, R. (2005). From rag(bag)s to riches: Measuring the developing central executive. In W. Schneider, R. Schumann-Hengsteler, & B. Sodian (Eds.), *Young children's cognitive development: Interrelationships among executive functioning, working memory, verbal ability, and theory of mind* (pp. 39–69). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Autorenbeiträge

Tabelle

Beiträge der Autoren. Die Reihenfolge in den einzelnen Zellen spiegelt das Ausmaß des Beitrags wider.

	Idee/ Konzeption	Planung/ Durchführung	Datenanalyse	Schreiben
Publikation I	EO, KSS	EO	EO	EO, KSS, MG, ME
Publikation II	EO, KSS	EO	EO	EO, KSS
Publikation III (in Vorbereitung)	EO, KSS	EO	EO	EO, KSS
Publikation IV (eingereicht)	EO, KSS	EO	EO	EO, KSS

Anmerkungen. EO = Eva Oesterlen, KSS = Katja Seitz-Stein, MG = Miriam Gade, ME = Markus Eichner.