
Bewegung und Kognition

Einflüsse von simultaner Bewegung auf die Gedächtnisleistung

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Philosophie
der Fakultät HW
Empirische Humanwissenschaften
der Universität des Saarlandes

Vorgelegt von
Gianluca Amico
aus Saarlouis

Saarbrücken 2020

Dekan:

Univ.-Prof. Dr. Jörn Sparfeldt

Berichterstatter:

Univ.-Prof. Dr. Sabine Schaefer

Univ.-Prof. Dr. Roland Brünken

Tag der Disputation: 15. Dezember 2020

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich versichere, dass ich die eingereichte kumulative Dissertation selbstständig, ohne unzulässige fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Zudem versichere ich, dass die Dissertation in dieser oder ähnlicher Form noch nicht anderweitig als Promotionsleistung vorgelegt und bewertet wurde.

Saarbrücken, den 13. Juli 2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'G. Amico', written in a cursive style.

Gianluca Amico

Danksagung

Zunächst möchte ich mich herzlich bei meiner Doktormutter, Prof. Dr. Sabine Schäfer bedanken, die mich schon direkt zu Beginn meiner Promotion mit ihrer herzlichen Art empfangen hat. Ihre offene Art in jeglichen Gesprächen, ob über fachliche oder alltägliche Themen haben mich stets inspiriert und waren oftmals der Ursprung zahlreicher Ideen. Es hat mich sehr gefreut, von Dir im Laufe der letzten Jahre betreut zu werden.

Außerdem danke ich meinen Kollegen des sportwissenschaftlichen Instituts für die schöne Studien- und Promotionszeit, die wir gemeinsam erlebt haben. Hierbei möchte ich gerne Dr. Markus Schwarz danken, der mich insbesondere zu Beginn der Promotionsphase und in Fragen zur Lehre unterstützt hat. Ich danke auch meiner Kollegin Janine Vieweg, die für alle Fragen ein offenes Ohr hat und mit der ich viel diskutiert und gelacht habe. Ich möchte mich ebenfalls bei Dr. Christian Kaczmarek, Dr. Peter Leinen, Dr. Thomas Haab, Christoph Engert und allen weiteren Kollegen bedanken mit denen ich mich entweder auf dem Gang oder in der Mittagspause stets austauschen konnte.

Vielen Dank an alle Probanden und wissenschaftliche Hilfskräfte, die bei den Projekten dieser Dissertation mitgewirkt haben.

Ich möchte ebenfalls meinen Freunden danken, die mich während der letzten Jahre stets unterstützt haben und mir den nötigen Ausgleich von der Arbeit ermöglicht haben. Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen, die Korrektur gelesen haben.

Abschließend bedanke ich mich bei meiner unglaublichen Familie, meinen Eltern und meinem Bruder, die immer an mich glauben und mir vertrauen, sodass ich mir immer sicher sein kann, dass am Ende alles gut wird. Ein ganz besonderer Dank geht dabei an meine Freundin Bianca Laux, die mein Leben mit ihrer liebevollen Unterstützung bereichert.

Vielen herzlichen Dank!

Abkürzungsverzeichnis

BDNF	Brain Derived Neurotropic Factor
ISI	Interstimulusintervall
Km/h	Kilometer pro Stunde
MdO	Methode der Orte
S/min	Schläge pro Minute
VEGF-1	Endothelialer Nervenwachstumsfaktor

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	i
Danksagung	ii
Abkürzungsverzeichnis.....	iii
1 Einleitung	1
2 Struktur der Arbeit	5
2.1 Aufbau der Synopse	5
2.2 Ziel der Synopse	7
3 Aufarbeitung der Forschungsschwerpunkte.....	8
3.1 Bewegung und Gedächtnis in Doppelaufgabensituationen	8
3.1.1 Das Gedächtnis und Theorien der Ressourcenverteilung	9
3.1.2 Effekte von Bewegung in motorisch-kognitiven	
Doppelaufgabensituationen	13
3.2 Physische Belastung und Gedächtnisleistung	16
3.2.1 Wirkungsmechanismen von physischer Belastung auf	
Gedächtnisprozesse	17
3.2.2 Effekte von physischer Belastung auf die	
Gedächtnisleistung.....	18
3.3 Embodied Cognition und Gedächtnisleistung	25
3.3.1 Der Embodied Cognition Ansatz	25
3.3.2 Effekte von Embodiment auf die Gedächtnisleistung.....	27
4 Diskussion	34
4.1 Empfehlung aufgrund der Doppelaufgabenforschung	35
4.2 Empfehlung aufgrund der physischen Belastung.....	37
4.3 Empfehlung aufgrund von Embodied Cognition.....	40
5 Fazit und Ausblick.....	42
Literaturverzeichnis.....	54

Abbildungsverzeichnis

<i>ABBILDUNG 1. MODELL DER LIMITIERTEN KAPAZITÄT DER AUFMERKSAMKEIT NACH KAHNEMAN (1973).....</i>	<i>10</i>
<i>ABBILDUNG 2. DIE DREI-DIMENSIONALE REPRÄSENTATION DER STRUKTUR DER MULTIPLLEN RESSOURCEN NACH WICKENS (2002). DIE VIERTE DIMENSION (VISUELLE VERARBEITUNG) IST IN DEN VISUELLEN RESSOURCEN GENESTET.....</i>	<i>12</i>
<i>ABBILDUNG 3. MODELL DES FORSCHUNGSFELDS VON SIMULTANER BEWEGUNG UND GEDÄCHTNISLEISTUNG.....</i>	<i>45</i>
<i>ABBILDUNG 4. DAS 2 X 2 X 2 RASTER, DAS SICH AUS DEM MODELL DES FORSCHUNGSFELDS VON SIMULTANER BEWEGUNG UND GEDÄCHTNISLEISTUNG ERGIBT. AUF DEN AXSEN WERDEN DIE INTERFERENZ, DIE PHYSIOLOGISCHE REAKTION UND DIE AUFGABENINTEGRATION ABGEBILDET. DIE POSITIVEN EFFEKTE VON BEWEGUNG AUF DIE GEDÄCHTNISLEISTUNG STEIGEN, JE NIEDRIGER DIE INTERFERENZ, JE PASSENDER DIE PHYSIOLOGISCHEN REAKTIONEN UND JE HÖHER DIE AUFGABENINTEGRATION AUSFÄLLT.....</i>	<i>47</i>
<i>ABBILDUNG 5. SCHEMATISCHER AUFBAU DES BAUERNHOFS IN DER TURNHALLE.</i>	<i>49</i>

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1. AUFLISTUNG UND ARBEITSANTEILE DES AUTORS AN DEN BEIGEFÜGTEN BEITRÄGEN, DIE BESTANDTEIL DER KUMULATIVEN DISSERTATION SIND.	5
TABELLE 2. GRUPPEN UND BEDINGUNGEN DER SKIZZIERTEN STUDIE ZUM FORSCHUNGSFELD BEWEGUNG UND GEDÄCHTNISLEISTUNG.	48

1 Einleitung

Der Mensch erlebt täglich Situationen, in denen er mehrere Dinge gleichzeitig erledigt. Die meisten kennen zum Beispiel die Situation im Auto, wenn man den Radiosender während des Fahrens wechseln möchte. In dieser Situation kann es passieren, dass man den passenden Knopf nicht findet, oder man im Verkehr unaufmerksam wird. Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass sich das gleichzeitige Ausüben zweier Tätigkeiten negativ auf eine oder beide Aufgaben auswirken kann. Es gibt aber ebenfalls viele Situationen in denen man zwei Tätigkeiten gleichzeitig ausübt, ohne dass sich dies negativ auf eine der Tätigkeiten auswirkt. Gerade während Arbeiten im Haushalt, wie zum Beispiel während des Abwaschens, des Bügelns oder des Staubsaugens, macht man sich gerne Musik oder ein Hörbuch an, oder man überlegt sich vielleicht schon einmal einen Plan für den späteren Einkauf im Supermarkt. Gründe hierfür könnten darin liegen, dass die Tätigkeiten selbst zu wenig anspruchsvoll sind, oder dass man etwas Zeit sparen möchte.

Darüber hinaus gibt es Situationen, in denen es scheint, als würde eine der Tätigkeiten die Ausführung der anderen Tätigkeit verbessern. In diesem Zusammenhang gibt es Studien, die zeigen konnten, dass das Kritzeln während dem Anhören eines Telefongesprächs, die Erinnerungsleistung über das Gehörte verbessern kann (Andrade, 2010) oder, dass man Wörter besser lernt, wenn man währenddessen geht oder Fahrrad fährt (Schmidt-Kassow, Kulka, Gunter, Rothermich & Kotz, 2010; Schmidt-Kassow et al., 2013, 2014). Teilweise führen wir eine der beiden Tätigkeiten sogar unbewusst aus, wie zum Beispiel das Benutzen der Finger während des Zählens oder das Herumgehen während des Auswendiglernens.

In den meisten Fällen, in denen wir das Gefühl haben, dass wir zwei Tätigkeiten ohne weitere Probleme gleichzeitig nachgehen können, handelt es sich um eine vorrangig motorische und eine vorrangig kognitive Tätigkeit. Aber auch bei der Kombination von motorischen und kognitiven Tätigkeiten kann es sowohl zu positiven als auch zu negativen Effekten kommen. Woran liegt es, dass die gleiche motorische Bewegung, wie zum Beispiel das Herumgehen in der Wohnung, während des Auswen-

diglernens eines Gedichtes hilft, jedoch während dem Lösen einer komplexeren mathematischen Aufgabe ablenkt?

Da die Bewegung in beiden Beispielen die gleiche ist, kann man vermuten, dass sich die gleiche Bewegung unterschiedlich auf verschiedene kognitive Aufgaben auswirken kann. Im Gegenzug können sich verschiedene Bewegungen unterschiedlich auf die gleiche kognitive Aufgabe auswirken. Die Bewegung und die kognitive Tätigkeit stehen also in einem wechselseitigen Verhältnis zueinander. Die Faktoren, die dieses Verhältnis beeinflussen, können gut an dem Beispiel eines Schülers, der folgende Strophe des Erlkönigs auswendig lernen muss, erklärt werden:

*Dem Vater grauset's; er reitet geschwind,
Er hält in Armen das ächzende Kind,
Erreicht den Hof mit Mühe und Not;
In seinen Armen das Kind war tot.*

J. W. Goethe

In einem ersten möglichen Szenario balanciert der Schüler auf einer schmalen Linie in seinem Zimmer, während er versucht sich den Text der Strophe einzuprägen, indem er sie wiederholt von einem Blatt liest. Das Balancieren erfordert permanent Konzentration und visuelle Aufmerksamkeit, die ebenfalls für das Lesen des Textes benötigt wird. Dieses Problem könnte verringert werden, indem die Strophe über eine Audiowiedergabe präsentiert wird, da somit nur noch für das Balancieren visuelle Aufmerksamkeit benötigt wird. So könnte der Schüler seine Balance verbessern und zeitgleich die Strophe auswendig lernen.

In einem zweiten Szenario gehen wir davon aus, dass der Schüler in einem selbst gewählten Tempo auf dem Sportplatz läuft, während er sich die Strophe entweder vorsagt oder die Strophe über Kopfhörer hört. Das Laufen kann den Schüler körperlich aktivieren, wodurch die Aufmerksamkeit und die Gedächtnisprozesse verbessert werden können.

In einem dritten Szenario läuft der Schüler nun nicht mehr nur gemütlich, sondern er bewegt sich schneller, hüpft und springt. Dabei gestikuliert er manchmal mit den Armen und lässt sich ab und zu auf den Boden fallen. Zunächst würde man davon ausgehen, dass dies den Schüler sicherlich vom Lernen ablenkt. Betrachtet man aber den Inhalt des Ge-

dichtes genauer, so lassen sich die Bewegungen des Schülers in das Gedicht integrieren („er reitet geschwind“ – schnelle Bewegung/Springen; „er hält in den Armen das ächzende Kind“ – Gestik des Haltens eines Kindes; „erreicht den Hof“ – Stoppen der Bewegung; „das Kind war tot“ – Fallen lassen auf den Boden), sodass diese sinnvolle Verknüpfung von Bewegung und Inhalt das Lernen unterstützen kann.

Diese drei beispielhaften Szenarien basieren auf den Annahmen verschiedener Forschungsschwerpunkte, die sich mit den Effekten simultaner Bewegung auf die Gedächtnisleistung beschäftigen.

Der erste dieser Forschungsschwerpunkte beschreibt die *Doppelaufgabenforschung* (siehe Kapitel 3.1), in der unter anderem untersucht wird, wann Bewegung, die simultan mit einer kognitiven Tätigkeit ausgeführt wird, zu Leistungseinbußen in der Kognition oder in der Bewegung führt. Dieser Forschungsschwerpunkt geht davon aus, dass die kognitiven Ressourcen einer Person limitiert sind, und dass jede Tätigkeit Ressourcen aus diesem Gesamtpool bezieht (Kahneman, 1973). Benötigen die Tätigkeiten mehr Ressourcen, als im Gesamtpool zur Verfügung stehen, so sinkt die Leistung in mindestens einer der beiden Tätigkeiten (Kahneman, 1973). Wie hoch diese Leistungseinbußen ausfallen, hängt von Faktoren wie der Aufgabenschwierigkeit und dem Übungsgrad der Person ab (Navon & Gopher, 1979). Möglicherweise können solche Leistungseinbußen jedoch vermieden werden, wenn die Sinneseindrücke von unterschiedlichen Hirnstrukturen verarbeitet werden (Wickens, 1991). Somit soll mithilfe des Ansatzes der Doppelaufgabenforschung untersucht werden, wann Leistungseinbußen entstehen und wie diese zukünftig vermieden werden können.

Der zweite Forschungsschwerpunkt untersucht die *physiologischen und die psychologischen Effekte von physischer Belastung auf die Kognition* (siehe Kapitel 3.2). Dieser Forschungsschwerpunkt konnte zeigen, dass Aufmerksamkeitssteuerung und Gedächtnisprozesse durch den Einfluss von Bewegung auf die Freisetzung von relevanten neurophysiologischen Substraten verbessert werden können (Audiffren, Tomporowski & Zagrodnik, 2008; Loprinzi, Ponce & Frith, 2018; Skriver et al., 2014; Winter et al., 2007).

Der dritte Forschungsschwerpunkt basiert auf der Theorie der *Verkörperten Kognition* (Dackermann, Fischer, Cress, Nuerk & Moeller, 2016; Link et al., 2014; Wendler, 2017), im Folgenden als *Embodied Cog-*

nition bezeichnet (siehe Kapitel 3.3). Dieser Kognitionsansatz hebt sich von traditionellen Kognitionstheorien ab, indem angenommen wird, dass Denkprozesse nicht ausschließlich im Gehirn, sondern im Zusammenspiel mit dem Körper und der Umwelt stattfinden (Barsalou, 2008; Glenberg, 2010; Wilson, 2002). Der Begriff Embodied Cognition wird in der Kognitionspsychologie jedoch unterschiedlich interpretiert (Barsalou, 1999, 2008; Glenberg, 1997; Wilson, 2002) und muss daher in seiner Bedeutung definiert werden. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „Embodied Cognition“ anhand der von Wilson (2002) herausgearbeiteten Taxonomien definiert, die zu einem späteren Zeitpunkt erläutert werden (Kapitel 3.3.1). Als Kernannahme der Embodied Cognition Theorie soll an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Bewegung inhaltlich sinnvoll mit der kognitiven Aufgabe verknüpft sein muss, damit verkörpertes Lernen (Embodiment) einen positiven Einfluss auf die Gedächtnisleistung haben kann.

Alle drei erwähnten Forschungsfelder untersuchen die Effekte von Bewegung auf die Gedächtnisleistung. Während die Doppelaufgabenforschung vorrangig untersucht, wie Leistungseinbußen entstehen, untersuchen die beiden anderen Forschungsschwerpunkte, wie Bewegung die Gedächtnisleistung verbessern kann. In der vorliegenden Arbeit werden die Forschungsschwerpunkte vorgestellt und mithilfe eigener Beiträge, hinsichtlich ihres Erkenntnisgewinns für das Themenfeld Bewegung und Gedächtnis, untersucht. Im Vordergrund steht, wie simultane Bewegung die Gedächtnisleistung größtmöglich begünstigen kann. Abschließend werden die Erkenntnisse der Forschungsschwerpunkte in Form von Empfehlungen zusammengefasst, die, gemeinsam betrachtet, zu einer forschungsschwerpunktübergreifenden Perspektive führen.

2 Struktur der Arbeit

In den folgenden Kapiteln wird der Aufbau der Synopse beschrieben und die Beiträge, die in der kumulativen Dissertation eingebracht werden, benannt. Anschließend wird das Ziel der Synopse geschildert.

2.1 Aufbau der Synopse

Die Synopse zum Thema „Bewegung und Kognition: Einflüsse von simultaner Bewegung auf die Gedächtnisleistung“ ist in mehrere Kapitel gegliedert. Zunächst werden die Beiträge, die Teil der kumulativen Dissertation sind, aufgelistet und der eigene Arbeitsanteil an den jeweiligen Beiträgen beschrieben (Tabelle 1). Daraufhin wird das Ziel der Synopse vorgestellt (Kapitel 2.2). Im Anschluss werden die zugrundeliegenden Theorien und der aktuelle Forschungsstand der drei Forschungsschwerpunkte dargestellt und die eigenen Beiträge in diese eingebettet (Kapitel 3). Demnach wird in Kapitel 3.1 auf den Forschungsschwerpunkt der Doppelaufgabenforschung eingegangen. In Kapitel 3.2 werden die Theorie und die Effekte von physischer Belastung auf die Gedächtnisleistung erläutert. In Kapitel 3.3 wird der Embodied Cognition Ansatz in Bezug auf die Gedächtnisleistung dargestellt. Anschließend werden die zuvor formulierten Empfehlungen anhand der eigenen Beiträge diskutiert (Kapitel 4). Abschließend wird ein Fazit gezogen und ein Modell vorgestellt, das die drei Forschungsschwerpunkte in dem Forschungsfeld von simultaner Bewegung und Gedächtnisleistung integriert (Kapitel 5).

Tabelle 1. *Auflistung und Arbeitsanteile des Autors an den beigefügten Beiträgen, die Bestandteil der kumulativen Dissertation sind.*

Beitrag 1	<p>Amico, G., & Schaefer, S. (eingereicht). Implementing full body movements in a verbal memory task. Searching for benefits but finding mainly costs. Manuskript eingereicht bei <i>Mind, Brain and Education</i></p> <hr/> <p>GA und SS haben das Konzept und das Design der Studie entwickelt und beide zu der Literaturlaufbereitung beigetragen. GA hat die Daten mit Unterstützung von SS analysiert und interpretiert. GA hat das Verfassen und Einreichen des Manuskripts geleitet, SS hat in den letzten Überarbeitungsschritten Hinweise gegeben.</p>
Beitrag 2	<p>Amico, G., Braun, T., & Schaefer, S. (im Review Prozess). Can acute resistance exercise facilitate episodic memory encoding? Manuskript eingereicht bei <i>Psychological Research</i>.</p> <hr/> <p>GA und SS haben das Studiendesign entwickelt und die Daten erhoben. GA hat die Aufbereitung der Literatur vorgenommen. TB und GA haben die Daten analysiert und interpretiert. GA hat das Verfassen und Einreichen des Manuskripts geleitet, mit Beiträgen von SS und TB.</p>
Beitrag 3	<p>Amico, G., & Schaefer, S. (2020). Running during encoding improves word learning for children. <i>Frontiers in Psychology, 11</i>(684). doi:10.3389/fpsyg.2020.00684</p> <hr/> <p>GA und SS haben das Studiendesign gemeinsam entwickelt und an der Literaturübersicht zusammengearbeitet. GA hat die Daten mit Unterstützung von SS aufbereitet, analysiert und interpretiert. GA hat das Verfassen und Einreichen des Manuskripts geleitet, mit substantiellen Beiträgen von SS.</p>
Beitrag 4	<p>Amico, G., & Schaefer, S. (2019). No evidence for performance improvements in episodic memory due to fidgeting, doodling or a “neuro-enhancing” drink. <i>Journal of Cognitive Enhancement</i>. doi:10.1007/s41465-019-00124-9</p> <hr/> <p>SS hat das Konzept der Studie entwickelt. GA und SS haben gleichermaßen zur Entwicklung des Studiendesigns und der Literaturübersicht beigetragen. SS hat die Daten erhoben. GA hat die Daten mit Unterstützung von SS analysiert und interpretiert. GA hat das Verfassen und Einreichen des Manuskripts geleitet, mit Beiträgen von SS.</p>

Die wissenschaftlichen Beiträge, die in dieser kumulativen Dissertation eingebracht werden, sind in Tabelle 1 aufgelistet und nach Publikationsdatum geordnet. Die Beiträge wurden in den Jahren

2019 und 2020 eingereicht. Alle Beiträge sind in englischer Sprache verfasst und in internationalen Journals mit Peer-Review Verfahren eingereicht worden, wobei zwei Beiträge publiziert sind und sich der dritte und vierte Beitrag derzeit in der Einreichungsphase befinden. Alle Beiträge stellen empirische Untersuchungen dar, die im Arbeitsbereich Sportpsychologie und Bewegungswissenschaft der Universität des Saarlandes (Leitung Prof. Sabine Schäfer) durchgeführt worden sind. Alle Beiträge wurden von Gianluca Amico in Erstautorenschaft verfasst. Im Anhang der Synopse sind die Originalbeiträge beigelegt.

2.2 Ziel der Synopse

Das Ziel der Synopse besteht darin, die Forschungsschwerpunkte, die das Themenfeld Bewegung und Kognition umrahmen, zu analysieren und mithilfe der eigenen Beiträge, in diesem Themenfeld miteinander zu verbinden. Der Fokus dieser Verbindung liegt hierbei auf der zeitgleichen Ausübung der Bewegung und der Gedächtnisaufgabe. Schlussendlich sollen die Erkenntnisse dieser Forschungsschwerpunkte in einem Zusammenhang betrachtet werden, um zu spezifizieren, durch welche Mechanismen simultane Bewegung während Gedächtnisaufgaben die Gedächtnisleistung fördern kann. Hierzu wird aus jedem der drei Forschungsschwerpunkte eine Empfehlung abgeleitet, aus denen ein theoretisches Modell zur Optimierung der Effekte von simultaner Bewegung auf die Gedächtnisleistung entstehen soll.

3 Aufarbeitung der Forschungsschwerpunkte

In der internationalen Literatur zum Thema Bewegung während Gedächtnisaufgaben finden sich drei maßgebliche Forschungsschwerpunkte, die bereits in der Einleitung der vorliegenden Arbeit genannt wurden. In den folgenden Kapiteln wird zunächst eine kurze Einführung in die Theorie des jeweiligen Forschungsschwerpunktes gegeben. Im Anschluss wird der aktuelle Forschungsstand des Forschungsschwerpunktes vorgestellt, in den die entsprechenden eigenen Beiträge eingebettet und zusammengefasst werden. Abschließend wird auf Grundlage jedes Forschungsschwerpunktes eine Empfehlung abgeleitet. Gemeinsam betrachtet, beschreiben diese, wie Bewegung gestaltet sein sollte um den größtmöglichen positiven Effekt auf die Gedächtnisleistung zu erzielen.

3.1 Bewegung und Gedächtnis in Doppelaufgabensituationen

Der erste Forschungsschwerpunkt betrachtet die wechselseitigen Effekte von zeitgleich ausgeführten Bewegungen und Gedächtnisaufgaben vor dem Hintergrund der Doppelaufgabenforschung. Hierzu werden im folgenden Kapitel grundlegende Aspekte des theoretischen Aufbaus des Gedächtnisses und des Gedächtnisprozesses erläutert. Desweiteren, wird ein Einblick in das Modell der limitierten Kapazität der Aufmerksamkeit nach Kahneman (1973) gegeben. In Kapitel 3.1.2 wird ausgewählte Literatur der Doppelaufgabenforschung zusammengefasst und einer der eigenen Beiträge darin eingebettet. Abschließend wird auf Grundlage des vorgestellten Forschungsschwerpunktes eine Empfehlung zur Optimierung der positiven Effekte von Bewegung auf das Gedächtnis abgeleitet.

3.1.1 Das Gedächtnis und Theorien der Ressourcenverteilung

Das Gedächtnis ist in drei Systeme aufgeteilt, die sich, in ihrer Fähigkeit Informationen über einen gewissen Zeitraum zu speichern, unterscheiden. Diese Systeme werden als sensorisches Gedächtnis, Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis bezeichnet (Eysenck & Keane, 2010; Weigelt, Krause & Güldenpenning, 2020). Das sensorische Gedächtnis und das Arbeitsgedächtnis sind in ihrer Speicherkapazität und in ihrer Speicherdauer begrenzt. Das Langzeitgedächtnis hingegen hat eine nahezu unbegrenzte Speicherkapazität und kann Informationen über die gesamte Lebensspanne speichern (Eysenck & Keane, 2010; Weigelt et al., 2020).

Die Funktionen der Gedächtnissysteme lassen sich anhand des Speichervorgangs des Gedächtnisprozesses erklären. Es kann angenommen werden, dass für jedes Sinnessystem ein sensorischer Speicher existiert. Dieser filtert die durch die Sinnesorgane aufgenommen Reize und ist in der Lage, ausgewählte Informationen für einen sehr kurzen Zeitraum zu speichern (Gabler, 2004; Weigelt et al., 2020). Der Prozess der Einspeicherung der Information vom sensorischen Gedächtnis in das Arbeitsgedächtnis wird als *Enkodierung* bezeichnet (Weigelt et al., 2020). Danach können die zuvor enkodierten Informationen im Arbeitsgedächtnis bereitgehalten werden (z. B. durch das verbale Wiederholen der Information). Dieser Gedächtnisprozess wird *Retention* genannt (Weigelt et al., 2020). Das aktive und mehrfache Wiederholen von Informationen ermöglicht das Übertragen der Informationen in das Langzeitgedächtnis, wo sie langfristig gespeichert werden können. Dieser abschließende Prozess wird als *Konsolidierung* bezeichnet und kann über mehrere Tage oder Wochen andauern (Weigelt et al., 2020). Um Informationen abzurufen, kann das Arbeitsgedächtnis auf die Informationen aus dem Langzeitgedächtnis zugreifen und diese bearbeiten (Eysenck & Keane, 2010; Weigelt et al., 2020).

Sowohl das Enkodieren und Abrufen von Informationen, als auch das Planen und Ausführen von Handlungen, benötigt Aufmerksamkeit, die auch als *kognitive Ressourcen* oder „effort“ bezeichnet werden (Kahneman, 1973; Wickens, 2002). Das Modell der limitierten Kapazität der Aufmerksamkeit nimmt an, dass nur eine begrenzte Menge an

Aufmerksamkeit zur Verfügung steht. Das Ausführen von mehreren Aufgaben zur gleichen Zeit kann dazu führen, dass die Aufgaben um die vorhandene Aufmerksamkeit konkurrieren (Kahneman, 1973). Zudem beschreibt das Modell Einflussfaktoren, die bestimmen, ob simultan ausgeführte Aufgaben miteinander interferieren oder nicht. Ein Großteil der Studien zum Thema motorisch-kognitiver Doppelaufgabensituationen basieren auf dem Modell der limitierten Kapazität der Aufmerksamkeit. Von daher ist das Modell von besonderer Relevanz für die vorliegende Arbeit. In dem Modell der limitierten Kapazität der Aufmerksamkeit (siehe Abb. 1) werden verschiedene Parameter berücksichtigt, die das Maximum der zur Verfügung stehenden Kapazität und die benötigten Ressourcen beeinflussen können. Kahneman (1973) formuliert hierzu drei essentielle Faktoren.

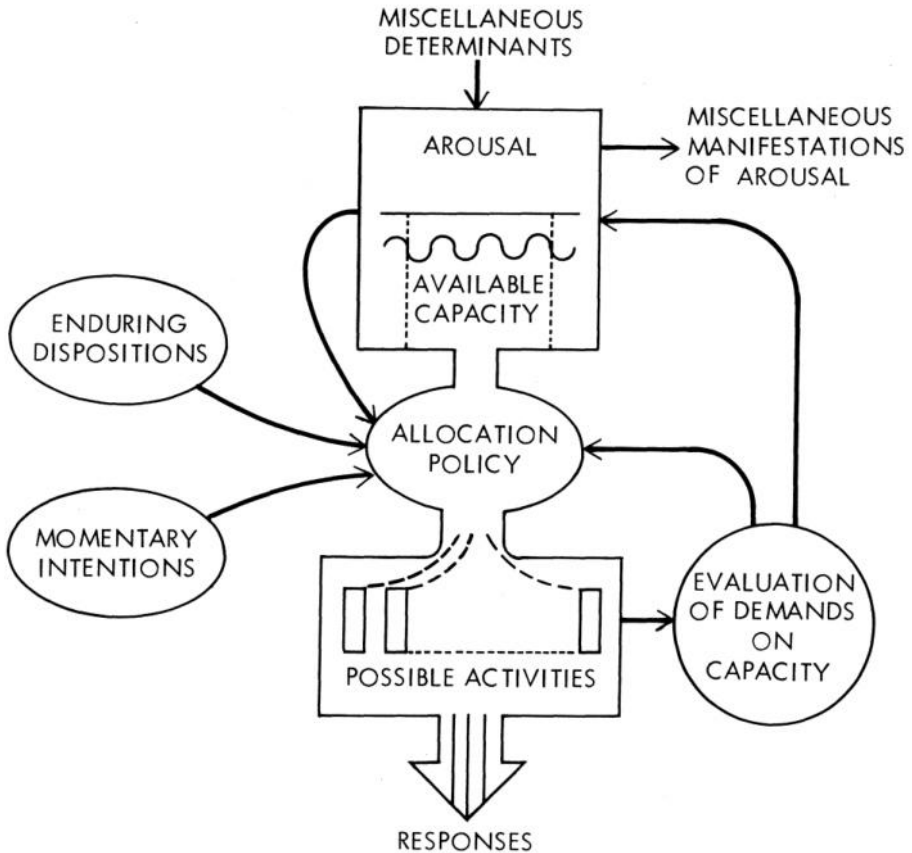


Abbildung 1. Modell der limitierten Kapazität der Aufmerksamkeit nach Kahneman (1973).

Der erste Faktor, *das Maß der Erregung* („arousal“), ist unmittelbar mit der Kapazität der Aufmerksamkeit verbunden. Kahneman (1973) geht in seinem Kapazitätsmodell davon aus, dass die zu Verfügung stehenden Ressourcen bei moderat erhöhter Erregung ansteigen und bei niedriger und hoher Erregung abfallen. Dies begründet er auf dem Gesetz von Yerkes und Dodson (1908), das das Verhältnis zwischen der Leistung in einer Aufgabe und dem Level der Erregung, als eine umgedrehte U-Kurve beschreibt. Eine zu hohe Erregung stört demnach das bewusste Verteilen der Ressourcen auf die gewünschte Aufgabe. Eine zu niedrige Erregung hingegen, zum Beispiel aufgrund von niedriger Motivation oder Ermüdung, kann sich wiederum negativ auf die Einschätzung der benötigten Ressourcen oder auf das Anpassen an die momentanen Gegebenheiten auswirken. Die physiologische Erregung kann über die Pupillenweite, die Hautleitfähigkeit oder auch über die Herzfrequenz gemessen werden (Kahneman, 1973; Weigelt et al., 2020).

Als zweiten Faktor nennt Kahneman (1973) *die Verteilungspolitik*, die die Verteilung der vorhandenen Kapazität auf die Anforderungen der verschiedenen Aufgaben steuert. Hierbei legt er mehrere Faktoren fest, die die Verteilungspolitik beeinflussen: Zum einen spielen Reize, die unwillentlich wahrgenommen werden eine Rolle, wie zum Beispiel der visuelle Reiz eines sich schnell bewegenden Objekts. Zum anderen beeinflussen aber auch bewusste Zielsetzungen oder Instruktionen die Verteilung der Aufmerksamkeit.

Nach Kahneman (1973) wird das Maß der benötigten Aufmerksamkeit durch die Schwierigkeit der Aufgabe beeinflusst, sodass einfache Aufgaben wenig Ressourcen und schwierige Aufgaben viele Ressourcen benötigen. Diese *Einschätzung der Aufgabenanforderung* stellt den dritten Einflussfaktor dar. Übersteigen die benötigten Ressourcen die zur Verfügung stehende Kapazität, so kann dies zum Misslingen oder zur Priorisierung einer der Aufgaben führen. Eine zu hohe Erregung kann dazu führen, dass der Fokus vermehrt auf einzelne Reize fällt, was die Qualität in der Unterscheidung von aufgabenrelevanten und -irrelevanten Reizen stört. Eine Fehleinschätzung der Aufgabenanforderungen erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Erregung nicht adäquat angepasst wird.

Das Kapazitätsmodell von Kahneman (1973) wurde später um die Sichtweise erweitert, dass einer Person nicht nur ein einziger Res-

sourcepool zur Verfügung steht, sondern dass sich die Gesamtkapazität der Aufmerksamkeit auf mehrere physiologisch unabhängige Strukturen aufteilt (Navon & Gopher 1979; Wickens, 1991, 2002). Wickens (2002) stellte hierzu das *Modell der multiplen Ressourcen* auf (siehe Abbildung 2), das folgende vier Dimensionen beschreibt, die sich wiederum in verschiedene Kategorien aufteilen: (1) Die *Stufen der Informationsverarbeitung* (Wahrnehmung, Kognition und Antwort), (2) die *Modalitäten der Wahrnehmung* (auditiv und visuell), (3) die *visuellen Kanäle* (Detailsehen oder Umgebungssehen) und (4) das *Verarbeiten von Codes* (räumlich oder verbal). Daraus lässt sich ableiten, dass Aufgaben umso mehr um Ressourcen konkurrieren, je mehr Kategorien sie auf den jeweiligen Dimensionen miteinander teilen. Diese Annahme konnte durch mehrere Studien unterstützt werden (Duncan, Martens & Ward, 1997; Friedman, Polson, Dafoe & Gaskill, 1982; Herdman & Friedman, 1985).

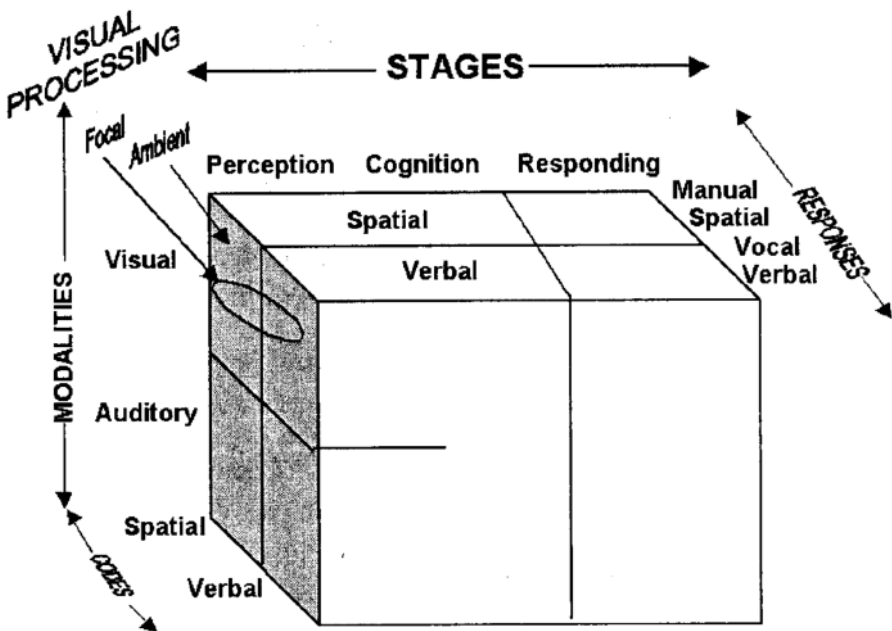


Abbildung 2. Die drei-dimensionale Repräsentation der Struktur der multiplen Ressourcen nach Wickens (2002). Die vierte Dimension (visuelle Verarbeitung) ist in den visuellen Ressourcen genestet.

3.1.2 Effekte von Bewegung in motorisch-kognitiven Doppelaufgabensituationen

Ausgehend von diesem theoretischen Hintergrund untersucht die Doppelaufgabenforschung, wie Aufmerksamkeit aufgeteilt wird, wenn mindestens zwei simultane Aufgaben ausgeführt werden. Dies wurde auch für Doppelaufgabensituationen, bestehend aus einer motorischen und einer Gedächtnisaufgabe, untersucht (Li, Lindenberger, Freund & Baltes, 2001; Lindenberger, Marsiske & Baltes, 2000; Schaefer, Lövdén, Wieckhorst & Lindenberger, 2010). Klassischerweise untersucht die Doppelaufgabenforschung Leistungseinbußen. In der vorliegenden Arbeit soll der Forschungsschwerpunkt jedoch auch im Hinblick auf die Vermeidung dieser Leistungseinbußen betrachtet werden. Das Ausmaß der Leistungseinbußen in der Doppelaufgabensituation kann dabei prozentual in Relation zur Einzelaufgabenleistung des Individuums ausgedrückt werden. Diese Leistungseinbußen werden als Doppelaufgabenkosten bezeichnet (Schaefer, 2014).

In diesem Zusammenhang konnten Studien zeigen, dass Doppelaufgabenkosten mit zunehmender Aufgabenschwierigkeit steigen, ältere Erwachsene und Kinder im Vergleich zu jungen Erwachsenen höhere Kosten zeigen und die motorische gegenüber der kognitiven Aufgabe priorisieren (Doumas, Smolders & Krampe, 2008; Krampe, Schaefer, Lindenberger & Baltes, 2011; Lindenberger et al., 2000; Schaefer, Krampe, Lindenberger & Baltes, 2008; Schaefer et al., 2010). Diese unterschiedliche Priorisierung über die Lebensspanne kann über die *Theorie der Selektiven Optimierung und Kompensation* (Baltes & Baltes, 1990) erklärt werden, die das Verhalten des Menschen als eine *Selektion* aus einer Vielzahl an möglichen Zielen und das darauffolgende *Optimieren* dieser gewählten Ziele beschreibt. Kann man aufgrund bestimmter Umstände, wie zum Beispiel bei Verletzungen oder infolge des altersbedingten motorischen oder kognitiven Abbaus nicht mehr auf gewohnte Weise agieren, so werden alternative Möglichkeiten im Sinne einer *Kompensation* genutzt.

Diese Theorie konnten Li et al. (2001) mit einer Studie mit 40 alten und 37 jungen Erwachsenen unterstützen. Die Probanden mussten auf einem schmalen Pfad gehen, während sie sich Wortlisten einprägten. Die motorische Aufgabe bestand darin den schmalen Pfad möglichst schnell und akkurat entlang zu gehen, wobei die Geschwin-

digkeit und die Schrittgenauigkeit gemessen wurden. Die Gedächtnisaufgabe bestand darin, sich auditiv präsentierte Wörter unter Verwendung einer zuvor trainierten Gedächtnisstrategie einzuprägen. Die Schwierigkeiten beider Aufgaben wurden individuell angepasst. Hierzu wurden entweder die Wörter in kürzeren Abständen präsentiert oder Hindernisse hinzugefügt, die überstiegen werden mussten. Bevor die Doppelaufgabensituation absolviert wurde, wurden die Probanden in den Einzelaufgaben trainiert und in dem Gebrauch zusätzlicher Hilfen instruiert (das Abstützen auf einem Geländer, oder das Einfordern zusätzlicher drei Sekunden beim Enkodieren der Wörter durch einen Knopfdruck). Die Ergebnisse zeigten, dass die Doppelaufgabenkosten für beide Altersgruppen stiegen, wenn die Aufgabenschwierigkeit einer oder beider Aufgaben erhöht wurde. Darüber hinaus zeigten sich höhere Doppelaufgabenkosten bei den alten Erwachsenen im Vergleich zu den jungen Erwachsenen, was die Autoren darauf zurückführen, dass die motorische Kontrolle mit zunehmendem Alter vermehrt kognitive Ressourcen benötigt. Dieser Leistungsunterschied war in der Gedächtnisaufgabe im Vergleich zu der motorischen Aufgabe größer. Dies begründen die Autoren damit, dass die alten Erwachsenen die motorische Aufgabe priorisierten und über die Nutzung des Geländers optimierten, um mögliche Stürze zu vermeiden.

Neben dem Gehen gibt es viele weitere Bewegungen, die im Alltag oftmals zeitgleich mit einer Gedächtnisaufgabe ausgeführt werden. Beispiele hierfür sind das Kritzeln oder Malen, das Tippen mit dem Fuß oder das Beschäftigen der Hände auf verschiedenste Art und Weise (Spielen mit den Haaren oder kleinen Gegenständen etc.). Häufig sind wir uns dabei unsicher, ob diese Bewegungen das Einprägen von Informationen unterstützen oder stören. In diesem Zusammenhang werden sogenannte „Fidget Toys“, wie der Fidget Spinner oder der Stressball, verkauft, die angeblich die Konzentration verbessern können. In der Studie von **Amico** und Schaefer (2019, Beitrag 4) wurden verschiedene Bewegungsformen und ein "Neurostimulierendes" Getränk getestet, die vermeintlich positive Effekte auf die Konzentration und die Aufmerksamkeitsverteilung haben sollen. Hierzu wurden insgesamt 58 Sportstudierende ($M_{\text{Alter}} = 24$ Jahre; davon 24 Frauen) über elf Sitzungen mit jeweils einer Sitzung pro Woche getestet. Die Testungen fanden in drei Seminargruppen

statt mit $n = 18$ in Gruppe 1, $n = 16$ in Gruppe 2 und $n = 24$ in Gruppe 3. Als Gedächtnisaufgabe sollten die Probanden Wortlisten aus jeweils 20 Worten lernen, die in einem Interstimulusintervall von drei Sekunden vom Testleiter vorgelesen wurden. Vor Testbeginn wurden die Probanden über zwei Sitzungen in der Methode der Orte (MdO) geschult, eine episodische Gedächtnisstrategie bei der die zu lernenden Worte mit einer zuvor gelernten Ortsliste zu mentalen Bildern verknüpft werden. Pro Sitzung wurden immer zwei Durchgänge der Gedächtnisaufgabe durchgeführt, wobei der erste Durchgang zu Beginn und der zweite Durchgang am Ende des Seminars durchgeführt wurde. Unmittelbar nachdem das letzte Wort einer Liste vorgelesen wurde, sollten die Probanden die gelernten Wörter in der korrekten Reihenfolge auf ein Blatt Papier schreiben, auf dem die Ortsliste abgetragen war. In einem Messwiederholungsdesign wurde untersucht ob die Nutzung von Fidget Spinnern oder Stressbällen, Kritzeln oder Zeichnen, oder ein vermeintlich neurostimulierendes Getränk, die Leistung in der Gedächtnisaufgabe verbessern. Die Reihenfolge, in der die Teilnehmer die Bedingungen absolvierten, wurde über ein 3 mal 3 Lateinisches Quadrat ausgeglichen verteilt, bei dem die zwei Sitzungen mit ähnlichen Bedingungen immer hintereinander durchgeführt wurden (Fidgetspinner – Stressball, Kritzeln – Zeichnen, Neuronade – Placebo Getränk). Die Tätigkeiten der jeweiligen Bedingungen wurden immer während des Einprägens der zu lernenden Worte durchgeführt. In der *Fidget Spinner Bedingung* sollte der Fidget Spinner gedreht werden. In der *Stressball Bedingung* sollte der Stressball mit einer Hand geknetet werden. In der *Zeichnen Bedingung* sollten möglichst viele Kreise und Vierecke möglichst genau nachgezeichnet werden. In der *Kritzeln Bedingung* sollten die Probanden auf einem Blatt Papier kontinuierlich und ohne Pause kritzeln. Das *Placebo* und *das neurostimulierende Getränk* wurden wenige Minuten vor dem ersten Durchgang getrunken.

Verglichen mit einer Baseline, in der die Probanden nur die Gedächtnisaufgabe bearbeiteten, zeigte sich, dass keines der getesteten Produkte zu Verbesserungen der Gedächtnisleistung führte. Der Fidget Spinner, das Zeichnen und das Kritzeln reduzierten sogar die Gedächtnisleistung. Diese Kosten können anhand der Ressourcenmodelle (Kahneman, 1973; Navon & Gopher, 1979; Wickens, 1991) erklärt werden. Die Behauptung, dass der Fidget Spinner und das Krit-

zeln auf einem Blatt Papier dabei hilft, seine Aufmerksamkeit auf das gewünschte Ziel zu richten, konnten nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse zeigten, dass die motorischen Tätigkeiten eben diese Aufmerksamkeitssteuerung behindern. Insbesondere das Nachzeichnen von Symbolen, das im Vergleich zu den anderen Aufgaben eine schwierige Aufgabe darstellte, erzeugte eine starke Interferenz. Im Gegensatz dazu, führte das Kneten des Stressballs und die Neuronade weder zu Kosten noch zur Förderung der Gedächtnisleistung. Ein Grund für dieses Ergebnis kann darin liegen, dass das Kneten des Stressballs, im Gegensatz zu der Fidget Spinner-, der Kritzeln-, oder der Zeichnen Bedingung, weniger visuelle Kontrolle erfordert. Von daher könnte das Kneten des Stressballs nicht mit dem Erstellen der mentalen Bilder während der Methode der Orte interferiert haben.

Die Ergebnisse konnten zeigen, dass der Ansatz der Doppelaufgabenforschung nicht nur dazu beitragen kann, auftretende Kosten in Doppelaufgabensituationen zu begründen, sondern auch, diese zu vermeiden. Daraus ergibt sich die erste Empfehlung zur Erreichung der bestmöglichen Effekte von simultaner Bewegung auf die Gedächtnisleistung:

Die Bewegung sollte ein mittleres Niveau der Erregung erzeugen und so gestaltet sein, dass sie möglichst wenig mit der Gedächtnisaufgabe um Aufmerksamkeit konkurriert.

3.2 Physische Belastung und Gedächtnisleistung

Der zweite Forschungsschwerpunkt untersucht die Effekte, die chronische und akute physische Belastung auf die Kognition und insbesondere auf das Gedächtnis haben. Hierzu wird im folgenden Abschnitt erläutert, wie physische Belastung den Gedächtnisprozess beeinflussen kann und welche neurophysiologischen und neuropsychologischen Mechanismen hierbei eine Rolle spielen. In Kapitel 3.2.2 werden eigene Beiträge in den aktuellen Forschungsstand eingebettet und eine Empfehlung abgeleitet, die beschreibt, wie Bewegung gestaltet sein sollte, um die positiven Effekte von Bewegung auf die Gedächtnisleistung zu maximieren.

3.2.1 Wirkungsmechanismen von physischer Belastung auf Gedächtnisprozesse

In der Literatur werden verschiedene Faktoren genannt, die durch physische Belastung beeinflusst werden können und mit dem Gedächtnisprozess in Verbindung gebracht werden. Diese Faktoren beschreiben Veränderungen in der physiologischen Erregung oder die Freisetzung von Neurotransmittern, Steroidhormonen und Nervenwachstumsfaktoren (siehe Reviews von Loprinzi, Edwards & Frith, 2017; Loprinzi & Frith, 2019; Loprinzi et al., 2018a; McMorris, 2016).

Physische Belastung kann sich positiv auf die Aufmerksamkeitsleistung auswirken, indem die Wachsamkeit, die Ressourcenverteilung und die exekutive Kontrolle verbessert werden (Audiffren et al., 2008; Loprinzi et al., 2018a; McMorris & Graydon, 2000), was sich wiederum positiv auf den Enkodierungsprozess auswirkt. Diese Veränderungen in der physiologischen Erregung hängen mit der Herzfrequenz, dem Blutdruck und der Hautleitfähigkeit zusammen, die eng mit Veränderungen in der Konzentration verschiedener Neurotransmitter in Verbindung stehen (Cooper, 1973; McMorris, 2016). Diese Neurotransmitter (Noradrenalin, Dopamin, Serotonin) werden durch akute Bewegung vermehrt ausgeschüttet und können wichtige Gedächtnisprozesse wie die Langzeitpotenzierung oder die Konsolidierung verbessern (Cahill & Alkire, 2003; Hansen & Manahan-Vaughan, 2015; Loprinzi et al., 2018a).

Darüber hinaus werden auch Steroidhormone wie Kortisol oder Testosteron mit steigender Intensität der Belastung vermehrt freigesetzt (Gatti & DePalo, 2011). Beide Hormone beeinflussen die Gedächtnisleistung in einer umgedrehten U-Funktion, wobei sehr niedrige und sehr hohe Konzentrationen zu negativen Einflüssen und mittlere Konzentrationen zu positiven Einflüssen führen (Cherrier et al., 2007; Janowsky, Oviatt & Orwoll, 1994; Koutsandréou, Niemann, Wegner & Budde, 2016).

Neben den bereits angesprochenen Neurotransmittern können auch verschiedene Nervenwachstumsfaktoren, wie der Brain Derived Neurotropic Factor (BDNF) oder der Endotheliale Nervenwachstumsfaktor (VEGF-1) den Konsolidierungsprozess positiv beeinflussen (Loprinzi et al., 2017; Skriver et al., 2014; Winter et al., 2007). Eine

ausführlichere Beschreibung dieser Wirkmechanismen findet sich in Amico, Braun & Schaefer (im Review Prozess).

3.2.2 Effekte von physischer Belastung auf die Gedächtnisleistung

Die soeben vorgestellten neurophysiologischen und neuropsychologischen Mechanismen bilden die Grundlagen der meisten Studien aus diesem Forschungsfeld.

Physische Aktivität hat einen positiven Einfluss auf zahlreiche kognitive Funktionen, wie zum Beispiel exekutive Kontroll- und Gedächtnisfunktionen (siehe die Metaanalyse von Chang, Labban, Gapin & Etnier, 2012 und das Review von Tomporowski, Davis, Miller & Naglieri, 2008). Diese positiven Effekte von chronischer physischer Aktivität können durch eine Akkumulation der positiven Effekte von akuter physischer Belastung erklärt werden (Roig, Nordbrandt, Gertsen & Nielsen, 2013).

Bereits eine kurze einmalige physische Belastung kann Kognition im allgemeinen (siehe eine Metaanalyse von Verburch, Königs, Scherder & Oosterlaan, 2014) aber auch die Gedächtnisleistung positiv beeinflussen (Loprinzi et al., 2019; McMorris & Hale, 2012; Roig et al., 2013, 2016; Tomporowski, 2003).

Die Intensität der Bewegung kann diesen Effekt auf die Gedächtnisleistung beeinflussen. Als Ursache hierfür kann der positive Zusammenhang zwischen der Intensität der Bewegung und der Ausschüttung von Hormonen, Neurotransmittern und Nervenwachstumsfaktoren gesehen werden (Gatti & DePalo, 2011; Hötting, Schickert, Kaiser, Röder & Schmidt-Kassow, 2016; Knaepen, Goekint, Heyman, & Meeusen, 2010; Segal, Cotman & Cahill, 2012; Winter et al., 2007). Ein optimales Intensitätslevel der Bewegung für jedes der relevanten neurobiologischen Substrate konnte noch nicht bestimmt werden. Bisherige Reviews und Metaanalysen kommen jedoch zu dem Schluss, dass moderate bis submaximale Intensitäten am wirksamsten sind (Loprinzi, 2019; Roig et al., 2013, 2016).

Darüber hinaus kann die Belastungsdauer den Effekt von Bewegung auf das Gedächtnis beeinflussen. Kurze Belastungen können dazu führen, dass kein signifikanter Anstieg in der Konzentration von Neurotransmittern oder Nervenwachstumsfaktoren erfolgt, die für den Gedächtnisprozess relevant sind (McMorris & Hale, 2012). Zu

lange Belastungen von über 60 Minuten können wiederum negative Effekte, wie zum Beispiel Dehydrierung auslösen (Tomprowski, 2003).

Der Zeitpunkt der Belastung stellt einen weiteren entscheidenden Faktor dar, der beeinflusst, welche Phasen des Gedächtnisprozesses angesprochen werden. Eine akute Belastung nach dem Enkodieren könnte einen stärkeren Einfluss auf den Konsolidierungsprozess haben, wohingegen eine physische Belastung vor oder während des Enkodierens insbesondere auf den Prozess der Enkodierung wirken könnte (Roig et al., 2016). Der Einfluss von physischer Belastung auf die Gedächtnisleistung vor oder nach dem Enkodieren wird bereits seit über einem Jahrzehnt untersucht (Coles & Tomprowski, 2008; Etnier, Labban, Piepmeier, Davis & Henning, 2014; Hötting et al., 2016; Labban & Etnier, 2011; Pesce, Crova, Cereatti, Casella & Bellucci, 2009; Pyke et al., 2020; Schramke & Bauer, 1997). Der Fokus dieser Arbeit liegt jedoch auf der zeitgleichen Ausübung der Bewegung und einer Gedächtnisaufgabe. Hierzu konnte die Arbeitsgruppe um Schmidt-Kassow einige Studien publizieren, die positive Effekte von simultaner Bewegung auf das Lernen von Vokabeln in einer Fremdsprache zeigen (Schmidt-Kassow et al., 2010, 2013, 2014).

In der Studie von Schmidt-Kassow et al. (2010) wurden die Probanden über 3 Wochen getestet, mit je drei Testsitzungen pro Woche. In jeder Sitzung wurden insgesamt dreimal, 80 Französisch-Deutsche Wortpaare über Kopfhörer abgespielt, die sich die Probanden möglichst gut einprägen sollten. Währenddessen fuhren die Probanden entweder bei moderater Intensität (mittlere Herzfrequenz von 103 S/min) auf einem Fahrradergometer, oder sie saßen auf einem Stuhl. Die Gedächtnisleistung wurde jede Woche nach der dritten Sitzung getestet, indem die Probanden, nach dem jeweils korrespondierenden deutschen Wort eines Wortpaares, gefragt wurden. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass Probanden, die während des Enkodierens auf dem Fahrradergometer gefahren sind, mehr Vokabeln erinnerten als Probanden, die sich zuvor nicht bewegten.

Ähnliche Ergebnisse fanden Schmidt-Kassow et al. (2013) in einer späteren Studie, in der insgesamt 105 junge Erwachsene in einer vergleichbaren Vokabellernaufgabe getestet wurden. Wie bereits in der Vorgängerstudie, sind die Probanden während des Enkodierens entweder auf einem Fahrradergometer gefahren oder haben sich nicht

bewegt. Neben der Gedächtnisleistung wurde ebenfalls die BDNF-Konzentration und die Herzfrequenz gemessen. Die Ergebnisse der Studie zeigten erneut eine bessere Gedächtnisleistung in der Gruppe, die auf dem Fahrradergometer gefahren ist, als auch einen signifikanten Anstieg in der Herzfrequenz, verglichen mit der Kontrollgruppe. Die periphere BDNF Konzentration hat sich jedoch nicht zwischen den Gruppen unterschieden. Dies führen die Autoren auf eine zu geringe Belastungsintensität zurück, die möglicherweise nicht ausreichte, um die BDNF Konzentration zu erhöhen.

In einer dritten Studie konnten Schmidt-Kassow et al. (2014) zeigen, dass bereits eine sehr geringe Belastungsintensität ausreichend sein kann, um die episodische Gedächtnisleistung zu verbessern. In dieser Studie wurden die Probanden in einem Messwiederholungsdesign getestet. In einer Sitzung haben die Probanden Wortpaare während des Gehens, in ihrer bevorzugten Geschwindigkeit, enkodiert und in einer anderen Sitzung haben sie die Vokabeln während des Sitzens gelernt. Es wurde erneut kein Unterschied in der BDNF Konzentration zwischen den Bedingungen gefunden, jedoch zeigte sich ein positiver Zusammenhang für Kortisol und Gedächtnisleistung. Unerwarteterweise hing der Anstieg des Kortisollevels jedoch nicht mit der Bewegung zusammen.

In diesem Zusammenhang haben Amico und Schaefer (2020, Beitrag 3) einen ersten Schritt getan, den Forschungsschwerpunkt der Doppelaufgabenforschung und der physischen Belastung gemeinsam zu betrachten. Hierzu wurde eine entwicklungspsychologische Perspektive eingenommen, die den kognitiven und motorischen Entwicklungsstand der Probanden mitberücksichtigt. In der Studie wurden Kinder ($n = 24$), junge Erwachsene ($n = 30$) und ältere Erwachsene ($n = 24$) aus einem Basketballverein in einem Zwischen-Subjekt Design getestet. Innerhalb einer Testsitzung lernten die Probanden eine Liste mit 20 Wortpaaren, die jeweils aus einem deutschem und einem fiktiven Wort bestanden. Jedes Wortpaar wurde für sechs Sekunden auf einer Leinwand gezeigt, bevor es für weitere sieben Sekunden ausgeblendet wurde. Innerhalb dieser sieben Sekunden ist ein Teil der Gruppe eine Strecke von 14 Metern gelaufen (Laufen Bedingung), ein anderer Teil hat während des Laufens zusätzlich einen Basketball geprellt (Basketball Bedingung) und die dritte Gruppe hat sich während des Einprägens nicht bewegt (Kontrollbedingung). Direkt im

Anschluss mussten die Probanden das deutsche und das Pseudowort mithilfe einer Laptoptastatur eingeben. Hierfür hatten sie 15 Sekunden Zeit, bevor das nächste Wortpaar aus der Liste, im soeben geschilderten Ablaufschema, präsentiert wurde. Nachdem alle 20 Wortpaare einer Liste präsentiert worden waren, wurde die Gedächtnisleistung in einem Vokabeltest getestet. Den Probanden wurde hierzu das deutsche Wort präsentiert, danach sollten sie das passende Pseudowort erinnern und mit der Laptoptastatur eingeben. Insgesamt wurden den Probanden die gleichen 20 Wortpaare dreimal präsentiert, wobei nach jedem vollständigen Präsentationsdurchgang ein Vokabeltest durchgeführt wurde. Am Folgetag wurde ein weiterer Vokabeltest über ein Online-Fragebogen durchgeführt.

Es wurde vermutet, dass die Gedächtnisleistung, durch das Laufen ohne Ball während dem Enkodieren, verbessert wird. Diese Annahme basiert auf den zuvor vorgestellten Studien, die zum einen eine bessere Gedächtnisleistung durch simultane Bewegung (Schmidt-Kassow et al., 2010, 2013, 2014) und zum anderen den positiven Einfluss von akuter Belastung auf das Einstellen einer optimalen physiologischen Erregung zeigen konnten (Audiffren et al., 2008; McMorris & Graydon, 2000). Darüber hinaus wird die Annahme durch den positiven Zusammenhang von Bewegung und der Freisetzung von neurobiologischen Substraten, die den Gedächtnisprozess verbessern können, unterstützt (Chmura, Nazar & Kaciuba-Uscilko, 1994; Davranche, Audiffren & Denjean, 2006; Roig et al., 2013). Das zusätzliche Prellen des Basketballs sollte die Aufgabenschwierigkeit erhöhen und somit vermehrt Aufmerksamkeit benötigen. Junge Erwachsene sollten jedoch aufgrund ihrer Expertise im Dribbeln in der Lage sein, die erhöhten Anforderungen in der Basketball Bedingung zu kompensieren, da das Dribbeln mit ausreichend Erfahrung automatisch und nahezu ohne Aufmerksamkeit ausgeführt werden kann (Fitts und Posner, 1967). Kinder hingegen benötigen mehr Aufmerksamkeit und haben generell weniger Ressourcen zur Verfügung. Ältere Erwachsene müssen hingegen degenerative Prozesse in der Motorik und in der Kognition kompensieren (Kahneman, 1973; Navon and Gopher, 1979; Schaefer, 2014).

Die vermuteten positiven Effekte der physischen Belastung auf die episodische Gedächtnisleistung konnten nur in der Gruppe der Kinder gezeigt werden. Diese erinnerten signifikant mehr Wörter korrekt,

wenn sie während des Enkodierens gelaufen waren im Vergleich dazu, wenn sie sich nicht bewegt hatten. Für die jungen und älteren Erwachsenen konnte dieser positive Effekt nicht gezeigt werden. Vermutlich lag dies zum einen an der zu geringen physischen Beanspruchung der jungen Erwachsenen und zum anderen an den Bodeneffekten der Gedächtnisleistung der älteren Erwachsenen. Die zweite Annahme, dass die Gedächtnisleistung während der Basketballbedingung für die Kinder und älteren Erwachsenen, im Vergleich zu den anderen Bedingungen niedriger ist, konnte nicht bestätigt werden. Hier zeigten sich bei den Kindern und den älteren Erwachsenen keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Bedingungen. Lediglich bei den jungen Erwachsenen wurde, wie vermutet, kein Unterschied zwischen den Bedingungen gefunden. Diese Ergebnisse können erneut auf die zu hohen Leistungsanforderungen an die älteren Erwachsenen zurückgeführt werden. Desweiteren ist es möglich, dass die Kinder bereits über ausreichend Expertise verfügten, sodass das Prellen des Balles nahezu automatisiert ausgeführt werden konnte.

Zusätzliche Marker der physiologischen und neuropsychologischen Reaktion, wie zum Beispiel Herzfrequenz, Laktatkonzentration, Kortisol, Testosteron oder BDNF, könnten weitere Erkenntnisse über die zugrundeliegenden Mechanismen liefern. Darüber hinaus konnte in der vorgestellten Studie nur darüber spekuliert werden, mit welchen Strategien und Mitteln sich die Probanden die Vokabeln eingeprägt haben (z. B. verbales Wiederholen oder tiefes Enkodieren). Da Kinder, im Vergleich zu Erwachsenen, kognitive Strategien noch nicht konsistent nutzen und sich Individuen in den genutzten Strategien unterscheiden können (Ornstein, 1978; Schneider, 2008), sollten zukünftige Studien die Verwendung von kognitiven Strategien kontrollieren.

Bisher hat sich die Forschung bei der Untersuchung von akuten Effekten vorwiegend auf kardiovaskuläre körperliche Beanspruchung fokussiert, jedoch nimmt das Interesse an den positiven Effekten von Krafttraining auf das Gedächtnis zu (Cutler, Connolly, LaFrance & Lowry, 2018; Loprinzi, Edwards & Frith, 2018; Weinberg, Hasni, Shinohara & Duarte, 2014). Der Einfluss einer akuten Kraftübung auf das episodische Gedächtnis, die während der Enkodierphase ausgeführt wurde, wurde bisher noch nicht systematisch untersucht.

In diesem Zusammenhang haben Amico, Braun und Schaefer (im Review Prozess, Beitrag 2) 85 Sportstudierende im Verlauf eines Se-

mesters in einer episodischen Gedächtnisaufgabe getestet. Die Studierenden waren in drei Seminargruppen aufgeteilt, wobei in Gruppe 1 $n = 15$, in Gruppe 2 $n = 13$ und in Gruppe 3 $n = 30$ Studierende waren. Insgesamt bestand die Studie aus 14 Testterminen, mit jeweils einer Testung pro Seminar pro Woche. In den ersten drei Testsitzungen wurden die Studierenden in der Verwendung der Methode der Orte geschult, einer kognitiven Gedächtnisstrategie, bei der man ein mentales Bild aus dem zu lernenden Inhalt und einem gut bekannten Ort erstellt. Durch diese Instruktion wurde für die Verwendung anderer Strategien kontrolliert. Die Gedächtnisaufgabe bestand darin, sich 20 Wörter, die von der Testleiterin in 2,5 Sekunden Abständen vorgelesen wurden, in der korrekten Reihenfolge zu merken und diese anschließend auf einem Blatt Papier aufzuschreiben. In jeder Testsitzung wurden je zwei Listen mit jeweils 20 Wörtern vorgelesen. Im Verlauf der Studie hat jeder Proband die Gedächtnisaufgabe in drei verschiedenen Bedingungen absolviert, sodass die Probanden während des Einprägens der Wörter entweder gesessen (Kontrollbedingung), eine Kniebeuge für jedes zweite Wort gemacht (langsame Kniebeugen Bedingung), oder eine Kniebeuge für jedes Wort gemacht haben (schnelle Kniebeugen Bedingung). Jede der Bedingungen wurde im Verlauf der Studie von jedem Probanden dreimal durchgeführt. Die Kniebeugen wurden als Kraftübung ausgewählt, da diese aus langsamen und rhythmischen Bewegungen bestehen und nur ein geringes Maß an Geräuschen produzieren, wodurch die Ablenkung der Aufmerksamkeit minimiert werden konnte. Zur Kontrolle der Belastungsintensität wurde die Herzfrequenz während der Enkodierphase gemessen.

Unter der Berücksichtigung der Literatur zu den positiven Effekten von kardiovaskulären physischen Belastungen auf die Gedächtnisleistung (Schmidt-Kassow et al., 2010, 2013, 2014) und der Optimierung der Aufmerksamkeit durch ein erhöhtes Niveau der Erregung (Kahneman, 1973; Navon & Gopher, 1979; Schaefer, 2014; Wickens, 1991) wurde angenommen, dass die Gedächtnisleistung mit gesteigerter Intensität der Kraftübung zunimmt. Zu beachten ist, dass die langsamen Kniebeugen unter Berücksichtigung der Wiederholungszahlen und der Herzfrequenz als niedrig intensiv und die schnellen Kniebeugen als mittel intensiv eingestuft wurden und somit

den empfohlenen Belastungsintensitäten entsprechen (Loprinzi et al., 2019; Roig et al, 2013, 2016).

Entgegen unseren Erwartungen erzielten die Probanden während der Kontrollbedingung die besten Gedächtnisleistungen, gefolgt von der schnellen-Kniebeugen-Bedingung und der langsamen-Kniebeugen-Bedingung. Zudem zeigte sich, dass sich die Gedächtnisleistung über die Zeit in den drei Bedingungen unterschiedlich stark verbesserte. Während die Gedächtnisleistungen in der Kontroll- und in der schnellen-Kniebeugen-Bedingung parallel anstiegen, stieg sie in der langsamen-Kniebeugen-Bedingung steiler an, sodass sich die Gedächtnisleistung zwischen den beiden aktiven Bedingungen zum letzten Messzeitpunkt nicht mehr voneinander unterschieden.

Es ist möglich, dass die geringeren Gedächtnisleistungen in den aktiven Bedingungen darauf zurückzuführen sind, dass das Ausführen von Kniebeugen während des Einprägens der Wörter eine kognitiv-motorischen Doppelaufgabe darstellte. Hierfür spricht auch die sehr niedrige Leistung in der langsamen-Kniebeugen-Bedingung, da hier das Ausführen jeder zweiten Kniebeuge unterdrückt werden musste. Die Interaktion von Bedingung und Testzeitpunkt zeigt jedoch, dass die durch die Doppelaufgabe entstandenen Kosten mit zunehmender Erfahrung reduziert werden können. Durch ausreichend Übung könnten die Kosten möglicherweise gänzlich aufgehoben werden.

Möglicherweise hat das Ausführen der Kniebeugen, die Mechanismen, die zur Verbesserung der Enkodierung und der Konsolidierung führen sollten, nicht ausgelöst. Die gemessene Herzfrequenz bestätigte zwar die gewünschte niedrige bis moderate Belastungsintensität, jedoch konnte kein direkter Zusammenhang mit der Gedächtnisleistung gefunden werden. Zudem könnte die Belastungsdauer von circa zwei Minuten pro Testtermin zu kurz gewesen sein, um für die Enkodierung und Konsolidierung wichtige neurophysiologische und neuropsychologische Veränderungen hervorzurufen. Schlussendlich ist immer noch wenig darüber bekannt, ob Krafttraining die Gedächtnisleistung über die gleichen Mechanismen wie ein kardiovaskuläres Training beeinflussen kann und ob die Empfehlungen zu Intensität, Dauer und Zeitpunkt der Belastung, übertragbar sind.

Zusammenfassend konnte in der vorgestellten Literatur zum Forschungsschwerpunkt *physische Belastung und Gedächtnisleistung*

gezeigt werden, dass Bewegung positive Einflüsse auf den Gedächtnisprozess ausüben kann. Die beiden ausgewählten Beiträge von Amico und Schaefer (2020) und Amico et al. (im Review Prozess) bestätigen dies insbesondere dann, wenn die Empfehlung aus dem Forschungsschwerpunkt der Doppelaufgabenforschung berücksichtigt wurde (Kapitel 3.1.2). Ausgehend von diesen Erkenntnissen lässt sich die zweite Empfehlung zur Erreichung der bestmöglichen Effekte von simultaner Bewegung auf die Gedächtnisleistung ableiten:

Die durch die Bewegung induzierte physische Belastung sollte so gesteuert werden, dass die physiologischen und neuropsychologischen Reaktionen des Körpers die bestmöglichen Effekte auf das Gedächtnis zeigen.

3.3 Embodied Cognition und Gedächtnisleistung

Der dritte Forschungsschwerpunkt beschäftigt sich mit dem Ansatz der verkörperten Kognition (engl. Embodied Cognition). Dieses psychologische Modell der Kognition wird im folgenden Kapitel erläutert und anhand verschiedener Annahmen begrifflich eingegrenzt (Kapitel 3.3.1). Im Anschluss werden positive Effekte von Embodied Cognition auf die Kognition und auf das Gedächtnis vorgestellt, eigene Beiträge in diesen Kontext eingebettet und eine weitere Empfehlung zur Optimierung der positiven Effekte von Bewegung auf das Gedächtnis abgeleitet (Kapitel 3.3.2).

3.3.1 Der Embodied Cognition Ansatz

Embodied Cognition hebt sich von traditionellen Kognitionsmodellen ab, indem es davon ausgeht, dass das Gehirn nicht ausschließlich abstrakte amodale Symbole verarbeitet, sondern dass auch sensomotorische Erfahrungen und körperliche Zustände essentiell in höheren kognitiven Prozessen verankert sind (Barsalou, 2008; Glenberg, 2010). Hierbei wird vermutet, dass der menschliche Verstand auf Mechanismen beruht, die sich aus der Interaktion mit der Umwelt entwickelt haben, einschließlich motorischer Kontrolle und sensorischer Verarbeitung (Glenberg, 2010; Wilson, 2002). Kognition kann dem-

nach nicht losgelöst vom eigenen Körper und der Umwelt betrachtet werden.

Wilson (2002) stellt dabei heraus, dass die Interpretationen des Begriffs *Embodied Cognition* stark divergieren. Damit der Begriff Embodied Cognition weiterhin sinnvoll verwendet werden kann, schlägt sie vor, die verschiedenen Behauptungen des Embodied Cognition Ansatzes zu untersuchen. Hierzu nennt sie folgende sechs Behauptungen, die mit Embodied Cognition in Verbindung gebracht werden:

- (1) *Kognition ist situiert.* Kognition steht immer im Kontext mit der Umwelt und bezieht somit stets Wahrnehmung und Handlung mit ein.
- (2) *Kognition entsteht unter Zeitdruck.* Kognition entsteht unter dem Druck der Echtzeit in Interaktion mit der Umwelt.
- (3) *Wir laden kognitive Arbeit auf die Umgebung ab.* Da unsere Fähigkeiten der Informationsverarbeitung limitiert sind, nutzen wir die Umwelt, um Informationen für uns zu speichern.
- (4) *Die Umwelt ist Teil des kognitiven Systems.* Der Informationsfluss zwischen Verstand und Umwelt ist so kontinuierlich und dicht, dass Kognition nicht nur auf Basis des Verstandes untersucht werden kann.
- (5) *Kognition ist für Handlungen da.* Kognitive Prozesse wie Wahrnehmung und Gedächtnis haben das Ziel, situationsangemessene Handlungen zu unterstützen.
- (6) *Offline Kognition basiert auf dem Körper.* Auch kognitive Prozesse, die abstrakte Vorstellungen behandeln und von der Umwelt losgelöst sind, basieren auf der Interaktion mit der Umwelt und sensomotorischen Prozessen.

Wilson (2002) stellt dabei in Frage, ob alle Behauptungen zutreffend sind. Dennoch lässt sich der Begriff *Embodied Cognition* anhand der Annahme oder Ablehnung einzelner Behauptungen eingrenzen. In der vorliegenden Arbeit umfasst Embodied Cognition alle von Wilson (2002) formulierten Behauptungen, ausgenommen der vierten (Die Umwelt ist Teil des kognitiven Systems), da diese aus derzeitiger Sicht nicht überprüfbar ist. Herauszustellen ist, dass auch die anderen Behauptungen noch nicht ausreichend belegt sind, jedoch zunehmend Interesse und Evidenz für den Embodied Cognition Ansatz gewonnen wird (Beilock, 2008; Loeffler, Canal-Bruland & Raab, 2020;

Loeffler, Raab & Canal-Bruland, 2016; Mavilidi et al., 2018; Skulmowski & Rey, 2018). Mehrere experimentelle Studien und Reviews konnten zeigen, dass der Körperzustand und die Handlungsziele die Wahrnehmung beeinflussen können (Canal-Bruland & van der Kamp, 2009; Proffitt, 2006, 2013; Proffitt, Bhalla, Gossweiler & Midgett, 1995) und dass Menschen kognitive Arbeit auf ihre Umwelt oder ihren Körper auslagern (Goldin-Meadow, Nusbaum, Kelly & Wagner, 2001; Kirsh & Maglio, 1994; Pouw, de Nooijer, van Gog, Zwaan & Paas, 2014). Zudem konnte gezeigt werden, dass abstrakte Konzepte auf dem Verständnis des eigenen Körpers und der Umwelt basieren (Lakoff & Johnson, 1980; Miles, Nind & Macrae, 2010; Torralbo, Santiago & Lupianez, 2006) und dass Gegenstände in Abhängigkeit ihres Aufforderungscharakters wahrgenommen werden (Gibson, 1979; Madan & Singhal, 2012).

3.3.2 Effekte von Embodiment auf die Gedächtnisleistung

Welchen Einfluss hat der Embodied Cognition Ansatz nun auf den Zusammenhang von Bewegung und Gedächtnis? Durch die enge Verknüpfung des Denkprozesses mit dem Körper und der Umwelt geht der Embodied Cognition Ansatz davon aus, dass Bewegung, die sinnvoll mit einer Gedächtnisaufgabe verknüpft ist, den Gedächtnisprozess verbessern kann. In diesem Sinne können durch die Bewegung wahrgenommene sensomotorische Informationen dazu beitragen, eine stärkere Erinnerung zu formen. Darüber hinaus können diese sensomotorischen Informationen während dem Erinnerungsprozess reaktiviert werden, um vergangene Erfahrungen zu simulieren (Barsalou, 1999). Diese Simulationen können aufgrund ihrer multimodalen Struktur sehr detailreich sein und umfassen neben sensorischen Informationen auch relevante motorische und mentale Zustände, die Teil der ursprünglichen Erfahrung sind (Dijkstra & Zwaan, 2014).

In diesem Zusammenhang konnten Studien positive Effekte von Embodiment auf das episodische Gedächtnis nachweisen. Dijkstra, Kaschak und Zwaan (2007) haben junge und ältere Erwachsene darum gebeten, sich acht Erinnerungen in Kombination mit entweder einer kongruenten oder einer inkongruenten Körperposition zu merken. Ein Beispiel einer kongruenten Körperposition für die Erinnerung an einen Zahnarztbesuch war das Hinlegen auf eine Liege. Beide

Altersgruppen erinnerten in einem freien Abruf zwei Wochen später mehr Erinnerungen, die mit einer kongruenten Bewegung assoziiert waren. Dieser positive Effekt von kongruenten Körperbewegungen wurde auch beim Einprägen von Vokabeln oder Sätzen gezeigt (Engelkamp & Cohen, 1991; Hainselin, Picard, Manolli, Vankerkore-Candas & Bourdin, 2017; Jahn & Engelkamp, 2003; Manzi & Nigro, 2008; Toumpaniari, Loyens, Mavilidi & Paas, 2015).

Darüber hinaus kann Embodiment Kindern helfen, neues Wissen zu lernen (Lozada & Carro, 2016; Mavilidi, Okely, Chandler & Paas 2016, 2017). So zeigten Lindgren, Tscholl, Wang und Johnson (2016), die Schüler in die Rolle eines Asteroiden versetzten, dass Embodiment das Lernen von wissenschaftlichem und physikalischem Wissen verbessern kann. Die Schüler nutzten ihren Körper in einer interaktiven und immersiven Ganzkörper-Simulation, um Gesetze der Gravitation und planetarer Bewegungen zu lernen. Die Kontrollgruppe lernte die gleichen Inhalte, indem sie eine Desktop-Version der Simulation nutzten. Die Ergebnisse zeigten signifikant höhere Lernerfolge, ein höheres Maß an Engagement und eine positivere Haltung gegenüber Wissenschaft in der Gruppe der Schüler, die in der Ganzkörper-Simulation gelernt hatten.

Das Lernen von numerischen Konzepten und das Verständnis für mentale Repräsentationen von abstrakten Zahlengrößen konnte ebenfalls effektiv durch verkörperte Trainings verbessert werden (Fischer, Moeller, Bientzle, Cress & Nuerk, 2011). Link, Moeller, Huber, Fischer und Nuerk (2013) baten Erstklässler darum, entweder zu einer bestimmten Position auf einem Zahlenstrahl auf dem Boden zu gehen (embodied Bedingung) oder auf die Position der Zahl auf einem Zahlenstrahl zu zeigen, die auf einen Tablet-PC angezeigt wurde (z. B.: "Zeige auf die Position der Nummer 75 auf dem Zahlenstrahl, auf dem die Zahlen 0 und 100 abgetragen sind"). Nach drei Trainingseinheiten von je 20 Minuten wurde die Leistung der Kinder in einer Papierversion der Zahlenstrahl Aufgabe und in einer zuvor nicht trainierten Additionsaufgabe gemessen. Die Ergebnisse zeigten bessere Leistungen für Kinder, die an dem embodied Training teilgenommen hatten, im Vergleich zu Kindern, die in der Kontrollgruppe trainiert worden waren. Diese positiven Effekte eines auf Embodiment basierenden Trainings auf das mathematische Verständnis konnten auch bereits

nach einer einmaligen Trainingssitzung für Erstklässler gezeigt werden (Ruiter, Loyens & Paas, 2015).

Eine Studie von Schaefer (2018) konnte die Befunde zu Embodiment kürzlich auf eine räumliche Arbeitsgedächtnisaufgabe ausweiten. Sie testete 7- und 9-jährige Kinder in einer räumlichen 2-zurück Aufgabe und junge Erwachsene in einer 3-zurück Aufgabe in einem Innersubjekt-Design. Die Stimuli wurden in einer Reihe von neun nebeneinander positionierten Feldern auf dem Boden präsentiert. Die Teilnehmer hatten die Instruktion, die Abfolge der Stimulus-Felder (Zielfelder leuchteten rot auf) zu beobachten und immer, wenn ein Stimulus an der gleichen Position präsentierte wurde wie zwei oder drei Positionen zuvor, "tap" zu sagen (n-back). Während die n-zurück Aufgabe bearbeitet wurde gingen die Teilnehmer entweder in die Zielfelder (embodied Bedingung), oder sie blieben an ihrer Position stehen (Kontrollbedingung). Die Ergebnisse zeigten, dass 7-Jährige von Embodiment profitierten, während 9-Jährige und junge Erwachsene nicht profitierten.

Loeffler et al. (2016) postulieren in einem Review, dass sich Embodiment-Effekte über die Lebensspanne unterschiedlich auswirken und dass dies darauf zurückgeht, ob der Embodiment-Prozess auf *neuen Assoziationen* oder auf *reaktivierten Assoziationen* basiert. Die Autoren gehen davon aus, dass sich größere Embodiment-Effekte bei Kindern finden, wenn Embodiment auf neuen Assoziationen beruht. Basieren die Embodiment-Prozesse hingegen auf reaktivierten Assoziationen, dann sollten die Effekte bei älteren Erwachsenen größer sein, da diese auf weitaus mehr Erfahrungen zurückgreifen können.

Anknüpfend an das Review von Loeffler et al. (2016) und die Studie von Schaefer (2018) haben Amico und Schaefer (derzeit eingereicht, Beitrag 1) die Effekte von Embodiment auf die Leistung in einer verbalen Gedächtnisaufgabe im Altersvergleich untersucht. Der Beitrag teilt sich in zwei aufeinanderfolgende Experimente. In Experiment 1 wurden Kinder und Jugendliche der Klassenstufen eins bis zehn und junge Erwachsene ($N = 148$, 73 Frauen) in Gruppensitzungen in einer Turnhalle getestet. Die Aufgabe bestand darin, sich immer länger werdende Serien von Zahlen einzuprägen während man entweder saß (Kontrollbedingung) oder zu Gymnastikmatten ging, auf denen die Nummern von eins bis neun platziert waren (embodied Bedingung). Jeder Proband nahm an beiden Bedingungen teil, wobei

die Reihenfolge der Bedingungen randomisiert wurde. Die Zahlenreihenlängen variierten von drei bis neun Zahlen für Erstklässler, bis hin zu drei bis elf Zahlen für junge Erwachsene, um Boden- oder Deckeneffekte zu vermeiden. Die Zahlen wurden mit einem Interstimulusintervall (ISI) von sechs Sekunden über Lautsprecher präsentiert. In der Kontrollbedingung wurden die Zahlen zusätzlich auf einer Leinwand präsentiert. Nachdem jeweils die letzte Zahl einer Zahlenreihe präsentiert worden war, hatte jeder Proband ausreichend Zeit, um seine Antwort auf einem Blatt Papier aufzuschreiben. Jede korrekt wiedergegebene Zahlenreihe zählte als ein Punkt.

Die Ergebnisse zeigten eine verringerte Gedächtnisleistung in der embodied Bedingung für alle Altersgruppen außer der jüngsten. Ein Grund für diesen Befund könnte darin liegen, dass Laufen das Anwenden von Gedächtnisstrategien stört, die nur von älteren Kindern und Erwachsenen genutzt werden (Ornstein, 1978). Zudem ist es möglich, dass die Gruppentestung insbesondere die embodied Bedingung gestört hat, da sich eine Gruppe beim Laufen gegenseitig mehr abgelenkt haben könnte, als während des Sitzens. Diese Ergebnisse können mit der Forschung zum Thema Doppelaufgaben in Verbindung gebracht werden (siehe Kapitel 3.1), die zeigt, dass die Leistung in einer oder in beiden Aufgaben sinkt, wenn zwei gleichzeitig ausgeführte Aufgaben um Aufmerksamkeitsressourcen konkurrieren (Kahneman 1973; Navon & Gopher, 1979; Schaefer, 2014). An dieser Stelle bleibt offen, ob die Kosten aufgrund eines fehlenden Embodiment-Effekts oder aufgrund der Gruppentestungen zustande gekommen sind.

Aus diesem Grund wurden im zweiten Experiment erneut junge Erwachsene ($n = 33$, 18 Frauen, $M_{\text{Alter}} = 24,5$ Jahre) und Kinder ($n = 28$, 11 Mädchen, $M_{\text{Alter}} = 7,3$ Jahre), deren Alter dem der jüngsten Gruppe aus Experiment 1 entsprach, in Einzelsitzungen getestet. Das Studiendesign ähnelte dem aus Experiment 1, außer dass die Größe der Zielfelder auf 50 cm^2 und das ISI auf vier Sekunden reduziert wurde. Zudem standen die Probanden diesmal in der Kontrollbedingung vor den nummerierten Feldern, sodass die räumlich-visuellen Informationen in beiden Bedingungen dieselben waren. Die Antworten wurden nun immer verbal gegeben. Die Ergebnisse von Experiment 2 zeigten erneut keine Kosten in der Gedächtnisleistung der Kinder und auch keine Kosten bei den jungen Erwachsenen. Die Hy-

pothese, dass die zusätzlichen sensomotorischen Informationen, die durch die zielgerichtete Bewegung zu den Zielfeldern entsteht, die Gedächtnisleistung verbessert, konnte demnach nicht bestätigt werden. Ein Grund hierfür könnte darin liegen, dass die gewählte Gedächtnisaufgabe einen zu geringen räumlichen Anteil erforderte, so dass die sensomotorischen Erfahrungen nicht ausreichend mit der Gedächtnisaufgabe verknüpft werden konnten und somit kein Embodiment-Effekt erzielt wurde.

Darauf aufbauend wurden in einer dritten Studie von Amico und Schaefer (Manuskript in Vorbereitung) Studierende ($N = 28$, $M_{\text{Alter}} = 22,11$, $SD = 2,33$; 8 Frauen) in einer räumlichen Gedächtnisaufgabe getestet. Die Aufgabe bestand darin, sich Positionen von Zielfeldern (25 cm x 25 cm) zu merken, ohne dass diese mit Zahlen gekennzeichnet waren. Die Zielfelder wurden nacheinander auf einem Teppich (2,5 m x 2,5 m) angeleuchtet, auf dem sie in einer standardisierten, vermeintlich zufälligen Anordnung platziert wurden, ähnlich wie im traditionellen Corsi-Block-Tapping-Test (Corsi, 1973). Die Anzahl der zu merkenden Zielfelder wurde solange erhöht, bis ein Proband zwei aufeinanderfolgende Reihenlängen nicht korrekt wiedergeben konnte. Die Teilnehmer prägten sich die Zielfelder entweder im Stehen ein, oder während sie in die Zielfelder gingen. Das Gleiche galt beim Wiedergeben der Zielfelder: Die Teilnehmer gaben die Reihenfolge der Zielfelder entweder im Stehen wieder, indem sie einen Laserpointer benutzten, oder sie gingen zu den Zielfeldern und blieben kurz auf ihnen stehen. Jeder Proband absolvierte alle der vier möglichen Bedingungen (Enkodieren im Stehen - Abrufen im Stehen; Enkodieren im Stehen - Abrufen im Gehen; Enkodieren im Gehen - Abrufen im Gehen; Enkodieren im Gehen - Abrufen im Stehen), wobei die Reihenfolge der Bedingungen gleichmäßig über die Probanden verteilt wurde. Gemäß des Embodied Cognition Ansatzes wurde die Hypothese aufgestellt, dass das Enkodieren im Gehen den Abruf verbessern sollte, da die zusätzlichen sensomotorischen Informationen den Abruf der korrekten Reihenfolge der Zielpositionen begünstigen sollten (Barsalou, 1999). Zudem wurde vermutet, dass kongruente Enkodier- und Abrufsituationen aufgrund von Kontext-Effekten zu besseren Gedächtnisleistungen führen als inkongruente Enkodier- und Abrufsituationen (Godden & Baddeley, 1975; McClelland & Rumelhart, 1985; Smith & Vela, 2001).

Die Ergebnisse bestätigten die Hypothesen nur teilweise. Zum einen konnte gezeigt werden, dass kongruente Enkodier- und Abrufsituationen die Gedächtnisleistung verbesserte. Zum anderen stellte sich heraus, dass Bewegung während des Enkodierens die Gedächtnisleistung signifikant verringerte, die Bewegung während des Abrufens jedoch keinen signifikanten Einfluss hatte.

Mögliche Gründe hierfür können darin liegen, dass die Bewegung zu den Zielfeldern zusätzliche Aufmerksamkeitsressourcen benötigte und somit eine Doppelaufgabensituation erzeugte (Kahneman, 1973; Schaefer, 2014). Zudem könnte das Orientieren und die Änderung der Perspektive, die durch das Navigieren auf dem Teppich entstand, eine Art mentale Rotationsaufgabe erzeugt haben, die das Einprägen der Zielfelder gestört haben könnte. Bisher wurde dieses Experiment nur mit jungen Erwachsenen durchgeführt. Es werden derzeit Daten von Kindern und älteren Erwachsenen erhoben, um zu untersuchen, ob sich die Effekte über die Altersspanne unterscheiden. Positive Effekte bei Kindern würden darauf hindeuten, dass Embodiment doch stattgefunden hat, der Effekt jedoch bei Kindern stärker ist. Werden stattdessen bei Kindern und älteren Erwachsenen größere Kosten gefunden als bei den jungen Erwachsenen, so würde dies für eine typische Doppelaufgabensituation sprechen, in der zwei Aufgaben um Aufmerksamkeit konkurrieren.

Zusammenfassend stellt der Forschungsansatz der Embodied Cognition neue Wege vor, wie Kognition und der Gedächtnisprozess verstanden werden können. Der hier vorgestellte Beitrag (Amico & Schaefer, eingereicht) konnte den positiven Effekt von Embodiment zwar nicht zeigen, jedoch kann der Embodied Cognition Ansatz zum jetzigen Zeitpunkt nicht gänzlich verworfen werden. Vielmehr deuten die Ergebnisse auf die hohe Komplexität der Frage hin, wie simultane Bewegung sinnvoll mit einer Gedächtnisaufgabe verbunden werden kann.

Die vorgestellte Literatur hebt hervor, dass das zeitgleiche Bewegen während des Enkodierens die Gedächtnisleistung verbessern kann, wenn es gelingt, die Bewegung sinnvoll mit der zu lernenden Information zu verknüpfen (Hainselin et al., 2017; Jahn & Engelkamp, 2003; Lindgren et al., 2016; Link et al., 2013; Schaefer, 2018). Abschließend wird aus den Ergebnissen zum Forschungsschwerpunkt Embodied Cognition folgende Empfehlung zur Erreichung der best-

möglichen Effekte von simultaner Bewegung auf die Gedächtnisleistung formuliert:

Die Bewegung sollte inhaltlich sinnvoll mit der zu enkodierenden Information der Gedächtnisaufgabe verknüpft sein.

Darüber hinaus sollten Überlegungen aus den Forschungsschwerpunkten der Doppelaufgabenforschung (Kapitel 3.1) und der physischen Belastung (Kapitel 3.2) berücksichtigt werden, um das größtmögliche Potenzial von simultaner Bewegung auf die Gedächtnisleistung zu erzielen.

4 Diskussion

Die vorliegende Dissertation trägt zum Verständnis bei, wie die Gedächtnisleistung von simultaner Bewegung beeinflusst wird und welche Mechanismen diesem Zusammenhang zugrunde liegen. Desweiteren wurde erläutert, welche Faktoren der Bewegung und der Gedächtnisaufgabe berücksichtigt werden müssen, um den größtmöglichen positiven Effekt von Bewegung auf die Gedächtnisleistung erzielen zu können.

Hierzu wurden in dieser Arbeit drei Forschungsschwerpunkte betrachtet, die das Themenfeld bislang weitestgehend unabhängig voneinander erforschen. Darauf aufbauend wurden eigene Studien durchgeführt, die verdeutlichen, dass jeder der drei Forschungsschwerpunkte einen essentiellen Beitrag leisten kann. Anhand der gesammelten Erkenntnisse wurden folgende drei Empfehlungen herausgearbeitet, die zunächst als Basis verstanden werden sollen, um positive Effekte von simultaner Bewegung auf die Gedächtnisleistung zu erzielen:

- 1. Die Bewegung sollte ein mittleres Niveau der Erregung erzeugen und so gestaltet sein, dass sie möglichst wenig mit der Gedächtnisaufgabe um Aufmerksamkeit konkurriert.*
- 2. Die durch die Bewegung induzierte physische Belastung sollte so gesteuert werden, dass die physiologischen und neuropsychologischen Reaktionen des Körpers die bestmöglichen Effekte auf das Gedächtnis zeigen.*
- 3. Die Bewegung sollte inhaltlich sinnvoll mit der zu enkodierenden Information der Gedächtnisaufgabe verknüpft sein.*

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der eigenen Studien diesen Empfehlungen zugeordnet und die sich daraus ergebenden offenen Fragen der drei Forschungsfelder diskutiert.

4.1 Empfehlung aufgrund der Doppelaufgabenforschung

Dem Großteil der Doppelaufgabenforschung liegen Ressourcenmodelle der Aufmerksamkeitsverteilung zugrunde (Kahneman, 1973; Navon & Gopher, 1979; Wickens, 1991). Die aus diesen Theorien abgeleitete Empfehlung für Doppelaufgabensituationen lässt sich in zwei Teile untergliedern. Der erste Teil der Empfehlung besagt, dass die Bewegung ein mittleres Erregungsniveau induzieren sollte, da dies nach Kahneman (1973) die zur Verfügung stehenden Ressourcen erhöhen kann. Eine zu hohe oder zu niedrige Erregung hingegen kann die Verteilung der Ressourcen stören (Kahneman, 1973). Der zweite Teil der Empfehlung bezieht sich auf das Modell der multiplen Ressourcen nach Wickens (1991), das erhöhte Leistungseinbußen vorhersagt, wenn die motorische und die kognitive Tätigkeit die gleichen strukturellen Areale des Gehirns beanspruchen.

Beitrag 4 (Amico & Schaefer, 2019) konnte den ersten Teil der Empfehlung nicht direkt bestätigen. Auch wenn die physiologische Erregung nicht direkt gemessen wurde, so zeigte sich auch keine Verbesserung der Gedächtnisleistung durch die Verwendung des Fidget Spinners oder des Stressballs, die beide damit werben, das Aufmerksamkeitsniveau und die Aufmerksamkeitssteuerung zu verbessern. Dennoch ist in der Literatur unumstritten, dass Bewegung die physiologische Erregung steigern kann, wie auch Beitrag 2 (Amico et al., im Review Prozess) anhand der gemessenen Herzfrequenz zeigen konnte. Durch den vermuteten Zusammenhang von Erregung und Leistung gemäß einer umgedrehten U-Funktion (Yerkes & Dodson, 1908) und der Möglichkeit, dass das Ausgangsniveau der Erregung individuell variiert, ist es schwer zu bestimmen, wann eine Person ein mittleres Maß an Erregung erreicht hat. In der Studie von Amico & Schaefer (2019) könnte die Verwendung der Geräte dazu geführt haben, dass das Erregungsniveau der Probanden von einem mittleren Niveau auf ein zu hohes Niveau gesteigert wurde. Die sehr guten Leistungen der Probanden in der Sitzen-Bedingung lassen darauf schließen, dass hier bereits ein mittleres Erregungsniveau vorgelegen haben könnte. Zukünftige Studien sollten die physiologische Erregung messen und das individuelle Ausgangsniveau der Person mitberücksichtigen, damit

Bewegung gemäß der Empfehlung so gesteuert werden kann, dass die physiologische Erregung ein mittleres Niveau erreicht.

Die physiologische Erregung kann mithilfe verschiedener Methoden gemessen werden. Messbare Parameter sind die elektrodermale Aktivität, die Pupillenweite, die Herzfrequenz, die Herzfrequenzvariabilität oder die Hormonkonzentration (z. B. Kortisol) (Furley & Laborde, 2020; Kahneman, 1973; Thayer, Hansen, Saus-Rose & Johnsen, 2009). Im Kontext Sport haben sich jedoch die Herzfrequenz, die Herzfrequenzvariabilität und die Kortisol-Konzentration als Maß der physiologischen Erregung etabliert (Janelle & Naugle, 2012). Diese Parameter werden über das autonome und das zentrale Nervensystem gesteuert (Furley & Laborde, 2020). Bewegung führt zu einer Erhöhung der Sympathikus-Aktivität. Dadurch wird vermehrt Adrenalin und Noradrenalin freigesetzt, was in einem Anstieg des Erregungsniveaus resultiert (Janelle & Naugle, 2012).

Beitrag 2 (Amico et al., 2020) zeigt, wie die Herzfrequenz genutzt werden kann, um die physiologische Erregung zu messen. Optimalerweise sollte zunächst ein physischer Ausbelastungstest durchgeführt werden, durch den die maximale Herzfrequenz der Person und die maximal erreichte Belastung festgestellt werden kann (z. B. Widerstand auf einem Fahrradergometer oder das maximale Gewicht das einmal gestemmt werden kann). Mithilfe dieser Information kann die Belastungsintensität individuell gesteuert werden, sodass die Bewegung ein zuvor festgelegtes Erregungsniveau auslöst. Dies bedeutet, dass die gleiche Belastung (z. B. zehn Minuten bei 200 Watt auf einem Fahrradergometer fahren) zwischen Personen zu einer unterschiedlich starken physiologischen Erregung führen kann (Beanspruchung). Hierbei spielen die körperliche Fitness und das Alter eine wichtige Rolle.

Neben Bewegung können auch Stress oder Nervosität, die durch die Testsituation ausgelöst werden, dazu führen, dass die Sympathikus-Aktivität erhöht wird (Furley & Laborde, 2020). Von daher sollte die Baseline des individuellen Erregungsniveaus während einer gewohnten und entspannten Situation gemessen werden. Daraufhin sollte die Intensität der Bewegung individuell angepasst werden, sodass jede Person ein mittleres Erregungsniveau erreicht.

An dieser Stelle überschneiden sich Teile der ersten und der zweiten Empfehlung. Während die erste Empfehlung jedoch nur das phy-

siologische Erregungsniveau berücksichtigt, bezieht sich die zweite Empfehlung auf weitere physiologische Mechanismen, die sich insbesondere auf den Gedächtnisprozess beziehen. Zudem geht die zweite Empfehlung tiefer auf die Faktoren ein, die die Belastungssteuerung der Bewegung beeinflussen (siehe Kapitel 4.2).

Der zweite Teil dieser Empfehlung kann durch die Ergebnisse von Beitrag 4 (Amico & Schaefer, 2019) und Beitrag 2 (Amico et al., im Review Prozess) unterstützt werden. Amico & Schaefer (2019) konnten für simultan ausgeführte Aufgaben, die mit der Gedächtnisaufgabe interferierten, deutliche Leistungseinbußen in der Gedächtnisleistung zeigen, die mit zunehmender Aufgabenschwierigkeit anstiegen (siehe Bedingung: Kritzeln und Bedingung: Zeichnen). Ähnliche Leistungseinbußen fanden sich auch bei Amico & Schaefer (im Review Prozess), wenn die Probanden Kniebeugen während des Enkodierens von Wortlisten ausführten. Dieselben Studien konnten ebenfalls zeigen, dass sich die Leistungseinbußen verringern, wenn die Interferenz beider Aufgaben oder die Aufgabenschwierigkeit verringert wird, oder indem die Ressourcenanforderung durch vermehrtes Üben reduziert wurde. Letztendlich berücksichtigte jedoch keiner der vorgestellten Beiträge alle der im Modell von Wickens (2002; siehe Abbildung 2 in Kapitel 3.1.1) vorgestellten Schnittstellen, auf denen die Bewegung und die Gedächtnisaufgabe miteinander interferieren können, innerhalb eines Experimentes. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die umfassende Komplexität, mit der Informationen der Bewegung und der Gedächtnisaufgabe wahrgenommen, bearbeitet und wiedergegeben werden, eine Herausforderung darstellt. Bei der zukünftigen Umsetzung der hier vorgestellten Empfehlung muss diese Herausforderung angenommen werden.

4.2 Empfehlung aufgrund der physischen Belastung

Der Forschungsschwerpunkt, der die Effekte von physischer Belastung auf die Gedächtnisleistung untersucht, berücksichtigt verschiedene Parameter der Bewegungssteuerung, wie die Intensität, die Dauer, die Belastungsart und den Belastungszeitpunkt. Diese wirken wiederum auf die Freisetzung relevanter Hormone, Neurotransmitter und Nervenwachstumsfaktoren, die die Aufmerksamkeitssteuerung

und die Gedächtnisprozesse der Enkodierung und der Konsolidierung verbessern können (Loprinzi et al., 2019; McMorris, 2016; Roig et al., 2013, 2016). Die in dieser Arbeit abgeleitete Empfehlung zielt darauf ab, dass diese Faktoren der Bewegungssteuerung im Hinblick auf die neurophysiologischen und neuropsychologischen Prozesse bei der Erforschung von simultanen Bewegungen während Gedächtnisaufgaben stets berücksichtigt werden.

Gemäß dieser Empfehlung wurden in Beitrag 3 (Amico & Schaefer, 2020) und Beitrag 2 (Amico et al., im Review Prozess) akute physische Belastungen während des Enkodierens von Vokabeln oder von Wortlisten durchgeführt. Die Ergebnisse beider Beiträge zeigten jedoch vorwiegend Leistungseinbußen, und nur selten positive Effekte in den bewegten Bedingungen. Auf Basis dieser Ergebnisse sind Rückschlüsse auf die zugrundeliegenden Mechanismen aufgrund der rudimentären Messung der physiologischen Belastungsreaktionen in den Beiträgen limitiert, sodass über die Freisetzung von Hormonen, Neurotransmittern und Nervenwachstumsfaktoren weitestgehend nur spekuliert werden kann. Amico et al. (im Review Prozess) haben jedoch die Herzfrequenz während des Enkodierens gemessen und konnten zeigen, dass die physische Belastung in dem gewünschten Intensitätsbereich lag. Auch in der Studie von Amico und Schaefer (2020) wurde vermutet, dass die Intensität der Belastung, zumindest für die Altersgruppe der Kinder, im gewünschten Bereich lag. Neben der Belastungsintensität werden auch andere Faktoren der Bewegungssteuerung, wie die Belastungsart und die Belastungsdauer diskutiert. Zusammenfassend zeigen sowohl die beide Beiträge als auch die aktuelle Literatur, dass der Einfluss von physischer Belastung auf mögliche neurophysiologische Mechanismen der Gedächtnisprozesse noch nicht ausreichend erklärt werden kann (Cassilhas et al., 2012; Loprinzi & Frith, 2019; Loprinzi et al., 2017; Loprinzi et al., 2018a; McMorris, 2016). Um die hier vorgestellte Empfehlung umzusetzen, werden weitere Studien benötigt, die den direkten Zusammenhang zwischen physischer Belastung, relevanten neurophysiologischen Substraten und den Gedächtnisprozessen herstellen können.

Eine zukünftige Studie, die an diesem Punkt anknüpft, sollte die verschiedenen Substrate (Testosteron, Cortisol, BDNF, Dopamin, Serotonin, Adrenalin, Noradrenalin) in regelmäßigen Abständen während und bis kurz nach der Belastung messen. Dies ermöglicht eine

ausführliche Darstellung des Zeitverlaufs der Konzentrationsänderung. Die Intensität der physischen Belastung sollte über eine kontinuierliche Überwachung der Herzfrequenz gesteuert werden, so dass die Beanspruchung konstant auf einem Niveau gehalten werden kann. Um den Einfluss der Intensität auf die physiologischen Parameter zu untersuchen, könnten vier Gruppen getestet werden, die zu 70%, 80%, oder 90% ihrer individuellen anaeroben Schwelle beansprucht werden. Als geeignete Bewegungsform bietet sich das Laufen oder das Fahrradfahren an. Als Gedächtnisaufgabe hat sich das Lernen von Vokabeln in einer Fremdsprache als geeignet erwiesen (Schmidt-Kassow et al., 2010, 2013, 2014). Die Vokabeln sollten auditiv präsentiert werden. Da die Veränderung der Substratkonzentrationen von Interesse ist, ist eine Lern- und zugleich Belastungsphase von 30 Minuten sinnvoll. Die neurophysiologischen Parameter sollten vor Beginn und alle 10 Minuten während der Belastung gemessen werden (während kurzen Pausen für Blutabnahme und Speichelprobe). Nach der Belastung sollten zwei weitere Messungen in 10-minütigen Abständen durchgeführt werden. Damit die einzelnen Parameter mit der Gedächtnisleistung in Verbindung gebracht werden können, sollte die Gedächtnisleistung in Form von Vokabeltests geprüft werden. Die Vokabeltests sollten direkt nach der Aneignung, nach 3 Stunden, nach 24 Stunden und nach einer Woche stattfinden.

Der Verlauf der Gedächtnisleistung über die verschiedenen Testzeitpunkte und die Konzentration der neurophysiologischen Parameter sollten parallel betrachtet werden. Korrelieren die neurophysiologischen Parameter mit der Gedächtnisleistung des ersten Vokabeltests, so deutet dies auf einen Einfluss der Bewegung auf die Enkodierung hin. Korrelieren die Parameter mit der Gedächtnisleistung der späteren Tests, so liegt ein Einfluss auf den Prozess der Konsolidierung vor. Der Vergleich der drei Gruppen ermöglicht es, die Konzentrationsveränderung in Abhängigkeit der Beanspruchung zu untersuchen. Zudem kann durch den Vergleich der Gedächtnisleistungen untersucht werden, welche der drei Intensitäten förderlicher für den Gedächtnisprozess ist.

Neben der Möglichkeit, dass die physische Belastung in Beitrag 3 (Amico & Schaefer, 2020) und Beitrag 2 (Amico et al., im Review Prozess) nicht optimal gesteuert wurde, könnte die Bewegung der im vorherigen Kapitel (4.1) diskutierten Empfehlung widersprochen ha-

ben. In diesem Sinne, könnten das Laufen oder die Kniebeugen bei der Verteilung der Aufmerksamkeit mit dem Enkodieren der Worte konkurriert haben. Zudem kann vermutet werden, dass die in Metaanalysen sehr kleinen oder nicht signifikanten Effekte von simultan ausgeführter Bewegung auf die Gedächtnisleistung (Chang et al., 2012; Loprinzi et al., 2019; Roig et al., 2013) zum Teil aus der Nichtberücksichtigung der hier abgeleiteten Empfehlung resultieren. Diese Annahme bestärkt den Ausblick der vorliegenden Arbeit, die Empfehlungen mehrerer Forschungsschwerpunkte in einem Themenfeld zu vereinen.

4.3 Empfehlung aufgrund von Embodied Cognition

Der Embodied Cognition Ansatz nimmt an, dass Denkprozesse eng mit dem Körper und der Umwelt verbunden sind (Barsalou, 2008; Glenberg, 2010, Wilson, 2002). Die aus diesem Ansatz formulierte Annahme, dass Bewegung, die sinnvoll mit einer Gedächtnisaufgabe verknüpft wird, die Gedächtnisleistung verbessern kann, konnte in mehreren Studien gezeigt werden (Jahn & Engelkamp, 2003; Lindgren et al., 2016; Link et al., 2013; Manzi & Nigro, 2008; Schaefer, 2008).

Die Ergebnisse aus Beitrag 1 (Amico & Schaefer, eingereicht) hingegen zeigten vorwiegend nicht signifikante Unterschiede oder Leistungseinbußen in den Embodiment Bedingungen. Es konnte die Tendenz gezeigt werden, dass Kinder im Alter von sieben Jahren eher von Embodiment profitieren als ältere Kinder oder Erwachsene. Diese Tendenz stimmt mit der Annahme von Loeffler et al. (2016) überein, dass Kinder stärker von Embodiment profitieren, wenn neue Assoziationen die Grundlage des Effekts bilden. Es ist möglich, dass die Gedächtnisaufgabe in den beiden Experimenten von Amico & Schaefer (eingereicht) nicht ausreichend mit den sensomotorischen Erfahrungen der Bewegung verknüpft wurden, sodass die Voraussetzungen von Embodiment nicht gegeben waren. Dieser Kritikpunkt stellt zugleich ein vorherrschendes Problem des Embodied Cognition Ansatzes dar. Das sinnvolle Verknüpfen von Bewegung und Kognition muss sehr spezifisch an die Kombination der Eigenschaften der motorischen und der kognitiven Aufgabe angepasst werden. Hierfür haben sich

bisher jedoch keine festen Regeln etabliert. Darüber hinaus konnte in Beitrag 1 (Amico & Schaefer, eingereicht) gezeigt werden, dass das sinnvolle Verknüpfen der Bewegung und der Gedächtnisaufgabe nur zu positiven Effekten führen kann, wenn die Bewegung zugleich nicht mit der Gedächtnisaufgabe um Aufmerksamkeit konkurriert (siehe Empfehlung 1 aus Kapitel 3.1.2).

Neben diesem praktischen Problem werden auch die Annahmen des Embodied Cognition Ansatzes kritisiert. Oftmals werden die Grundannahmen als zu vage bezeichnet, oder behauptet, dass sie keinen Mehrwert gegenüber klassischen Kognitionstheorien darstellen (Goldinger, Papesh, Barnhart, Hansen & Hout, 2016; Mahon, 2015). Zusammengefasst wird jedoch weniger die enge Verknüpfung von Körper, Umwelt und Kognition in Frage gestellt, sondern vielmehr wie der gefundene Zusammenhang in die vorherrschenden Kognitionsmodelle eingeordnet wird (Goldinger et al., 2016; Mahon, 2015).

Schlussendlich steht die aus dem Embodied Cognition Ansatz abgeleitete Empfehlung, trotz vorherrschender Evidenz, vor einer praktischen und einer theoretischen Herausforderung. Diese Herausforderungen zeigen zum einen die Komplexität und das unzureichende Wissen darüber auf, wie Bewegung und Gedächtnisaufgaben in all ihrer Vielfalt sinnvoll miteinander verknüpft werden können. Zum anderen wird diskutiert, wie die gefundenen positiven Effekte in den Embodied Cognition Ansatz integriert werden können. Zukünftige Studien müssen diese Herausforderung angehen, damit die hier formulierte Empfehlung praktisch umgesetzt werden kann.

5 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit und die darin vorgestellten Beiträge stellen die in Kapitel 3 beschriebenen Forschungsschwerpunkte, die das Themenfeld „Einflüsse von simultaner Bewegung auf die Gedächtnisleistung“ erforschen, vor. In ihrer Gesamtheit verdeutlichen diese die Relevanz eines forschungsfeldübergreifenden Ansatzes. Hierzu wurden, ausgehend von den theoretischen Annahmen der Forschungsfelder, drei theoretische Empfehlungen abgeleitet, die beschreiben, wann simultane Bewegung die Leistung in einer Gedächtnisaufgabe optimal verbessern kann. Damit diese Empfehlungen praktisch umsetzbar werden, müssen die in der Diskussion angesprochenen Forschungslücken der drei Forschungsschwerpunkte geschlossen werden.

Für die Doppelaufgabenforschung bedeutet dies insbesondere Methoden einzuführen, die das individuelle Erregungsniveau und dessen Veränderung in der Testsituation berücksichtigen, damit das optimale (mittlere) Niveau der Erregung messbar wird (siehe hierzu die vorgeschlagenen messbaren Parameter der physiologischen Erregung in Kapitel 4.1).

Für die Effekte physischer Belastung auf die Gedächtnisleistung werden weitere experimentelle Studien benötigt, die den Einfluss von Belastung auf relevante neurophysiologische und neuropsychologische Parameter untersuchen, sodass die Effekte von Intensität, Dauer, Art und Zeitpunkt der Belastung besser verstanden werden können. Zudem müssen Wirkungsmechanismen des Gedächtnisprozesses im Hinblick auf die verschiedenen Parameter untersucht werden (siehe Kapitel 4.2 für den Vorschlag einer möglichen Studie).

Für den Embodied Cognition Ansatz müssen zukünftige Studien erforschen, welche Faktoren zu berücksichtigen sind, damit Bewegung sinnvoll mit dem Inhalt der Gedächtnisaufgabe verknüpft werden kann. Hierbei müssen die Eigenschaften der Bewegungen als auch der Gedächtnisaufgaben Beachtung finden. Zudem muss darauf geachtet werden, dass der Embodied Cognition Ansatz in seinen Annahmen klar definiert bleibt.

Trotz dieser noch vorhandenen Forschungslücken kann das Forschungsfeld davon profitieren, die drei formulierten Empfehlungen zu

berücksichtigen, um die positiven Effekte von Bewegung auf die Gedächtnisleistung zu untersuchen. In diesem Kontext haben Mavilidi et al. (2018) kürzlich herausgestellt, dass die positiven Effekte von Embodied Cognition und der physischen Belastung auf die Kognition kombiniert werden können. Hierbei haben die Autoren ein Modell vorgeschlagen, dass die Beziehung zwischen der kognitiven Aufgabe und der motorischen Bewegung über eine zeitliche und über eine inhaltliche Dimension klassifiziert. Die zeitliche Dimension beschreibt hierbei den zeitlichen Zusammenhang zwischen der Bewegung und der kognitiven Aufgabe. Ein hoher Zusammenhang wäre somit gegeben, wenn beide Tätigkeiten zeitlich eng miteinander verknüpft sind, wie zum Beispiel, wenn sie gleichzeitig ausgeführt werden. Ein niedriger zeitlicher Zusammenhang hingegen würde ausdrücken, dass beide Tätigkeiten zeitlich weit auseinanderliegen. Die inhaltliche Dimension basiert auf den Überlegungen des Embodied Cognition Ansatzes und beschreibt, wie sehr oder wie wenig sinnvoll die Bewegung mit der kognitiven Aufgabe zusammenhängt, beziehungsweise wie hoch die Relevanz der beiden Tätigkeiten füreinander ist. Mavilidi et al. (2018) vermuten nach ihrem Modell, dass die größten Effekte auftreten, wenn Bewegung zeitlich und inhaltlich eng mit der kognitiven Aufgabe verknüpft ist. Die Autoren ergänzen ihren Ansatz zudem mit der Annahme, dass hierbei Ganzkörperbewegungen, die höhere Belastungsintensitäten erreichen als Teilkörperbewegungen (z. B. das Gestikulieren), den positiven Effekt der Bewegung auf die Kognition weiter verbessern können.

In etwa zur gleichen Zeit haben Skulmowski und Rey (2018) ein ähnliches theoretisches Konzept entworfen, das die Beziehung zwischen der kognitiven und der motorischen Tätigkeit ebenfalls auf zwei Dimensionen beschreibt. Die inhaltliche Dimension ist identisch mit der von Mavilidi et al. (2018) und basiert auf dem Embodied Cognition Ansatz. Die zweite Dimension beschreibt jedoch nicht den zeitlichen Zusammenhang, sondern das Ausmaß der körperlichen Aktivität, und repräsentiert die Annahmen der Forschung zu den Effekten von physischer Belastung auf die Kognition. Eine niedrige Aktivität liegt demnach im Sitzen oder im Liegen vor, wohingegen Bewegungen von großen Muskelgruppen oder des ganzen Körpers eine hohe Aktivität beschreiben. Bezüglich des Timings gehen Skulmowski und Rey (2018) von dem zeitgleichen Bearbeiten der kognitiven und der moto-

rischen Tätigkeit aus. Ebenso wie Mavilidi et al. (2018) vermuten auch Skulmowski und Rey (2018) die größten positiven Effekte, wenn simultane Bewegung sowohl die positiven Effekte der physischen Belastung als auch die positiven Effekte von Embodiment erreicht.

Die Arbeitsgruppe um Mavilidi konnte in ersten Studien bereits zeigen, dass die Kombination der beiden Forschungsfelder die positiven Effekte von Bewegung maximieren kann (Mavilidi et al., 2016, 2017). Hierzu haben Mavilidi et al. (2017) 90 Vorschulkindern das Solarsystem veranschaulicht, wobei sie die Namen und die Positionen von Planeten lernten. Zur Vereinfachung wurden Spielzeugversionen der Sonne und der Planeten genutzt, die auf dem Hallenboden verteilt wurden. Die Kinder lernten entweder im Sitzen, während des Laufens von Runden (aufgaben-irrelevante physische Belastung) oder während des Hin- und Herlaufens von der Sonne zu den jeweiligen Planeten (aufgaben-relevante physische Belastung). Die Ergebnisse in einem direkten und einem verspäteten Abruf zeigten die beste Gedächtnisleistung bei den Kindern, die während der aufgaben-relevanten physischen Aktivität gelernt hatten, gefolgt von der Gruppe der aufgaben-irrelevanten physischen Aktivität und der sitzenden Gruppe.

Die soeben vorgestellten Modelle sprechen für die Relevanz der Integration der zweiten und dritten Empfehlung in das Forschungsfeld. Darüber hinaus konnte die vorliegende Arbeit zeigen, dass die hier formulierte Empfehlung aus der Doppelaufgabenforschung ebenfalls einen wichtigen Erkenntnisgewinn darstellt. Die Relevanz dieser Empfehlung wurde in allen Beiträgen dieser Arbeit (Amico & Schaefer, eingereicht, 2019, 2020; Amico et al., im Review Prozess) deutlich, in denen oftmals vermutet wurde, dass gefundene nicht-signifikante oder negative Effekte von Bewegung auf die Gedächtnisleistung auf eine misslungene Umsetzung dieser ersten Empfehlung zurückgeführt werden könnten.

Als Ausblick für die Gestaltung zukünftiger Forschung soll, aufbauend auf den Modellen von Mavilidi et al (2018) und Skulmowski und Rey (2018), das *Modell des Forschungsfelds von simultaner Bewegung und Gedächtnisleistung* vorgestellt werden (Abbildung 3). In diesem Modell werden die drei Forschungsfelder integriert, um den positiven Effekt von simultaner Bewegung auf die Gedächtnisleistung

zu

maximieren.

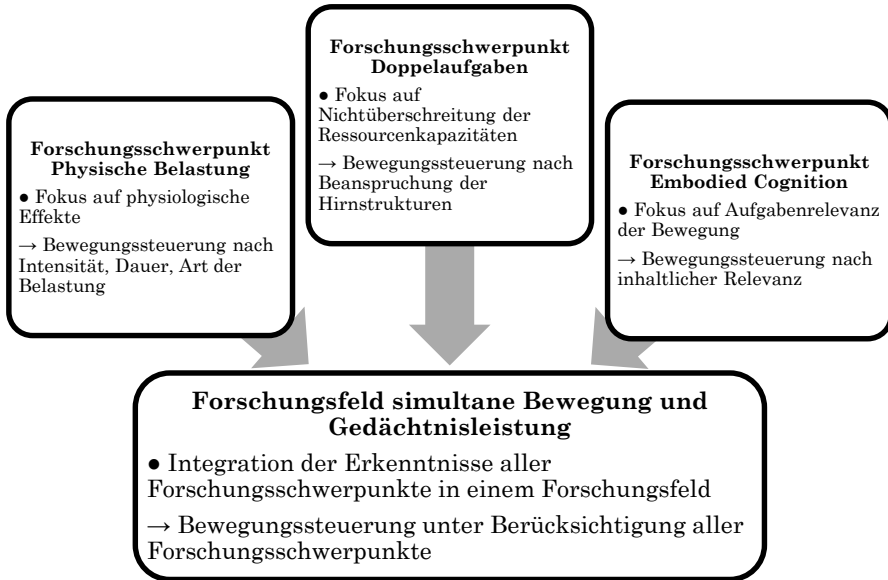


Abbildung 3. Modell des Forschungsfelds von simultaner Bewegung und Gedächtnisleistung.

Es wird vorhergesagt, dass die Berücksichtigung der Empfehlungen in zukünftigen Forschungsdesigns die Chancen erhöht, positive Effekte von Bewegung auf die Gedächtnisleistung zu finden. *Der Forschungsschwerpunkt der Physischen Belastung* steuert die Bewegung mithilfe der Intensität, Dauer und der Art der Belastung, um somit optimale physiologische Voraussetzungen für die Gedächtnisprozesse zu schaffen. *Der Forschungsschwerpunkt Embodied Cognition* stimmt die Bewegung so auf die Gedächtnisaufgabe ab, dass die Bewegung sinnvoll in die Gedächtnisaufgabe integriert ist. *Der Forschungsschwerpunkt der Doppelaufgabenforschung* steuert die Bewegung so, dass diese während des Prozesses der Wahrnehmung, der Kognition und des Abrufs nicht um die Aufmerksamkeit der Gedächtnisaufgabe konkurriert (z. B. indem unterschiedliche Modalitäten für die Informationsaufnahme oder -bearbeitung verwendet werden; siehe Wickens, 2002). Die Integration dieser drei Forschungsschwerpunkte in das *Themenfeld von simultaner Bewegung und Gedächtnisleistung* bildet den neuen integrativen Ansatz, nach dem die Bewegung unter Berücksichtigung aller Forschungsschwerpunkte gesteuert werden

soll. Der Fokus hierbei liegt gleichermaßen auf den physiologischen Effekten, auf der Aufgabenrelevanz der Bewegung und auf der Nicht-überschreitung der Ressourcenkapazitäten.

Aus diesem Modell ergibt sich ein 2 x 2 x 2 Raster mit den Ebenen *Physiologische Reaktion* (unpassend vs. passend), *Aufgabenintegration* (niedrig vs. hoch) und *Interferenz* (niedrig vs. hoch) (Abbildung 4). Die drei Ebenen basieren auf dem derzeitigen Erkenntnistand des jeweiligen Forschungsschwerpunktes.

Somit wird die *Physiologische Reaktion* als passend oder unpassend eingestuft, je nachdem, ob sie den Gedächtnisprozess unterstützt oder nicht. In der Praxis bedeutet dies zu beurteilen, ob die induzierte Bewegung die Freisetzung der für den Gedächtnisprozess relevanten Stoffe unterstützt. Nachzeitigem Erkenntnistand ist jedoch nur ein Bruchteil der relevanten Mechanismen bekannt. Ergebnisse aus mehreren Metaanalysen zeigen, dass eine Bewegung mit mittlerer körperlicher Beanspruchung (60% bis 80% der maximalen Herzfrequenz) und mittlerer Dauer (20 bis 60 Minuten) die besten Effekte auf das Gedächtnis erzielen (Chang et al., 2012; Loprinzi et al., 2019; Roig et al., 2013). Bewegungen, die diesen Richtwerten folgen, lösen nachzeitigem Wissen eine für den Gedächtnisprozess passende physiologische Reaktion aus.

Die *Aufgabenintegration* wird als niedrig oder hoch eingestuft, je nachdem wie sehr die Bewegung inhaltlich sinnvoll in die Gedächtnisaufgabe integriert wurde. Diese Beurteilung sollte anhand der zuvor vorgestellten Annahmen von Wilson (2002) vorgenommen werden. Eine hohe Integration wäre zum Beispiel gegeben, wenn die sensomotorischen Erfahrungen für die Gedächtnisaufgabe relevant sind, wenn das Bewegungsziel zugleich das Ziel der Gedächtnisaufgabe unterstützt, oder wenn wichtige Informationen auf den Körper oder die Umwelt ausgelagert werden können.

Die Beurteilung der *Interferenz* soll anhand des Modells der multiplen Ressourcen (Wickens, 1991, 2002) vorgenommen werden. Eine niedrige Interferenz beschreibt demnach eine Kombination aus einer Bewegung und einer Gedächtnisaufgabe, bei der die Aufmerksamkeitsressourcen gering oder gar nicht miteinander konkurrieren. Dies ist der Fall, wenn die relevanten Informationen auf den Stufen der Informationsverarbeitung (Wahrnehmung, Kognition, Abruf) von unterschiedlichen Hirnstrukturen verarbeitet werden.

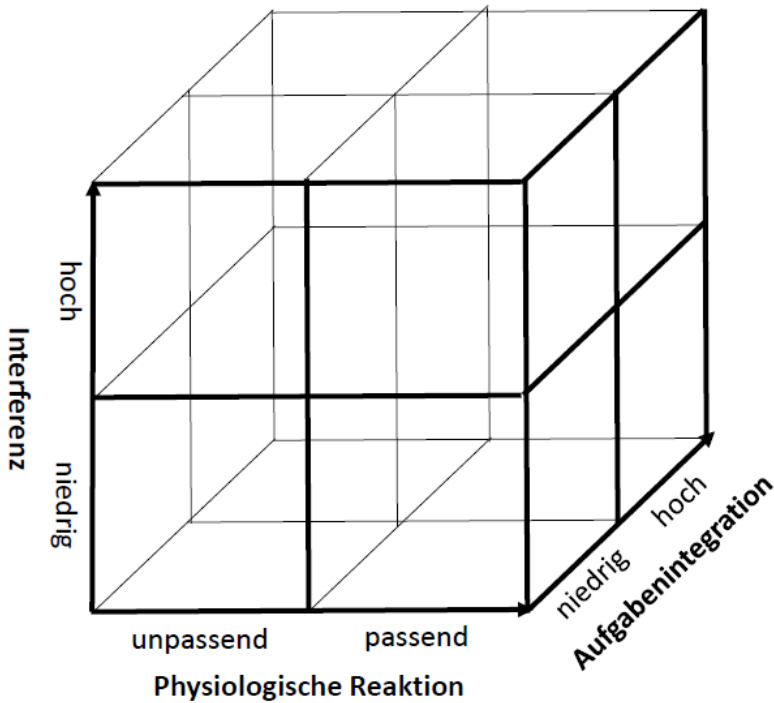


Abbildung 4. Das 2 x 2 x 2 Raster, das sich aus dem Modell des Forschungsfelds von simultaner Bewegung und Gedächtnisleistung ergibt. Auf den Achsen werden die Interferenz, die physiologische Reaktion und die Aufgabenintegration abgebildet. Die positiven Effekte von Bewegung auf die Gedächtnisleistung steigen, je niedriger die Interferenz, je passender die physiologischen Reaktionen und je höher die Aufgabenintegration ausfällt.

Die Grenzen der Kriterien sollten hierbei als fließend angesehen werden, sodass auch mittlere Ausprägungen auf einer Ebene möglich sind. Darüber hinaus bietet das Modell die Möglichkeit, die experimentellen Designs derzeitiger und zukünftiger Studien einzuordnen und das Forschungsfeld unter neuen Blickpunkten zu betrachten.

Abschließend wird eine mögliche Studie skizziert, die den Zusammenhang von Bewegung und Gedächtnisleistung unter der Berücksichtigung des soeben vorgestellten Modells untersuchen soll. Ziel der Studie ist es, den größtmöglichen positiven Effekt von simultaner Bewegung auf die Gedächtnisleistung zu erzielen. Insgesamt ergeben sich aus dem 2 x 2 x 2 Raster acht mögliche Kombinationen, die aus

ökonomischen Gründen nicht alle innerhalb einer Studie getestet werden können. Der Fokus der folgenden Skizze liegt auf der Integration der physiologischen Reaktion und der Aufgabenintegration. Von daher soll die Interferenz über alle Bedingungen konstant auf einem niedrigen Level gehalten werden. Aus den möglichen Kombinationen von Integration (hoch/niedrig) und physiologischer Reaktion (passend/unpassend) ergeben sich folgende vier Bedingungen, die in Tabelle 2 abgebildet sind.

Tabelle 2. *Gruppen und Bedingungen der skizzierten Studie zum Forschungsfeld Bewegung und Gedächtnisleistung.*

Gruppe	Interferenz	Integration (I)	Physiologische Reaktion (PR)
Integration + physiologische Reaktion (I + PR)	Niedrig	hoch	passend
Integration (I)	Niedrig	hoch	unpassend
physiologische Reaktion (PR)	Niedrig	niedrig	passend
Kontrollbedingung (K)	Niedrig	niedrig	unpassend

In der folgenden Studie sollen die verschiedenen Bedingungen in einer episodischen Gedächtnisaufgabe verglichen werden. Es wird vermutet, dass eine passende physiologische Reaktion und eine hohe Integration die Lernleistung verbessern wird. Eine Poweranalyse mit eingestellter Power $(1 - \beta)$ auf ,08 und $\alpha = ,05$, wies auf eine benötigte Probandenzahl von 179 hin, um einen mittleren Effekt mit $f = ,25$ in einer ANOVA festzustellen, die den Gruppenunterschied untersucht. Von daher werden 45 Grundschul Kinder pro Bedingung in einem Zwischensubjekt-Design getestet. Die Schüler sollen in der Studie verschiedene Arbeitsabläufe auf einem Bauernhof lernen und verstehen. Hierzu werden in einer Turnhalle verschiedene Bereiche eines Bauernhofs dargestellt (siehe Abbildung 5). An jedem dieser Orte gibt es eine oder mehrere zu lernende Handlungen (z. B. Äpfel pflücken, Getreide ernten, Kuh melken, etc.). Jede dieser Handlungen erfordert einen Gegenstand, den man sich zuvor aus dem Werkzeuglager oder

aus dem Nahrungsvorrat nehmen muss (z. B. Hacke, Eimer, Bürste, Futter). Die geernteten Waren (z. B. Getreide, Kuhmilch, Äpfel) müssen danach in den Nahrungsvorrat gebracht werden. An dem Ort „Haus“ liegt eine Liste, auf der alle Dinge stehen, die auf dem Bauernhof erledigt werden müssen (z. B. „Striegel das Pferd mit der Bürste im Stall“ oder „Pflücke die Äpfel im Obstgarten mit der Leiter“). Die Liste kann sich der Schüler während der Lernphase ansehen und die Aufgaben abhaken, die er erledigt hat. Die einzelnen Orte werden mit verschiedenen Materialien kreativ in der Halle umgesetzt. Als Beispiel könnten im *Obstgarten* Plastikäpfel mit Seilen von der Hallendecke hängen, sodass der Schüler sie mit einer zwei- bis dreistufigen Trittleiter erreichen kann.

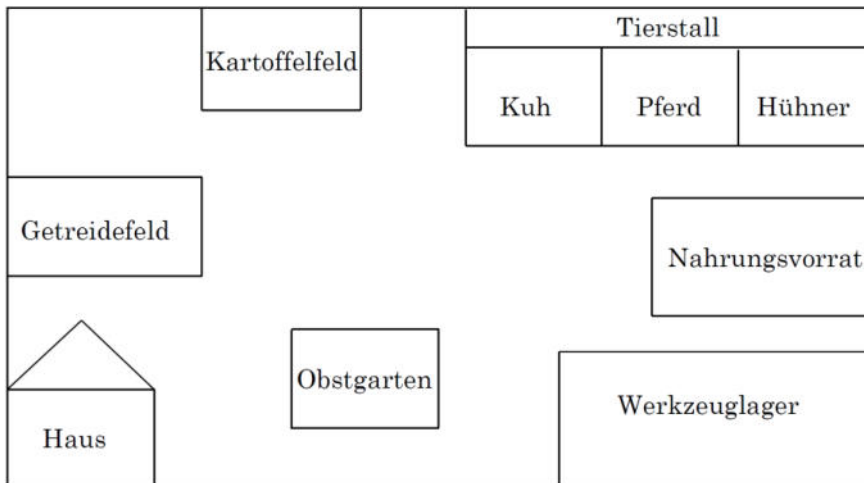


Abbildung 5. Schematischer Aufbau des Bauernhofs in der Turnhalle.

Bevor die Lernphase beginnt, instruiert der Testleiter den Schüler über die soeben geschilderten Aufgaben. Hierbei gehen sie zu jedem Ort. Der Testleiter beschreibt die Handlung verbal, indem er den Gegenstand, den Namen des Ortes und die auszuführende Handlung nennt (auditiv). Während der Testleiter die Handlung beschreibt, führt er sie einmal vor dem Schüler aus (visuell).

Die Lernphase dauert insgesamt 30 Minuten, sodass die Liste mit den Arbeitsaufträgen mindestens einmal ausgeführt werden kann. Während der Lernphase gibt der Testleiter Hinweise, falls der Schüler Fehler macht (z. B. wenn er vergisst, die gepflückten Äpfel in den

Nahrungsvorrat zu bringen, oder wenn er den falschen Gegenstand benutzt).

Je nach Bedingung, wird die Lernphase unterschiedlich gestaltet. In der (*I + PR*) Gruppe laufen die Schüler zu den jeweiligen Orten, um die entsprechenden Gegenstände zu nehmen oder abzulegen. Die physiologische Beanspruchung wird auf einem mittleren Niveau gehalten (65% bis 80% der maximalen Herzfrequenz = passende physische Belastung). An den Orten angekommen, führen die Schüler die jeweilige Handlung mithilfe des Gegenstands aus (hohe Integration). Währenddessen beschreiben die Schüler, was sie tun (z. B. am Obstgarten angekommen: „Ich nehme die Leiter aus dem Werkzeuglager. Ich stelle mich auf die Leiter und pflücke die Äpfel. Jetzt bringe ich die Äpfel in den Nahrungsvorrat.“). Der Testleiter gibt Hilfestellung falls nötig, damit alle zu lernenden Informationen wiedergegeben werden (Name des Ortes, die Handlung und der benötigte Gegenstand).

In der (*I*) Gruppe dürfen die Schüler nur gehen und die physiologische Beanspruchung wird auf einem niedrigen Niveau gehalten (unter 60% der individuellen maximalen Herzfrequenz). Die Schüler nehmen und bringen die Gegenstände zu den Orten. Dort angekommen führen sie die Handlungen mithilfe des Gegenstands aus (hohe Integration) und beschreiben sie wie in der Gruppe (*I + PR*).

In der (*PR*) Gruppe laufen die Schüler zu den verschiedenen Orten, ohne Gegenstände zu nehmen oder abzulegen (niedrige Integration). Die Gegenstände liegen bereits an den entsprechenden Orten, werden aber nicht benutzt. Die physiologische Beanspruchung wird identisch mit der (*I + PR*) Gruppe, in dem Bereich zwischen 65% und 80% der maximalen Herzfrequenz gehalten. Um dies zu gewährleisten, laufen die Schüler während des Beschreibens der Handlung im Kreis um den Ort. Die Schüler beschreiben die Handlungen wie bereits für die anderen Bedingungen geschildert.

In der (*K*) Gruppe gehen die Schüler zu den verschiedenen Orten, ohne dabei Gegenstände zu nehmen oder abzulegen. Die Gegenstände liegen bereits an den entsprechenden Orten, werden aber nicht benutzt. Dort angekommen, bleiben sie stehen und beschreiben, welche Handlung sie an diesem Ort ausführen können (wie zuvor beschrieben). Die physiologische Beanspruchung wird auf einem niedrigen Niveau gehalten (unter 60% der individuellen maximalen Herzfrequenz).

Zur Bestimmung der Gedächtnisleistung wird ein vierteiliger Test durchgeführt. Insgesamt prüft der Test das Wissen über alle Handlungen und Gegenstände. Abschließend wird eine Transferaufgabe zum Verständnis der Arbeitsabläufe gestellt. In dem ersten Teil werden die Schüler vom Testleiter gefragt, an welche Aufträge sie sich erinnern, die auf der Liste in dem Haus gestanden haben. Der Testleiter informiert den Schüler darüber, dass jeder Arbeitsauftrag einen Ort, einen Gegenstand und eine Handlung beinhaltet. Jeder vollständig erinnerte Auftrag gibt drei Punkte (ein Punkt pro erinnerte Information).

Im zweiten Teil werden die Orte in randomisierter Reihenfolge vom Testleiter vorgelesen. Die Schüler sollen die entsprechende Handlung nennen. Im dritten Teil werden die Gegenstände vom Testleiter vorgelesen und die Schüler sollen den Ort nennen, an dem der Gegenstand benutzt wurde. Im vierten Teil werden die Handlungen vom Testleiter vorgelesen, und die Schüler sollen den Gegenstand nennen, den sie für diese Handlung benutzt haben. Jede erinnerte Information zählt einen Punkt. Abschließend sollen die Schüler in einer Transferaufgabe einen Bauernhof bauen, auf dem man mit möglichst wenig Aufwand und möglichst schnell alle Arbeiten erledigen kann. Hierzu bekommen die Schüler ein Bild von jedem Ort, die sie in einem vorher definierten Rechteck auf dem Boden anordnen können. Das Ergebnis stellt die Strecke dar, die zurückgelegt werden muss, wenn man jede Handlung an dem Ort absolviert. Da das Nahrungslager, das Werkzeuglager und das Haus (hier liegt die Liste der Arbeitsaufträge) häufiger besucht werden müssen als die anderen Orte, sollten diese ins Zentrum gesetzt werden. Dadurch werden die zu laufenden Distanzen reduziert. Je kürzer die gemessene Distanz, desto besser wurden die Orte platziert. Der Gedächtnistest wird direkt nach der Lernphase, 24 Stunden später und eine Woche nach der Aneignung durchgeführt. Um mögliche Decken- oder Bodeneffekte auszuschließen wird die Aufgabenschwierigkeit mithilfe einer Pilotierphase angepasst. Hierzu kann die Anzahl der Orte oder die Anzahl der insgesamt zu lernenden Handlungen erhöht werden.

Als physiologischer Parameter der Erregung wird die Herzfrequenz während der Lernphase und während des ersten Gedächtnistests gemessen. Die Belastungsintensität wird anhand der Herzfrequenz gesteuert, sodass die Erregung im gewünschten Bereich der

Bedingung liegt (65% - 80% oder < 60% der maximalen Herzfrequenz). Die individuelle maximale Herzfrequenz der Kinder wird mit einem Ausbelastungstest auf einem Laufband ermittelt. Zu Beginn des Ausbelastungstests wird die Geschwindigkeit des Laufbands auf 6 km/h eingestellt. Alle drei Minuten wird die Geschwindigkeit um 2 km/h erhöht. Dies erfolgt solange bis der Schüler nicht mehr mit der Geschwindigkeit mithalten kann. Während des Ausbelastungstests wird die maximal erreichte Herzfrequenz erfasst. Der Ausbelastungstest findet mindestens zwei Tage vor dem Testbeginn statt.

Als neurophysiologische Parameter werden BDNF, Adrenalin, Noradrenalin und Dopamin gemessen. Bei Kindern bietet sich die Messung der Parameter über eine Urinprobe an, anstelle die Marker im venösen Blut zu messen. Diese Parameter stehen im positiven Zusammenhang mit der kognitiven Leistung und können somit Hinweise auf den Einfluss von Bewegung auf den Gedächtnisprozess geben (Cahill & Alkire, 2003; Chmura et al., 1994; Hansen & Manahan-Vaughan, 2015; Loprinzi et al., 2018a; Peyrin, Pequignot, Lacour & Fourcade, 1987; Winter et al. 2007). Die Messungen finden vor der Lernphase und direkt nach der Lernphase statt.

Ausgehend von dem vorgestellten Modell des Forschungsfelds von simultaner Bewegung und Gedächtnisleistung, wird vermutet, dass die Gedächtnisleistung der Schüler in der (I + PR) Gruppe im Vergleich zu den anderen Gruppen am besten sein wird. Die Leistung in der (I) und in der (PR) Gruppe sollten besser sein als in der (K) Gruppe. Explorativ soll untersucht werden, ob es Unterschiede auf Ebene der Handlungen, der Orte, oder der Gegenstände, zwischen der (I) und der (PR) Gruppe auftreten. Darüber hinaus soll untersucht werden, ob es einen Zusammenhang zwischen der Gedächtnisleistung und den gemessenen neurophysiologischen Parametern gibt.

Die in der skizzierten Studie beschriebene Instruktionsphase stellt ein Beispiel für eine niedrige Interferenz dar. Darauf aufbauend könnte man die Instruktionsphase manipulieren, um einen Vergleich mit einer Bedingung mit hoher Interferenz zu untersuchen. In dieser Bedingung könnte der Testleiter alle Informationen ausschließlich über eine Modalität präsentieren, wohingegen er die Informationen in der Bedingung mit niedriger Interferenz sowohl über visuelle als auch über die auditive Modalität bereitstellt. Am Beispiel der zuvor dargestellten Studie könnte der Testleiter die Handlungen vormachen (vi-

suell) und dem Schüler eine Beschreibung der Handlung im Textformat bereitstellen (visuell). In der Bedingung mit niedriger Interferenz beschreibt der Testleiter die Informationen (auditiv), statt einen Text bereit zu stellen. Die Messung des *Cognitive Load* (kognitive Last) könnte Aufschluss darüber geben, ob die beiden Instruktionsstile das Arbeitsgedächtnis unterschiedlich beanspruchen (siehe Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998 und 2019 für Details der Cognitive Load Theorie). Die kognitive Last sollte dabei in der Bedingung mit rein visueller Instruktion größer ausfallen, als in der Bedingung mit visuell-auditiver Instruktion. Neben physiologischen, subjektiven und behavioralen Maßen der kognitiven Last könnten auch Doppelaufgabensituationen genutzt werden, um die kognitive Last zu messen (Brünken, Plass & Leutner, 2003).

Darüber hinaus wäre ein Vergleich der Effekte über die Lebensspanne interessant. Zudem könnten Studien untersuchen, ob die Ergebnisse in einem Innersubjekt-Design repliziert werden können. Abschließend könnte das Modell des Forschungsfelds von simultaner Bewegung und Gedächtnisleistung anhand verschiedener Gedächtnisaufgaben getestet werden. Dies ermöglicht, zu untersuchen, ob die gefundenen Effekte sowohl für das episodische als auch für das Arbeitsgedächtnis gelten.

Literaturverzeichnis

- Amico, G., Braun, T., & Schaefer, S. (im Review Prozess). Can acute resistance exercise facilitate episodic memory encoding? *Psychological Research*.
- Amico, G., & Schaefer, S. (eingereicht). Implementing full body movements in a verbal memory task. Searching for benefits but finding mainly costs. *Mind, Brain and Education*.
- Amico, G., & Schaefer, S. (2019). No evidence for performance improvements in episodic memory due to fidgeting, doodling or a “neuro-enhancing” drink. *Journal of Cognitive Enhancement*. doi:10.1007/s41465-019-00124-9
- Amico, G., & Schaefer, S. (2020). Running during encoding improves word learning for children. *Frontiers in Psychology, 11*(684). doi:10.3389/fpsyg.2020.00684
- Andrade, J. (2010). What does doodling do? *Applied Cognitive Psychology, 24*, 100-106. doi:10.1002/acp.1561
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D., & Zagrodnik, J. (2008). Acute aerobic exercise and information processing: Energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta Psychologica, 129*, 410-419. doi:10.1016/j.actpsy.2008.09.006.
- Baltes, P. B., & Baltes, M. M. (1990). Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. In P. B. Baltes & M. M. Baltes (Eds.), *Successful aging: Perspectives from the behavioral sciences* (pp. 1-34). New York: Cambridge University Press.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences, 22*(4), 577-660. doi:10.1017/s0140525x99002149
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology, 59*, 617-645. doi:10.1146/annurev.psych.59.103006.093639
- Beilock, S. L. (2008). Beyond the playing field: Sport psychology meets embodied cognition. *International Review of Sport and Exercise Psychology, 1*(1), 19-30. doi:10.1080/17509840701836875
- Brünken, R., Plass, J. L., & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist, 38*(1), 53-61. doi:10.1207/S15326985EP3801_7
- Cahill, L., & Alkire, M. T. (2003). Epinephrine enhancement of human memory consolidation: Interaction with arousal at encoding. *Neurobiology of Learning and Memory, 79*(2), 194-198. doi:10.1016/S1074-7427(02)00036-9

- Cañal-Bruland, R., & van der Kamp, J. (2009). Action goals influence action-specific perception. *Psychonomic Bulletin and Review*, *16*(6), 1100-1105. doi:10.3758/pbr.16.6.1100
- Cassilhas, R. C., Lee, K. S., Fernandes, J., Oliveira, M. G., Tufik, S., Meeusen, R., & de Mello, M. T. (2012). Spatial memory is improved by aerobic and resistance exercise through divergent molecular mechanisms. *Neuroscience*, *202*, 309-317. doi:10.1016/j.neuroscience.2011.11.029
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, *1453*, 87-101. doi:10.1016/j.brainres.2012.02.068
- Cherrier, M. M., Matsumoto, A. M., Amory, J. K., Johnson, M., Craft, S., Peskind, E. R., & Raskind, M. A. (2007). Characterization of verbal and spatial memory changes from moderate to supraphysiological increases in serum testosterone in healthy older men. *Psychoneuroendocrinology*, *32*(1), 72-79. doi:10.1016/j.psyneuen.2006.10.008
- Chmura, J., Nazar, K., & Kaciuba-Uscilko, H. (1994). Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. *International Journal of Sports Medicine*, *15*(4), 172-176. doi:10.1055/s-2007-1021042
- Coles, K., & Tomporowski, P. D. (2008). Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *Journal of Sports Sciences*, *26*, 333-344. doi:10.1080/02640410701591417
- Cooper, C. J. (1973). Anatomical and physiological mechanisms of arousal, with special reference to the effects of exercise. *Ergonomics*, *16*(5), 601-609. doi:10.1080/00140137308924551
- Corsi, P. M. (1973). *Human memory and the medial temporal region of the brain*. (34). US: ProQuest Information & Learning.
- Cuttler, C., Connolly, C. P., LaFrance, E. M., & Lowry, T. M. (2018). Resist forgetting: Effects of aerobic and resistance exercise on prospective and retrospective memory. *Sport, Exercise, & Performance Psychology*, *7*(2), 205-217. doi:10.1037/spy0000112
- Dackermann, T., Fischer, U., Cress, U., Nuerk, H.-C., & Moeller, K. (2016). Bewegtes Lernen numerischer Kompetenzen. *Psychologische Rundschau*, *67*(2), 102-109. doi:10.1026/0033-3042/a000302
- Davranche, K., Audiffren, M., & Denjean, A. (2006). A distributional analysis of the effect of physical exercise on a choice reaction time task. *Journal of Sports Sciences*, *24*, 323-329. doi:10.1080/02640410500132165

- Dijkstra, K., & Zwaan, R. A. (2014). Memory and action. In L. Shapiro (Ed.), *The Routledge handbook of embodied cognition* (pp. 296-305). New York: Routledge.
- Dijkstra, K., Kaschak, M. P., & Zwaan, D. J. (2007). Body posture facilitates retrieval of autobiographical memories. *Cognition*, *102*, 139-149. doi:10.1016/j.cognition.2005.12.009
- Doumas, M., Smolders, C., & Krampe, R. T. (2008). Task prioritization in aging: Effects of sensory information on concurrent posture and memory performance. *Experimental Brain Research*, *187*, 275-281. doi:10.1007/s00221-008-1302-3.
- Duncan, J., Martens, S., & Ward, R. (1997). Restricted attentional capacity within but not between sensory modalities. *Nature*, *387*(6635), 808-810. doi:10.1038/42947
- Engelkamp, J., & Cohen, R. L. (1991). Current issues in memory of action events. *Psychological Research*, *53*(3), 175-182. doi:10.1007/BF00941384
- Etnier, J., Labban, J. D., Piepmeyer, A., Davis, M. E., & Henning, D. A. (2014). Effects of an acute bout of exercise on memory in 6th grade children. *Pediatric Exercise Science*, *26*(3), 250-258. doi:10.1123/pes.2013-0141
- Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2010). *Cognitive psychology: A student's handbook, 6th ed.* New York, NY, US: Psychology Press.
- Fischer, U., Moeller, K., Bientzle, M., Cress, U., & Nuerk, H.-C. (2011). Sensori-motor spatial training of number magnitude representation. *Psychonomic Bulletin and Review*, *18*, 177-183. doi:10.3758/s13423-010-0031-3
- Fitts, M., & Posner, M. I. (1967). *Human performance*. Belmont, CA: Brooks/Cole.
- Friedman, A., Polson, M. C., Dafoe, C. G., & Gaskill, S. J. (1982). Dividing attention within and between hemispheres: Testing a multiple resources approach to limited-capacity information processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *8*, 625-650. doi:10.1037//0096-1523.8.5.625
- Furley, P., & Laborde, S. (2020). Kapitel 11. Emotionen im Sport. In J. Schüler, M. Wegner, & H. Plessner, *Sportpsychologie: Anwendung und Grundlagen* (S. 235 - 266). Berlin: Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-662-56802-6
- Gabler, H. (2004). Kognitive Aspekte sportlicher Handlungen. In H. Gabler, J. R. Nitsch, R. Singer, & J. Munzert (Hrsg.), *Einführung in die Sportpsychologie: Teil 1: Grundthemen* (S. 165-196). Schorn-dorf: Hofmann.

- Gatti, R., & De Palo, E. F. (2011). An update: Salivary hormones and physical exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(2), 157-169. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01252.x
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Glenberg, A. M. (1997). What memory is for. *Behavioral and Brain Sciences*, 20(1), 1-19. doi:10.1017/S0140525X97000010
- Glenberg, A. M. (2010). Embodiment as a unifying perspective for psychology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1(4), 586-596. doi:10.1002/wcs.55
- Godden, D. R., & Baddeley, A. D. (1975). Context-Dependent memory in two natural environments: On land and underwater. *British Journal of Psychology*, 66(3), 325-331. doi:10.1111/j.2044-8295.1975.tb01468.x
- Goldin-Meadow, S., Nusbaum, H., Kelly, S. D., & Wagner, S. (2001). Explaining math: Gesturing lightens the load. *Psychological Science*, 12, 516-522.
- Goldinger, S. D., Papesh, M. H., Barnhart, A. S., Hansen, W. A., & Hout, M. C. (2016). The poverty of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(4), 959-978. doi:10.3758/s13423-015-0860-1
- Hainselin, M., Picard, L., Manolli, P., Vankerkore-Candas, S., & Bourdin, B. (2017). Hey teacher, don't leave them kids alone: Action is better for memory than reading. *Frontiers in Psychology*, 8, 325. doi:10.3389/fpsyg.2017.00325
- Hansen, N., & Manahan-Vaughan, D. (2015). Hippocampal long-term potentiation that is elicited by perforant path stimulation or that occurs in conjunction with spatial learning is tightly controlled by beta-adrenoreceptors and the locus coeruleus. *Hippocampus*, 25(11), 1285-1298. doi:10.1002/hipo.22436
- Herdman, C. M., & Friedman, A. (1985). Multiple resources in divided attention: A cross-modal test of the independence of hemispheric resources. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11(1), 40-49. doi:10.1037//0096-1523.11.1.40
- Hötting, K., Schickert, N., Kaiser, J., Röder, B., & Schmidt-Kassow, M. (2016). The effects of acute physical exercise on memory, peripheral BDNF, and cortisol in young adults. *Neural Plasticity*, 1-12. doi:10.1155/2016/6860573
- Jahn, P., & Engelkamp, J. (2003). Design effects in prospective and retrospective memory for actions. *Experimental Psychology*, 50(1), 4-15. doi:10.1027//1618-3169.50.1.4
- Janelle, C. M., Naugle, K. M. (2012). Chapter 29. Emotional reactivity. In G. Tenenbaum, R. Eklund & A. Kamata (Eds.), *Measurement in sport and exercise psychology*. US: Human Kinetics.

- Janowsky, J. S., Oviatt, S. K., & Orwoll, E. S. (1994). Testosterone influences spatial cognition in older men. *Behavioral Neuroscience*, *108*(2), 325-332. doi:10.1037/0735-7044.108.2.325
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Kirsh, D., & Maglio, P. (1994). On distinguishing epistemic from pragmatic action. *Cognitive Science*, *18*(4), 513-549. doi:10.1207/s15516709cog1804_1
- Knaepen, K., Goekint, M., Heyman, E. M., & Meeusen, R. (2010). Neuroplasticity - Exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor: A systematic review of experimental studies in human subjects. *Sports Medicine*, *40*, 765-801. doi:10.2165/11534530-000000000-00000
- Koutsandr eou, F., Niemann, C., Wegner, M., & Budde, H. (2016). Acute exercise and cognition in children and adolescents: The roles of testosterone and cortisol. In *Exercise-cognition interaction: Neuroscience perspectives*. (pp. 283-294). San Diego, CA, US: Elsevier Academic Press.
- Krampe, R. T., Schaefer, S., Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (2011). Lifespan changes in multi-tasking: Concurrent walking and memory search in children, young, and older adults. *Gait and Posture*, *33*, 401-405. doi:10.1016/j.gaitpost.2010.12.012
- Labban, J. D., & Etnier, J. L. (2011). Effects of acute exercise on long-term memory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *82*(4), 712-721. doi:10.1080/02701367.2011.10599808
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). Conceptual metaphor in everyday language. *The Journal of Philosophy*, *77*(8), 453-486. doi:10.2307/2025464
- Li, K. Z. H., Lindenberger, U., Freund, A. M., & Baltes, P. B. (2001). Walking while memorizing: Age-related differences in compensatory behavior. *Psychological Science*, *12*, 230-237. doi:10.1111/1467-9280.00341
- Lindenberger, U., Marsiske, M., & Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: Increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging*, *15*, 417-436. doi:10.1037/0882-7974.15.3.417
- Lindgren, R., Tscholl, M., Wang, S., & Johnson, E. (2016). Enhancing learning and engagement through embodied interaction within a mixed reality simulation. *Computers & Education*, *95*, 174-187. doi:10.1016/j.compedu.2016.01.001
- Link, T., Moeller, K., Huber, S., Fischer, U., & Nuerk, H.-C. (2013). Walk the number line - An embodied training of numerical concepts. *Trends in Neurosciences and Education*, *2*, 74-84. doi:10.1016/j.tine.2013.06.005

- Link, T., Schwarz, E. J., Huber, S., Fischer, U., Nuerk, H.-C., Cress, U., & Moeller, K. (2014). Mathe mit der Matte – Verkörperlichtes Training basisnumerischer Kompetenzen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *17*(2), 257-277. doi:10.1007/s11618-014-0533-2
- Loeffler, J., Canal-Bruland, R., & Raab, M. (2020). Kapitel 6. Embodied Cognition. In J. Schüler, M. Wegner, & H. Plessner, *Sportpsychologie: Anwendung und Grundlagen* (S. 115 - 134). Berlin: Springer Verlag. doi:10.1007/978-3-662-56802-6
- Loeffler, J., Raab, M., & Canal-Bruland, R. (2016). A lifespan perspective on embodied cognition. *Frontiers in Psychology*, *7*, 1-6. doi:10.3389/fpsyg.2016.00845
- Loprinzi, P. D., Blough, J., Crawford, L., Ryu, S., Zou, L., & Li, H. (2019). The temporal effects of acute exercise on episodic memory function: Systematic review with meta-analysis. *Brain Sciences*, *9*(4). doi:10.3390/brainsci9040087
- Loprinzi, P. D., Edwards, M. K., & Frith, E. (2017). Potential avenues for exercise to activate episodic memory-related pathways: A narrative review. *European Journal of Neuroscience*, *46*(5), 2067-2077. doi:10.1111/ejn.13644
- Loprinzi, P. D., & Frith, E. (2019). A brief primer on the mediational role of BDNF in the exercise-memory link. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *39*(1), 9-14. doi:10.1111/cpf.12522
- Loprinzi, P. D., Frith, E., & Edwards, M. K. (2018b). Resistance exercise and episodic memory function: A systematic review. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. doi:10.1111/cpf.12507
- Loprinzi, P. D., Ponce, P., & Frith, E. (2018a). Hypothesized mechanisms through which acute exercise influences episodic memory. *Physiology International*, *105*(4), 285-297. doi:10.1556/2060.105.2018.4.28
- Lozada, M., & Carro, N. (2016). Embodied action improves cognition in children: Evidence from a study based on Piagetian conservation tasks. *Frontiers in Psychology*, *7*(393). doi:10.3389/fpsyg.2016.00393
- Madan, C. R., & Singhal, A. (2012). Using actions to enhance memory: Effects of enactment, gestures, and exercise on human memory. *Frontiers in Psychology*, *3*, 507. doi:10.3389/fpsyg.2012.00507
- Mahon, B. Z. (2015). What is embodied about cognition? *Language, Cognition and Neuroscience*, *30*(4), 420-429. doi:10.1080/23273798.2014.987791
- Manzi, A., & Nigro, G. (2008). Long-term memory for performed and observed actions: Retrieval awareness and source monitoring. *Memory*, *16*, 595-603. doi:10.1080/09658210802070749

- Mavilidi, M.-F., Okely, A. D., Chandler, P., & Paas, F. (2016). Infusing physical activities into the classroom: Effects on preschool children's geography learning. *Mind, Brain, and Education*, *10*(4), 256-263. doi:10.1111/mbe.12131
- Mavilidi, M.-F., Okely, A. D., Chandler, P., & Paas, F. (2017). Effects of integrating physical activities into a science lesson on preschool children's learning and enjoyment. *Applied Cognitive Psychology*, *31*(3), 281-290. doi:10.1002/acp.3325
- Mavilidi, M. F., Ruiter, M., Schmidt, M., Okely, A. D., Loyens, S., Chandler, P., & Paas, F. (2018). A narrative review of school-based physical activity for enhancing cognition and learning: The importance of relevancy and integration. *Frontiers in Psychology*, *9*, 2079-2079. doi:10.3389/fpsyg.2018.02079
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1985). Distributed memory and the representation of general and specific information. *Journal of Experimental Psychology: General*, *114*(2), 159-197. doi:10.1037/0096-3445.114.2.159
- McMorris, T. (2016). *Exercise-cognition interactions: Neuroscience perspectives*. San Diego, US: Elsevier.
- McMorris, T., & Graydon, J. (2000). The effect of incremental exercise on cognitive performance. *International Journal of Sport Psychology*, *31*, 66-81.
- McMorris, T., & Hale, B. J. (2012). Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: A meta-analytical investigation. *Brain and Cognition*, *80*, 338-351. doi:10.1016/j.bandc.2012.09.001
- Miles, L. K., Nind, L. K., & Macrae, C. N. (2010). Moving through time. *Psychological Science*, *21*(2), 222-223. doi:10.1177/0956797609359333
- Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review*, *86*, 214-255. doi:10.1037/0033-295X.86.3.214
- Ornstein, P., A. (1978). *Memory development in children*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum associates.
- Pesce, C., Crova, C., Cereatti, L., Casella, R., & Bellucci, M. (2009). Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity*, *2*, 16-22. doi:10.1016/j.mhpa.2009.02.001
- Peyrin, L., Pequignot, J. M., Lacour, J. R., & Fourcade, J. (1987). Relationships between catecholamine or 3-methoxy 4-hydroxy phenylglycol changes and the mental performance under submaximal exercise in man. *Psychopharmacology*, *93*(2), 188-192. doi:10.1007/BF00179932

- Pouw, W. T. J. L., de Nooijer, J. A., van Gog, T., Zwaan, R. A., & Paas, F. (2014). Toward a more embedded/extended perspective on the cognitive function of gestures. *Frontiers in Psychology, 5*(359). doi:10.3389/fpsyg.2014.00359
- Proffitt, D. R. (2006). Embodied perception and the economy of action. *Perspectives on Psychological Science, 1*(2), 110-122. doi:10.1111/j.1745-6916.2006.00008.x
- Proffitt, D. R. (2013). An embodied approach to perception. *Perspectives on Psychological Science, 8*(4), 474-483. doi:10.1177/1745691613489837
- Proffitt, D. R., Bhalla, M., Gossweiler, R., & Midgett, J. (1995). Perceiving geographical slant. *Psychonomic Bulletin & Review, 2*(4), 409-428. doi:10.3758/bf03210980
- Pyke, W., Ifram, F., Coventry, L., Sung, Y., Champion, I., & Javadi, A.-H. (2020). The effects of different protocols of physical exercise and rest on long-term memory. *Neurobiology of Learning and Memory, 167*, 107128. doi:10.1016/j.nlm.2019.107128
- Roig, M., Nordbrandt, S., Geertsen, S. S., & B., N. J. (2013). The effects of cardiovascular exercise on human memory: A review with meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 37*, 1645-1666. doi:10.1016/j.neubiorev.2013.06.012
- Roig, M., Thomas, A. G., Mang, C. S., Snow, N. J., Ostadan, F., Boyd, L. A., & Lundbye-Jensen, J. (2016). Time-dependent effects of cardiovascular exercise on memory. *Exercise and Sport Science Reviews, 44*, 81-88. doi:10.1249/JES.0000000000000078
- Ruiter, M., Loyens, S., & Paas, F. (2015). Watch your step children! Learning two-digit numbers through mirror-based observation of self-initiated body movements. *Educational Psychology Review, 27*(3), 457-474. doi:10.1007/s10648-015-9324-4
- Schaefer, S. (2014). The ecological approach to cognitive-motor dual-tasking: Findings on the effects of expertise and age. *Frontiers in Psychology, 5*, 1-9. doi:10.3389/fpsyg.2014.01167
- Schaefer, S. (2018). Embodiment helps children solve a spatial working memory task: Interactions with age and gender. *Journal of Cognitive Enhancement*. doi:10.1007/s41465-018-0081-4
- Schaefer, S., Krampe, R. T., Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (2008). Age differences between children and young adults in the dynamics of dual-task prioritization: Body (balance) versus mind (memory). *Developmental Psychology, 44*, 747-757. doi:10.1037/0012-1649.44.3.747
- Schaefer, S., Lövdén, M., Wieckhorst, B., & Lindenberger, U. (2010). Cognitive performance is improved while walking: Differences in cognitive-sensorimotor couplings between children and young

- adults. *European Journal of Developmental Psychology*, 7, 371-389. doi:10.1037/0012-1649.44.3.747
- Schmidt-Kassow, M., Deusser, M., Thiel, C., Otterbein, S., Montag, C., Reuter, M., . . . Kaiser, J. (2013). Physical exercise during encoding improves vocabulary learning in young female adults: A neuroendocrinological study. *Plos One*, 8, e64172. doi:10.1371/journal.pone.0064172
- Schmidt-Kassow, M., Kulka, A., Gunter, T. C., Rothermich, K., & Kotz, S. A. (2010). Exercising during learning improves vocabulary acquisition: Behavioral and ERP evidence. *Neuroscience Letters*, 482(1), 40-44. doi:10.1016/j.neulet.2010.06.089
- Schmidt-Kassow, M., Zink, N., Mock, J., Thiel, C., Vogt, L., Abel, C., & Kaiser, J. (2014). Treadmill walking during vocabulary encoding improves verbal long-term memory. *Behavioral and Brain Functions*, 10, 24. doi:10.1186/1744-9081-10-24
- Schneider, W. (2008). The development of metacognitive knowledge in children and adolescents: Major trends and implications for education. *Mind, Brain, and Education*, 2, 114-121. doi:10.1111/j.1751-228X.2008.00041.x
- Schramke, C. J., & Bauer, R. M. (1997). State-dependent learning in older and younger adults. *Psychology and Aging*, 12(2), 255-262. doi:10.1037//0882-7974.12.2.255
- Segal, S. K., Cotman, C. W., & Cahill, L. F. (2012). Exercise-induced noradrenergic activation enhances memory consolidation in both normal aging and patients with amnesic mild cognitive impairment. *Journal of Alzheimer's Disease : JAD*, 32(4), 1011-1018. doi:10.3233/JAD-2012-121078
- Skriver, K., Roig, M., Lundbye-Jensen, J., Pingel, J., Helge, J. W., Kiens, B., & Nielsen, J. B. (2014). Acute exercise improves motor memory: Exploring potential biomarkers. *Neurobiology of Learning and Memory*, 116, 46-58. doi:10.1016/j.nlm.2014.08.004
- Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2018). Embodied learning: Introducing a taxonomy based on bodily engagement and task integration. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 3(1), 6. doi:10.1186/s41235-018-0092-9
- Smith, S. M., & Vela, E. (2001). Environmental context-dependent memory: A review and meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(2), 203-220. doi:10.3758/BF03196157
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261-292. doi:10.1007/s10648-019-09465-5

- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, *10*(3), 251-296. doi:10.1023/A:1022193728205
- Thayer, J. F., Hansen, A. L., Saus-Rose, E., & Johnsen, B. H. (2009). Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: The neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Annals of Behavioral Medicine*, *37*(2), 141-153. doi:10.1007/s12160-009-9101-z
- Tomprowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*, *112*, 297-324. doi:10.1016/S0001-6918(02)00134-8
- Tomprowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and children's intelligence, cognition, and academic achievement. *Educational Psychology Reviews*, *20*, 111-131.
- Torrallbo, A., Santiago, J., & Lupiáñez, J. (2006). Flexible conceptual projection of time onto spatial frames of reference. *Cognitive Science*, *30*(4), 745-757. doi:10.1207/s15516709cog0000_67
- Toumpaniari, K., Loyens, S., Mavilidi, M.-F., & Paas, F. (2015). Preschool children's foreign language vocabulary learning by embodying words through physical activity and gesturing. *Educational and Psychological Review*, *27*, 445-456. doi:10.1007/s10648-015-9316-4
- Verburgh, L., Königs, M., Scherder, E. J. A., & Oosterlaan, J. (2014). Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *48*(12), 973-979. doi:10.1136/bjsports-2012-091441
- Weinberg, L., Hasni, A., Shinohara, M., & Duarte, A. (2014). A single bout of resistance exercise can enhance episodic memory performance. *Acta Psychologica*, *153*, 13-19. doi:10.1016/j.actpsy.2014.06.011
- Wendler, M. (2017). Embodied action: Lernen mit dem ganzen Körper. *Motorik*, *40*, 127. doi:10.2378/Mot2017.art21d
- Wickens, C. D. (1991). Processing resources and attention. In D. Damos (Ed.), *Multiple-task performance* (pp. 3-34). London: Taylor-Francis.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *3*(2), 159-177. doi:10.1080/14639220210123806
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*, 625-636. doi:10.3758/BF03196322
- Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A., . . . Knecht, S. (2007). High impact running

- improves learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 87, 597-609. doi:10.1016/j.nlm.2006.11.003
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18(5), 459-482. doi:10.1002/cne.92018050

Beitrag 1

Amico, G., & Schaefer, S. (eingereicht). Implementing full body movements in a verbal memory task. Searching for benefits but finding mainly costs. Manuskript eingereicht bei *Mind, Brain and Education*

Implementing full body movements in a verbal memory task: Searching for benefits but
finding mainly costs

Gianluca Amico & Sabine Schaefer

Author Note

Department of Sport Sciences, Saarland University. Please address correspondence regarding this article to Gianluca Amico (gianluca.amico@uni-saarland.de), Institute for Sport Science, Campus Building B 8.1, Saarland University, 66123 Saarbrücken, Germany. Phone: +49 681 302 2557, Fax: +49 681 302 4091.

Funding

This work was supported by the Saarland University.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Data availability statement

Research data to this article can be found online at Amico, Gianluca; Schaefer, Sabine (2019), "Embodiment effects in spatial memory from childhood to young adulthood: Searching for benefits but finding mainly costs", Mendeley Data, V1, doi: 10.17632/8xk8gxnzrm.1

Acknowledgements

The authors would like to thank Nora Matheis, Linda Betzler, Heiko Lesch, Ann-Kathrin Rohe and for their help collecting and entering the data and Claudia Roebbers for helpful discussions.

Abstract

Studies on “embodiment” show that moving your body can enhance cognition. We investigated such effects in a verbal memory task across age. In study 1, children, adolescents, and young adults ($N = 148$) were tested in group-sessions and reproduced number series of increasing length. In the "embodied" condition, subjects walked to numbered gymnastic mats. In the "sitting" condition, the numbers were presented visually. All age groups, except the youngest, showed a deterioration of verbal memory performance in the embodied condition compared to sitting. In study 2, young adults ($n = 33$, $M_{age} = 24.5$ years) and children ($n = 28$, $M_{age} = 7.3$ years) were tested individually, with smaller target fields. There were no differences in verbal memory performance between the conditions. This indicates that “embodiment” does not always lead to performance enhancements. Instead, moving through space while thinking represents a dual-task situation, causing performance decrements across age.

Keywords: embodiment, child development, memory, cognition

148 words

Lay Abstract

Sometimes people profit from body movements when thinking. We investigated whether walking or running to numbered positions helps to remember strings of numbers. In two experiments children and young adults had to remember number sequences of increasing length, either while walking to numbered positions or while sitting/standing. Contrary to our expectations, memory performance was not improved when walking to the numbered fields, maybe because walking requires some attention.

Embodiment effects in spatial memory from childhood to young adulthood: Searching for benefits but finding mainly costs

Introduction

In most types of schools, students sit in class and are instructed to listen but not to move, as almost every body movement is considered to be a disruptive behavior. However, movement can have positive effects on learning. This has been shown in intervention studies, where children have been trained in their physical fitness leading to cognitive improvements (Hillman, Kamijo, & Scudder, 2011; Vazou, Pesce, Lakes, & Smiley-Oyen, 2016), and in acute exercise studies in childhood (Tompsonowski, 2003; Tomporowski, 2015; Tomporowski, Davis, Miller, & Naglieri, 2008). In addition, cognition can profit from body movements if the movement is related meaningfully to the cognitive task (Hainselin, Picard, Manolli, Vankerkore-Candas, and Bourdin, 2017; Mavilidi, Okely, Chandler, & Paas, 2016; Skulmowski & Rey, 2018b), in particular, if cognitive processes are acted out. The concept of "embodied cognition" has recently attracted an increased research interest (Barsalou, 2008; Glenberg, 2010; Kiefer & Trumpp, 2012). Wilson (2002) reviews several views on embodied cognition. She argues that sensorimotor experiences and bodily states play an essential role in higher cognitive processes, since the human mind is grounded in mechanisms that evolved for interaction with the environment, including sensory processing and motor control. This hypothesis is supported by the co-activation of brain structures involving both motor and cognitive abilities, specifically the cerebellum and the prefrontal cortex, during cognitive tasks (Diamond, 2000). Kiefer and Trumpp (2012) agree with this view on cognition and point out that embodiment has important implications for education, in particular the sensory and motor interactions during learning. Pouw, Gog, and Paas (2014) describe the development

of internalized embodied knowledge as a gradual process. Over time, learners slowly disembed their mental activity from the environment. For example, children stop using finger gestures to count.

From a cognitive developmental perspective, it is an interesting question how embodiment relates to cognitive and motor development over the lifespan. In their review, Loeffler, Raab, and Canal-Bruland (2016) argue that age has a noticeable impact on embodied cognition effects. The authors assume that the embodiment effect is more pronounced in children compared to older adults, when it is driven by new associations. Since children build new cognitive content using physical experiences, we expected children in particular to profit from embodiment in the current study. Piaget (Piaget, 1975) also assumed that physical experiences are essential in the very early stages of cognitive development and become less important with increasing age. Several studies could show that embodiment helps children to learn new knowledge. A study by Lozada and Carro (2016) found that active manipulation (embodiment) helps 6 to 7 year old children to answer correctly to typical Piagetian conservation tasks, for example if the quantity of liquid has changed after pouring it from a wider into a narrower container. In addition, embodiment can facilitate the learning of scientific and physical knowledge as shown by Lindgren, Tscholl, Wang, and Johnson (2016) who put middle school students in the role of an asteroid. Using their bodies in an immersive whole-body simulation, they learned about gravity and planetary motion. The control group used a desktop version of the same simulation. The results showed significantly higher learning gains, higher levels of engagement, and more positive attitudes towards science for the whole-body simulation group.

Mavilidi, Okely, Chandler, and Paas (2017) integrated the embodied cognition framework into the school setting. They taught a total of 90 preschool children the solar system (i.e. name of planets and their positions based on their distance from the sun shown by

toy versions of the planets and the sun lying on the floor). Children were either taught while sitting, while running laps (task-unrelated physical activity) or while running successively from the sun to the planets on the floor (task-related physical activity). Memory scores in an immediate and a delayed retention test were highest for children in the task-related physical activity group, followed by the task-unrelated group, and the control condition.

Embodiment has also been shown to improve memory performances of young adults and children if the to-be-learned words are acted out as opposed to more passive encoding conditions (Engelkamp & Cohen, 1991; Hainselin et al., 2017; Jahn & Engelkamp, 1991; Manzi & Nigro, 2008). It also increased vocabulary learning in preschoolers (Toumpaniari, Loyens, Mavilidi, & Paas, 2015).

In addition, embodiment can support the learning of numerical concepts (Ruiter, Loyens, & Paas, 2015) and help children understand abstract number magnitude representations (Fischer, Moeller, Bientzle, Cress, & Nuerk, 2011). Link, Moeller, Huber, Fischer, and Nuerk (2013) asked first graders to either walk to the respective position on a number line on the floor (embodied condition) or to indicate the position on a number line on a tablet PC. The performance of children in a paper-pencil version of the number line estimation task showed larger improvements after the embodied training program, and the embodied training also showed transfer effects to an untrained addition task. Kiefer and Trumpp (2012) emphasize the relation between abstract number concepts and motor experience, by describing number concepts to be rooted in visuo-spatial and action-related representations.

A recent study by Schaefer (2018) extended the current findings of embodied cognition to the domain of spatial working memory. She tested 7- and 9-year old children in a spatial 2-back task and young adults in a spatial 3-back task in a within-subjects design. The stimuli were presented in a row of 9 adjacent fields positioned on the floor. The participants

had the instruction to monitor the sequence of stimulus fields (target field turning red) and had to indicate, by saying "tap", whenever a stimulus appears in the same position as the one presented 2 or 3 positions earlier. Participants either stepped into the target fields while working on the n-back task (embodied condition), or remained on their position (standing control condition). Results showed that 7-year olds did profit from embodiment, while 9-year olds and young adults did not, supporting the assumption that younger children profit the most from embodiment.

Since working and short-term memory develop rapidly from child- to adulthood, it is important to distinguish between different age groups when investigating memory performance (Gathercole, 1999; Isaacs & Vargha-Khadem, 1989; Li, Lindenberger, Hommel, Aschersleben, Prinz, & Baltes, 2004). Previous embodied cognition studies usually only compared two or three specific age groups. The current studies investigate the effects of embodied cognition on memory performance in a larger age range across childhood and adolescence. We addressed the question whether moving through space while encoding verbal memory content connected with spatial cues is helpful for performance, and whether there are age differences in this respect. The linking of full body movements with verbal information enables us to test if participants do profit from afferent feedback of their body movements when recalling the number sequence in the Digit-Span task. The task was to encode series of increasing number sequences either while sitting or while moving to numbered gymnastic mats. If participants can integrate the additional information of their movement, we hypothesize increased recall performance in this condition due to embodied cognition processes. In this context, embodiment describes the recall process as a simulation of past experiences, including motor and mental states (Barsalou, 1999; Dijkstra & Zwaan, 2014). In the current study, this would mean that participants in the movement condition could not only rely on their verbal information but were also able to use information of their movements during recall (e.g. the path walked, the distance between numbers, position of turning points).

In study 1, children and young adults were tested in group-sessions in a gym. In study 2, the same verbal memory task was used, but participants were tested individually in a laboratory. The extent of movement was reduced by using smaller target fields, to disentangle the effect of physical activity from embodied-cognition effects. To adjust for age differences in performance levels, the range of the tested sequence lengths was adapted for each age group. Inter-stimulus intervals (ISIs) were kept constant across both conditions and set in a way that participants could reach the target fields without running (ISI of 6 seconds for study 1, ISI of 4 seconds for study 2). We chose a small distance between gymnastic mats (study 1) or target fields (study 2) to keep ISIs as short as possible while still having full body movements. Based on previous studies (Hainselin et al., 2017; Link et al., 2013; Schaefer, 2018), we assumed that younger children profit more from possible embodiment effects than older children, teenagers or young adults. If embodiment helps to memorize verbal information, this information could be used to improve educational settings and to enhance learning and memory performance.

Study 1

Method

Participants

Study 1 tested 27 children from school grades 1 to 3 (17 girls), 28 children from school grades 4 to 6 (18 girls), 30 children from school grades 7 to 8 (18 girls), 40 teenagers from school grades 10 (16 girls), and 23 university students (4 women) (see Table 1).

Participants were recruited through local sports clubs or local schools. All participants had normal or corrected-to-normal vision and hearing. Participants or one of their parents provided informed consent. As background variable, perceptual speed was measured with the Digit-Symbol Substitution task (Wechsler, 1981). Consistent with the literature on cognitive

development (Petermann & Petermann, 2010), an ANOVA with age group (5) as between subjects factor showed a significant main effect for age group, $F(4,145) = 94.008, p < .001$, reflecting performance increases with increasing age. The study was approved by the Ethics committee of Saarland University.

Table 1

Study 1 Descriptives and Cognitive Background Information

Age group	1	2	3	4	5
School grade	1 - 3	4 - 6	7 - 8	10	young adults
<i>N</i>	27	28	30	40	23
Age (years)					
<i>M</i>	7.8	11.4	14	16.6	23.5
<i>Range</i>	6.4 - 9.9	9.8 - 12.1	12.4 - 14.9	15.7 - 17.5	20.0 - 30.0
<i>SD</i>	.81	.50	.68	.50	2.78
Digit-Symbol Substitution (correct items per second)					
<i>M</i>	.27	.44	.55	.68	.68*
<i>SD</i>	.06	.08	.11	.09	.14

*Note that the Digit-Symbol mean for age group 5 was calculated from $n = 21$ due to missing data.

Experimental task

Verbal Memory Task. The Verbal Memory Task was based on the Digit-Span task from Petermann and Petermann (2010) but was enriched with spatial information. The goal of the task was to memorize number series of increasing length and to reproduce them in the correct order. The dependent variable was the sum of correctly remembered number sequences. Each number sequence length consisted of two trials before the next higher sequence was tested. Numbers were presented via loudspeakers with an ISI of 6 seconds. A signal tone indicated the end of the trial. The participants wrote down their answers on a sheet

of paper. Only sequences for which all numbers were written down in the correct order were scored as correct. After everyone finished writing, the next trial started. The sequence lengths ranged from 3 to 9 digits for school grades 1 to 8, from 3 to 10 digits for grade 10, and from 3 to 11 digits for young adults, to avoid floor or ceiling effects. Each participant worked on two versions of the Verbal Memory task: sitting and moving. The order of these conditions was counterbalanced across participants. Figure 1 presents an overview of the experimental setup. In the *sitting* condition, participants sat on three gymnastics mats and were presented with the numbers via loudspeakers and via a beamer on a screen. Immediately following the presentation of the last number, participants wrote down their answers on the response sheet. For the *moving* condition, 9 gymnastic mats were placed next to each other with a 10 cm gap in between. On each gymnastic mat, a number from 1 to 9 was placed. Subjects were asked to move to each number on the respective mat during encoding. The ISI of 6 seconds provided enough time to reach each gymnastic mat without running. When a trial was finished, participants in the moving condition sat down on the last gymnastic mat and wrote down their answers. This instruction ensured that the participants in both conditions started to write down their answers at the same time. Participants in the moving condition finished their trial on a gymnastic mat, where they saw the last number of the sequence on the mat while they were writing down their answer. To negate this advantage compared to the sitting condition, the last number of a sequence presented in the sitting condition was displayed on the screen until everyone was finished writing down their answers.

Procedure

The testing took place in groups with up to 5 participants per condition. Both conditions ran simultaneously in a gym, which was spatially separated by a partition wall (see Figure 1). The session started with the assessment of some demographic variables and the Digit-Symbol Substitution Test. After that, participants were instructed in the Verbal Memory

task and started working on one of the two conditions, depending on the counterbalancing (sitting or moving). The other condition was assessed in the second half of the testing session. Sessions lasted between 60 and 90 minutes.

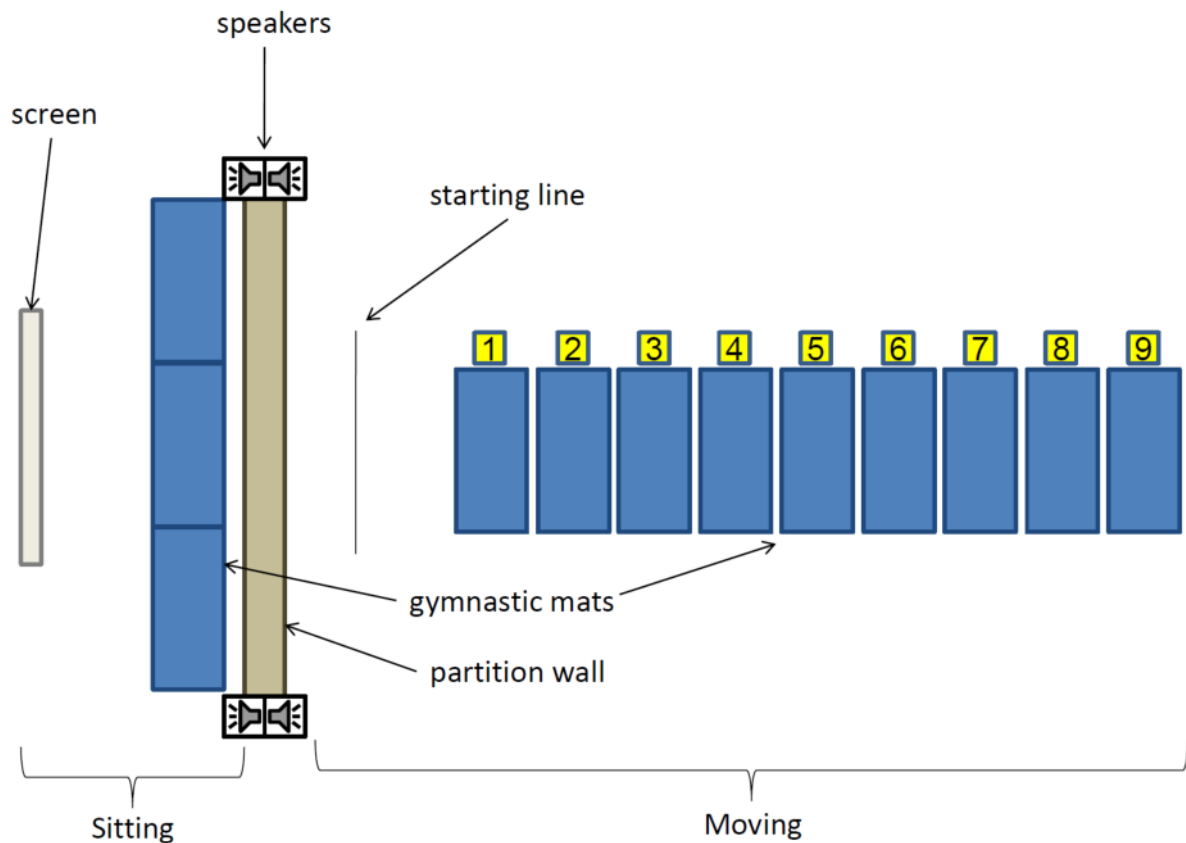


Figure 1. Experimental Setup of the Sitting and the Moving Condition in Study 1.

Data analysis

The Verbal Memory task was analyzed with mixed-design analyses of variance (ANOVA) with condition (2: sitting or moving) as within-subjects factor and age group (5) as between-subjects factor. F values and partial Eta square values for effect sizes are reported. The alpha level used to interpret statistical significance in the analyses was $p < .05$. Significant main effects were further investigated by planned t -tests with Bonferroni corrected levels of significance. For paired-samples t -tests, we present Cohen's d_z effect sizes and for independent-samples t -tests, we present Cohen's d effect sizes.

Results

The ANOVA with condition (2: sitting, moving) as within-subjects factor and age group (5: grade 1 to 3, grade 4 to 6, grade 7 to 8, grade 10, young adults) as between-subjects factor was conducted to investigate the influence of possible embodiment effects on memory performance. This analysis is based on the data of 148 participants. Figure 2 depicts the pattern of findings. The results show a significant main effect of condition, indicating better cognitive performance in the sitting condition ($M = 10.22$, $SD = 4.02$) compared to the moving condition ($M = 8.54$, $SD = 3.5$), $F(1,143) = 71.09$, $p < .001$, $\eta^2_p = .332$. Furthermore, the results show a significant main effect of age group, $F(4,143) = 40.08$, $p < .001$, $\eta^2_p = .529$. A post-hoc ANOVA shows a significant linear trend of age group, $F(1,143) = 124.72$, $p < .001$, indicating higher cognitive performance with increasing age. The results show a significant interaction of condition and age group, $F(4,143) = 2.87$, $p = .025$, $\eta^2_p = .074$. For the following paired-samples t -tests the level of significance has been Bonferroni corrected to $p < .01$. Memory performance was significantly better in the sitting condition compared to the moving condition for all groups except the youngest group (see Table 2).

Table 2

Results of Paired Samples t -Tests comparing the Memory Performance of the Sitting and the Moving Condition for all Age Groups

Age Group	T	df	p	d_z
1	1.910	26	.067	.37
2	4.681	27	.000*	.88
3	4.157	29	.000*	.76
4	2.940	39	.005*	.46
5	5.069	22	.000*	1.06

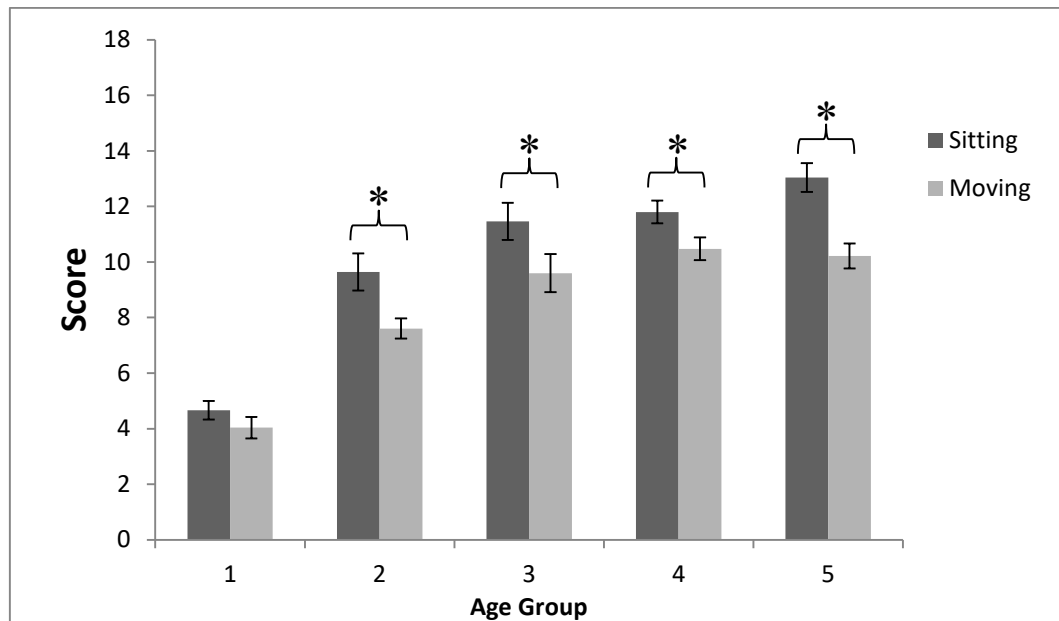


Figure 2. Results of the Verbal Memory Task in the Sitting and Moving Condition for the 5 Age Groups. Error bars = SE means.

Discussion Study 1

The current study is the first to investigate if meaningful full body movements can induce embodiment effects and improve memorizing sequences of verbal information. However, we found costs instead of performance increases in all age groups except in the youngest. In the moving condition, participants walked to the respective location while concurrently working on a cognitive task. The pattern of results can be related to dual-task research. Due to attentional resources that have to be shared between two concurrent tasks, studies often report performance decrements in one or both tasks (Kahneman 1973; Navon & Gopher, 1979; Schaefer, 2014). Episodic memory tasks often suffer from concurrent walking (Krampe, Schaefer, Lindenberger, & Baltes, 2011; Li, Lindenberger, Freund, & Baltes, 2001; Lindenberger, Marsiske, & Baltes, 2000).

But why did we find no costs in the youngest age group? Maybe younger children rely on physical experiences more than adults, who rather use abstract mental constructs to solve the cognitive task. This would fit into the concept by Pouw et al. (2014) who mention that

children disembed their mental activity from the environment with increasing age. Piaget (1975) also assumed that physical experiences are especially important in the early stages of cognitive development and get more abstract in adulthood. Still, we found no performance improvements in the youngest age group. Another possible explanation for the current results could be that walking disturbed the use of memory strategies (e.g., rehearsal, clustering). If this is the case, young children might be affected differentially than older children or young adults, because the quantity and quality of memory strategies shows a pronounced development from early to late elementary school (Ornstein, 1978). A review by Schneider and Sodian (1997) shows that only 40 % of 8 year-old children use cognitive memory strategies efficiently.

We did not assess data to measure physical activity, but younger children tended to run while older children and young adults tended to walk. This could have led to differences in physical activity between the age groups, which in turn could have influenced cognitive performance (Drollette et al., 2014; Niemann et al., 2013; Tomporowski, 2015; Tomporowski et al., 2008). In addition, testing took place in group-sessions with up to 5 participants. It is possible that moving in a group is particularly disturbing.

To counteract these limitations in study 2, we measured heart rates to monitor physical activity and used smaller target fields to reduce the movement space and to shorten ISIs. These adaptations aim to further reduce physical activity in the sense of exertion and to get closer to the traditional verbal short-term memory task Digit-Span Forward by Petermann and Petermann (2010). All participants were tested individually in our laboratory to eliminate the influence of group testing. Study 2 will again investigate if participants' recall performance can be improved by meaningful full body movements during memory encoding.

Study 2

Method

Participants

Study 2 tested 28 7-year-old children (11 girls) and 34 young adults (18 women). Children were recruited via the participant pool of Saarland University, by distributing flyers, and by word-of-mouth advertisement. The university students participated in the study in exchange for course credit. The children's parents received 15 € to compensate their expenses. All participants had normal or corrected-to-normal vision and hearing. Participants or one of their parents provided informed consent. As background variable, cognitive speed was measured with the Digit-Symbol Substitution task (Wechsler, 1981). In addition, the Digit-Span forward test (Petermann & Petermann, 2010) was conducted to have a reference value for verbal memory performance (see Table 3). The memory span depicts the longest sequence of digits that could be remembered correctly. The study was approved by the Ethics committee of Saarland University.

Table 3

Study 2 Descriptives and Cognitive Background Information

Age group	Children	Young Adults	Differences
<i>N</i>	28	34	
Age (years)			
<i>M</i>	7.3	24.5	
<i>Range</i>	7.0 - 7.9	20.0 - 51.0	
<i>SD</i>	.27	6.4	
Digit-Symbol Substitution (correct items per second)			Age group $t(60) = 17.842$, $p < .001$, $d = 4.57$
<i>M</i>	.29	.71	
<i>SD</i>	.05	.12	
Digit-Span Forward (memory span)			Age group $t(60) = 6.739$,
<i>M</i>	5.11	7.00	

<i>SD</i>	.875	1.26	$p < .001, d = 1.74$
-----------	------	------	----------------------

Note. There were two rather old participants in the young adults' sample, one 43-year old participant and one 51-year old participant, who were enrolled as sport students. All other young adults were between 20 and 27 years old. Excluding the two oldest participants from the sample did not change any of the reported effects.

Experimental Task

Verbal Memory Task. The Verbal Memory task was similar to the task assessed in study 1. The goal of the task was to memorize number series of increasing length and to reproduce them in correct order. Stimuli were always presented auditorily via speakers. Target fields were 50 x 50 cm wide and directly adjacent (see Figure 3 for experimental setup). The inter-stimulus-interval was decreased to 4 seconds. A sound signal indicated the end of the trial. The participant reported the string of numbers verbally, and the experimenter scored the result. Number strings were scored as correct only if all numbers were reproduced in correct order. The number sequences ranged from 3 to 7 digits for the children and from 6 to 11 digits for the young adults. To make the scores of both age groups comparable, we added the scores for the untested sequence lengths 3 to 5 to the scores of the young adults. This adaption is justifiable because these sequence lengths are no challenge for young adults and surely would have resulted in ceiling effects. No child except one reached a maximum span length of 7. As in study 1, the Verbal Memory task was assessed under two conditions: In the *standing* condition, participants stood in front of the target fields during encoding. In the *moving* condition, participants stepped into each target field during encoding. The ISI of 4 seconds enabled them to reach each target field without running. The order of conditions was counterbalanced across participants.

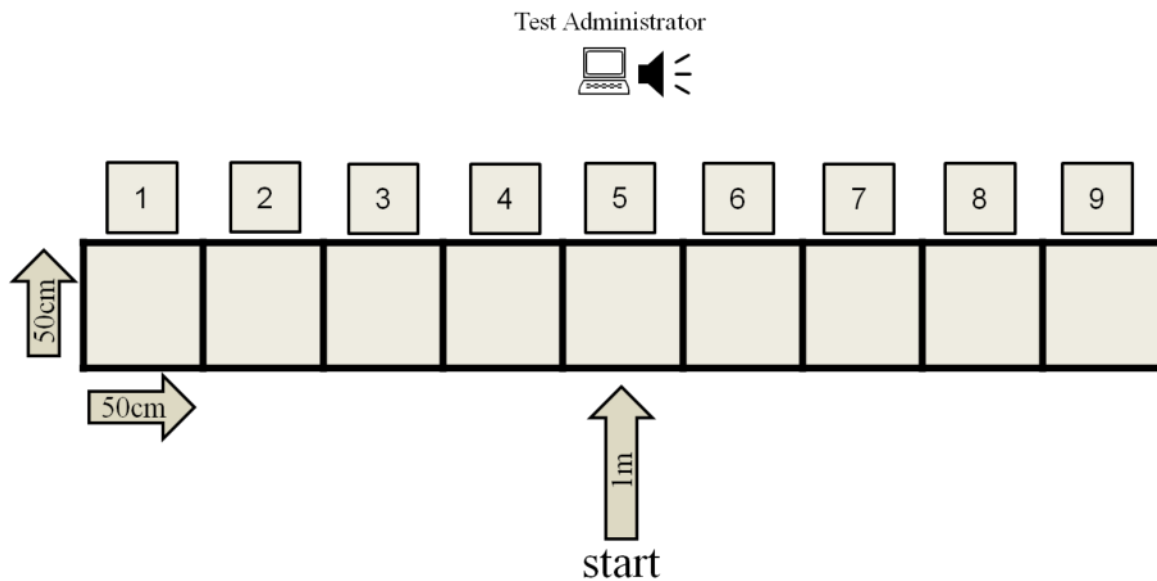


Figure 3. Experimental Setup of the Verbal Memory Task in Study 2.

Procedure

Participants were tested individually in our laboratory. In order to assess the intensity of the movement, participants' heart rates were continuously monitored (using a Polar heart rate monitor RS44). Following the Digit-Symbol Substitution task (Wechsler, 1981) and the Digit-Span forward task (Petermann & Petermann, 2010) participants performed the two versions of the Verbal Memory task, in counterbalanced order. After that, participants worked on a short (20-minute) aiming task, which is not part of the current paper. Testing sessions lasted between 70 and 90 minutes.

Data analysis

The Verbal Memory task and the heart rate data were analyzed with mixed-design analyses of variance (ANOVAs). All other information on data analysis is identical to study 1.

Results

Verbal Memory Task. The ANOVA with condition (2: standing, moving) as within-subjects factor and age group (2: children, young adults) as between-subjects factor

was conducted to investigate the influence of embodiment effects on memory performance. Figure 4 depicts the pattern of findings. The results show no main effect of condition, $F(1,60) = 1.038, p = .312, \eta^2_p = .017$. There was a main effect of age group, $F(1,60) = 166.336, p < .001, \eta^2_p = .735$, indicating a better performance in the memory task for young adults ($M = 14.38, SD = 2.6$) compared to children ($M = 6.82, SD = 1.8$). Furthermore, the results show no interaction of condition and age group, $F(1,60) = 3.285, p = .075, \eta^2_p = .052$.

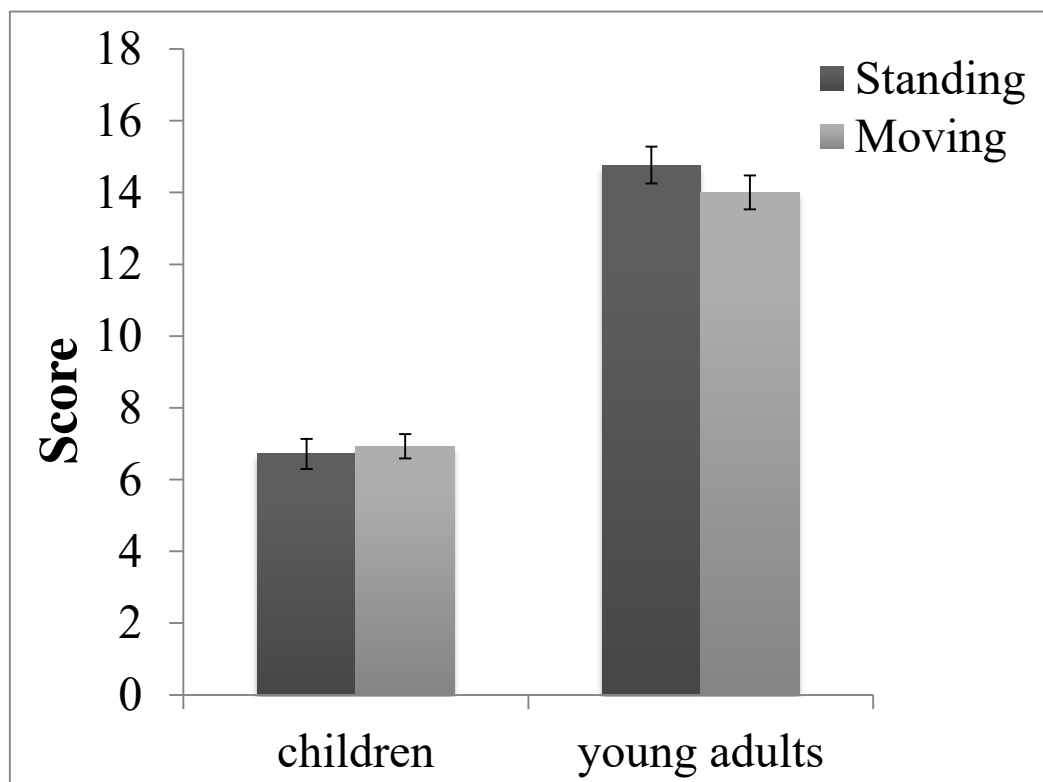


Figure 4. Results of the Verbal Memory Task in the Standing and Moving Condition for Children and Young Adults. Error bars = SE means.

Heart rate. The ANOVA with condition (2) as within-subjects factor and age group (2) as between-subjects factor was conducted to investigate differences in the heart rate between age groups and conditions. The results show a significant main effect of condition, $F(1,60) = 17.525, p < .001, \eta^2_p = .226$, indicating a higher overall heart rate in the moving condition ($M = 98.65, SD = 18.34$) compared to the standing condition ($M = 93.23, SD = 16.82$). There was a main effect of age group, $F(1,60) = 89.928, p < .001, \eta^2_p = .600$, due to

higher heart rates in children ($M = 110.1$, $SD = 9.11$) compared to young adults ($M = 84.26$, $SD = 11.81$). Furthermore, the results show a marginally significant interaction of condition and age group, $F(1,60) = 3.720$, $p = .058$, $\eta^2_p = .058$. Paired-samples t -tests (with a Bonferroni corrected $p < .025$) indicate that there is no difference in heart rate between the standing ($M = 82.74$, $SD = 12.79$) and moving ($M = 85.79$, $SD = 13.03$) condition for young adults, $t(33) = 1.712$, $p = .096$, $d_z = .29$. However, the difference between the standing ($M = 105.96$, $SD = 11.51$) and moving ($M = 114.25$, $SD = 9.61$) condition reached significance in children, $t(27) = 4.036$, $p < .001$, $d_z = .76$.

General Discussion

The two studies of the current paper were designed to reveal embodiment effects in a verbal memory task that connects verbal with spatial information. The concept of embodied cognition argues that higher cognitive processes are deeply connected with sensorimotor experiences and bodily states (Wilson, 2002). Based on the literature on positive embodiment effects in children's cognition (Link et al., 2013; Hainselin et al., 2017; Mavilidi et al., 2016; Schaefer, 2018), we predicted that younger children should profit more from embodiment than older children and young adults. However, contrary to our predictions, study 1 found costs in verbal memory performance during walking for all age groups except the youngest, and study 2 found no differences in verbal memory performance between walking and standing in 7-years olds and young adults. Methodological differences between studies 1 and 2 may have caused the observed differences in the results.

The smaller size and the shorter distances between the target fields in study 2 decreased the demands of the locomotion. Instead of walking distances of several meters to reach the next gymnastics mat in study 1, participants simply had to step into the next target field. This probably decreased the cognitive load of the secondary motor task (= reaching the

target field in time). In addition, individualized testing assured that distractions from other participants were excluded.

The rather long ISIs in the Verbal Memory task were necessary to provide participants with enough time to step into the target fields. However, they may have allowed for more strategic encoding activities, which are particularly helpful for the young adults (Schneider & Sodian, 1997).

The current findings can be related to research on acute effects of physical exercise showing that moving while working on a cognitive task can lead to performance increases (Davranche & Mc Morris, 2009; Schaefer, Lövdén, Wieckhorst, & Lindenberger, 2010). For study 2, the heart rate was monitored during the whole session. As expected from normal physiological development (Fleming et al., 2011), children's heart rates were higher than adults'. In addition, the heart rates did not differ between the moving and the standing condition for young adults, but for the children. This indicates that the moving condition physically activated the children. However, a moderate intensity of physical exercise that would be optimal to induce cognitive improvements (around 60% of maximum heart rate = 128 beats/min, see Verburgh, Königs, Scherder, & Oosterlaan, 2014) was not reached in 7-year old children during the moving condition (mean heart rate = 114 beats/min). It would have been interesting to additionally have heart rate information for study 1. However, we assume that we successfully controlled for the physical activity levels of studies 1 and 2 because the physical activity was too low to have influenced memory performance. Future studies should address this issue in more detail.

In embodied cognition paradigms, movements are generally performed during a cognitive process (e.g., encoding words, digits, etc.) and are designed to be meaningful for the cognitive task. We assumed that having moved one's body to a specific location in space should help participants to create a memory trace, leading to higher recall success when

reconstructing the sequence of target locations. We additionally predicted that this should be more helpful for children, who do not have other efficient encoding strategies yet. Since we used numbers from 1 to 9 that corresponded to specific locations in space, participants could also rely on the number information and neglect the spatial information. In addition, numbers were also presented auditorily, allowing for covert verbal rehearsal strategies as well. To frame it in relation to Baddeley's model (Baddeley, 2000), participants could use either the visuospatial sketchpad or the phonological loop to keep the content in short-term memory until it had to be recalled. Despite, having two options to memorize the number sequences, it would have been possible, that participants would use more than one modality to create the strongest memory trace possible (Dijkstra & Zwaan, 2014). Skulmowski and Rey (2018b) recently suggested a taxonomy for embodiment in educational settings. They distinguish the dimensions "task integration" and "bodily engagement". The authors argue that if bodily activities are integrated into the learning task and participants perform bodily movements and locomotion (as opposed to a sitting condition), embodiment effects are larger (Skulmowski and Rey, 2018a). Our moving version of the memory tasks definitely required locomotion and bodily movements, but our multimodal stimulus presentation did not maximize the integration of physical activities into the learning strategies. In future research, embodiment effects could be triggered by creating tasks that enforce the physical encoding of specific locations in space (e.g., embodied versions of the Corsi block task, Belmonti, Cioni, & Berthoz, 2015; Piccardi et al., 2008; Piccardi et al., 2014). The aspects of cognitive load and bodily effort should also be considered when planning future studies in this domain (Skulmowski & Rey, 2017a, 2017b). In this context Mavilidi et al. (2018) have proposed a conceptual framework combining the exercise and cognition research with the embodied cognition research into a blended approach that emphasizes gross movements with high intensity, high task relevance (which resembles the dimension "task integration" from Skulmowski and Rey, 2018a), and high temporal connection of the movement and the cognitive task.

There were slight indications in the current studies that the youngest children (~8 years old) do react more favorably to embodiment, since they did not show costs compared to older participants in study 1. Given that studies demonstrate embodiment effects in preschool children (Fischer et al., 2011; Mavilidi et al., 2016; Mavilidi et al., 2017) it may be possible that even younger children would have shown positive embodiment effects.

While embodiment has been shown to be effective when teaching new knowledge like number magnitude (Link et al., 2013) or gravity (Lindgren et al., 2016), we still do not know if embodiment can also help to maintain information for shorter periods of time. Schaefer (2018) could give first indications that young children might profit from embodiment in a spatial working memory task. However, the results of the current studies showed that linking verbal information with full body movements and spatial information did either not create an embodied setting or if embodiment occurred, it did not enhance memory performance in children or young adults. Therefore, we have to conclude that, integrating spatial information and full body movements in a verbal memory task may not be able to induce positive effects of embodiment and may sometimes even lead to performance decreases. As Kosmas and Zaphiris (2018) put it, further experimental research is needed to clarify the relation of embodiment and abstract representations. Only if the empirical evidence is convincing, embodied cognition theory can be used successfully to improve education.

Appendix. Supplementary material

Research data to this article can be found online at Amico, Gianluca; Schaefer, Sabine (2019), “Embodiment effects in spatial memory from childhood to young adulthood: Searching for benefits but finding mainly costs”, Mendeley Data, V1, doi: [10.17632/8xk8gxnzrm.1](https://doi.org/10.17632/8xk8gxnzrm.1)

References

- Baddeley, A. D. (2000). Working memory. In A. E. Kazdin (Ed.), *Encyclopedia of psychology* (Vol. 8, pp. 276-279). London: Oxford University Press.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(4), 577-660. doi:10.1017/s0140525x99002149
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617-645. doi:10.1146/annurev.psych.59.103006.093639
- Belmonti, V., Cioni, G., & Berthoz, A. (2015). Switching from reaching to navigation: Differential cognitive strategies for spatial memory in children and adults. *Developmental Science*, 18, 569-586. doi:10.1111/desc.12240
- Davranche, K., & McMorris, T. (2009). Specific effects of acute moderate exercise on cognitive control. *Brain and Cognition*, 69, 565-570. doi:10.1016/j.bandc.2008.12.001
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development*, 71, 44-56. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00117>
- Dijkstra, K., & Zwaan, R. A. (2014). Memory and action. In L. Shapiro (ED.), *The Routledge handbook of embodied cognition* (p. 296-305). New York: Routledge
- Drollette, E. S., Scudder, M. R., Raine, L. B., Moore, R. D., Saliba, B. J., Pontifex, M. B., & Hillman, C. (2014). Acute exercise facilitates brain function and cognition in children who need it most: An ERP study of individual differences in inhibitory control capacity. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 7, 53-64. doi:10.1016/j.dcn.2013.11.001
- Engelkamp, J., & Cohen, R. L. (1991). Current issues in memory of action events. *Psychological Research*, 53, 175-182. doi:10.1007/BF00941384

- Fischer, U., Moeller, K., Bientzle, M., Cress, U., & Nuerk, H.-C. (2011). Sensori-motor spatial training of number magnitude representation. *Psychonomic Bulletin & Review*, *18*, 177-183. doi:10.3758/s13423-010-0031-3
- Fleming, S., Thompson, M., Stevens, R., Heneghan, C., Pluddemann, A., Maconochie, I., Tarassenko, L., & Mant, D. (2011). Normal ranges of heart rate and respiratory rate in children from birth to 18 years of age: A systematic review of observational studies. *Lancet*, *377*, 1011-1018. doi:10.1016/s0140-6736(10)62226-x
- Gathercole, S. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *3*, 410-419.
- Glenberg, A. M. (2010). Embodiment as a unifying perspective for psychology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *1*, 586-596. doi:10.1002/wcs.55
- Hainselin, M., Picard, L., Manolli, P., Vankerkore-Candas, S., & Bourdin, B. (2017). Hey teacher, don't leave them kids alone: Action is better for memory than reading. *Frontiers in Psychology*, *8*, 325. doi:10.3389/fpsyg.2017.00325
- Hillman, C., Kamijo, K., & Scudder, M. R. (2011). A review of chronic and acute physical activity participation on neuroelectric measures of brain health and cognition during childhood. *Preventive Medicine*, *52S*, S21-S28. doi:10.1016/j.ypmed.2011.01.024
- 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. doi:10.1111/j.2044-835X.1989.tb00814.x
- Jahn, P., & Engelkamp, J. (2003). Design effects in prospective and retrospective memory for actions. *Experimental Psychology*, *50*, 4-15. doi:10.1027//1618-3169.50.1.4
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Kiefer, M., & Trumpp, N. (2012). Embodiment theory and education: The foundations of cognition in perception and action. *Trends in Neuroscience and Education*, *1*, 15-20. doi: 10.1016/j.tine.2012.07.002

- Kosmas, P., & Zaphiris, P. (2018). Embodied Cognition and its implications in education: An overview of recent literature. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 12, 930-936. doi:10.1999/1307-6892/10009334
- Krampe, R. T., Schaefer, S., Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (2011). Lifespan changes in multi-tasking: Concurrent walking and memory search in children, young, and older adults. *Gait and Posture*, 33, 401-405. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.12.012
- Li, S.-C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W., & Baltes, P. B. (2004). Transformations in the couplings among intellectual abilities and constituent cognitive processes across the life span. *Psychological Science*, 15, 155-163. doi:10.1111/j.0956-7976.2004.01503003.x
- Li, K. Z. H., Lindenberger, U., Freund, A. M., & Baltes, P. B. (2001). Walking while memorizing: Age-related differences in compensatory behavior. *Psychological Science*, 12, 230-237. doi:10.1111/1467-9280.00341
- Lindenberger, U., Marsiske, M., & Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: Increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging*, 15, 417-436. doi:10.1037/0882-7974.15.3.417
- Lindgren, R., Tscholl, M., Wang, S., & Johnson, E. (2016). Enhancing learning and engagement through embodied interaction within a mixed reality simulation. *Computers & Education*, 95, 174-187. doi:https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.001
- Link, T., Moeller, K., Huber, S., Fischer, U., & Nuerk, H.-C. (2013). Walk the number line - An embodied training of numerical concepts. *Trends in Neurosciences and Education*, 2, 74-84. doi:10.1016/j.tine.2013.06.005
- Loeffler, J., Raab, M., & Canal-Bruland, R. (2016). A lifespan perspective on embodied cognition. *Frontiers in Psychology*, 7, 1-6. doi:10.3389/fpsyg.2016.00845

- Lozada, M., & Carro, N. (2016). Embodied action Improves cognition in children: Evidence from a study based on piagetian conservation tasks. *Frontiers in Psychology, 7*(393). doi:10.3389/fpsyg.2016.00393
- Manzi, A., & Nigro, G. (2008). Long-term memory for performed and observed actions: Retrieval awareness and source monitoring. *Memory, 16*, 595-603. doi:10.1080/09658210802070749
- Mavilidi, M.-F., Okely, A. D., Chandler, P., & Paas, F. (2016). Infusing physical activities into the classroom: Effects on preschool children's geography learning. *Mind, Brain, and Education, 10*, 256-263. doi:10.1111/mbe.12131
- Mavilidi, M.-F., Okely, A. D., Chandler, P., & Paas, F. (2017). Effects of integrating physical activities into a science lesson on preschool children's learning and enjoyment. *Applied Cognitive Psychology, 31*, 281-290. doi:10.1002/acp.3325
- Mavilidi, M. F., Ruiter, M., Schmidt, M., Okely, A. D., Loyens, S., Chandler, P., & Paas, F. (2018). A narrative review of school-based physical activity for enhancing cognition and learning: The role of relevancy and integration. *Frontiers in Psychology, 9*, 2079. doi:10.3389/fpsyg.2018.02079
- Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review, 86*, 214-255. doi:10.1037/0033-295X.86.3.214
- Niemann, C., Wegner, M., Voelcker-Rehage, C., Holzweg, M., Arafat, A. M., & Budde, H. (2013). Influence of acute and chronic physical activity on cognitive performance and saliva testosterone in preadolescent school children. *Mental Health and Physical Activity, 6*, 197-204. doi:10.1016/j.mhpa.2013.08.002
- Ornstein, P., A. (1978). *Memory development in children*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum associates.
- Petermann, F., & Petermann, U. (Eds.). (2010). *HAWIK IV (3rd edition)*. Bern: Huber.

- Piccardi, L., Iaria, G., Ricci, M., Bianchini, F., Zompanti, L., & Guariglia, C. (2008). Walking in the Corsi test: Which type of memory do you need? *Neuroscience Letters*, *432*, 127-131. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.12.044>
- Piccardi, L., Palermo, L., Leonzi, M., Riseti, M., Zompanti, L., D'Amico, S., & Guariglia, C. (2014). The Walking Corsi Test (WalCT): A normative study of topographical working memory in a sample of 4- to 11-year-olds. *The Clinical Neuropsychologist*, *28*, 84-96. doi:10.1080/13854046.2013.863976
- Piaget, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives- problème central du développement*: Presses Universitaires de France.
- Pouw, W. T. J. L., van Gog, T., & Paas, F. (2014). An embedded and embodied cognition review of instructional manipulatives. *Educational Psychology Review*, *26*, 51-72. doi:10.1007/s10648-014-9255-5
- Ruiter, M., Loyens, S., & Paas, F. (2015). Watch your step children! Learning two-digit numbers through mirror-based observation of self-initiated body movements. *Educational Psychology Review*, *27*, 457-474. doi:10.1007/s10648-015-9324-4
- Schaefer, S. (2014). The ecological approach to cognitive-motor dual-tasking: Findings on the effects of expertise and age. *Frontiers in Psychology*, *5*, 1-9. doi:10.3389/fpsyg.2014.01167
- Schaefer, S. (2018). Embodiment helps children solve a spatial working memory task: Interactions with age and gender. *Journal of Cognitive Enhancement*. doi:10.1007/s41465-018-0081-4
- Schaefer, S., Lövdén, M., Wieckhorst, B., & Lindenberger, U. (2010). Cognitive performance is improved while walking: Differences in cognitive-sensorimotor couplings between children and young adults. *European Journal of Developmental Psychology*, *7*, 371-389. doi:10.1037/0012-1649.44.3.747

- Schneider, W., & Sodian, B. (1997). Memory strategy development: Lessons from longitudinal research. *Developmental Review, 17*, 442-461.
<https://doi.org/10.1006/drev.1997.0441>
- Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2017a). Bodily effort enhances learning and metacognition: Investigating the relation between physical effort and cognition using dual-process models of embodiment. *Advances in Cognitive Psychology, 13*, 3-10. doi: 10.5709/acp-0202-9
- Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2017b). Measuring cognitive load in embodied learning settings. *Frontiers in Psychology, 8*, 1191. doi: 10.3389/fpsyg.2017.01191
- Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2018a). Adjusting sample sizes for different categories of embodied cognition research. *Frontiers in Psychology, 9*, 2384. doi: 10.3389/fpsyg.2018.02384
- Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2018b). Embodied learning: Introducing a taxonomy based on bodily engagement and task integration. *Cognitive Research: Principles and Implications, 3*, 6. doi: 10.1186/s41235-018-0092-9
- Tomporowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica, 112*, 297-324. doi: 10.1016/S0001-6918(02)00134-8
- Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and children's intelligence, cognition, and academic achievement. *Educational Psychology Reviews, 20*, 111-131. doi: 10.1007/s10648-007-9057-0
- Tomporowski, P. D., McCullick, B., Pendleton, D. M., & Pesce, C. (2015). Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition. *Journal of Sport and Health Science, 4*, 47-55.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.09.003>
- Toumpaniari, K., Loyens, S., Mavilidi, M.-F., & Paas, F. (2015). Preschool children's foreign language vocabulary learning by embodying words through physical activity and

- gesturing. *Educational and Psychological Review*, 27, 445-456. doi:10.1007/s10648-015-9316-4
- Vazou, S., Pesce, C., Lakes, K., & Smiley-Oyen, A. (2016). More than one road leads to Rome: A narrative review and meta-analysis of physical activity intervention effects on cognition in youth. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1-26. doi:10.1080/1612197X.2016.1223423
- Verburgh, L., Königs, M., Scherder, E. J. A., & Oosterlaan, J. (2014). Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48, 973-979. doi:10.1136/bjsports-2012-091441
- Wechsler, D. (1991). *Manual for the Wechsler Intelligence Scale for Children - Third Edition*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 625-636. doi:10.3758/BF03196322

Beitrag 2

Amico, G., Braun, T., & Schaefer, S. (im Review Prozess). Can acute resistance exercise facilitate episodic memory encoding? Manuskript eingereicht bei *Psychological Research*.

Can acute resistance exercise facilitate episodic memory encoding?

Gianluca Amico¹, Tina Braun², & Sabine Schaefer¹

Author Note

¹Department of Sport Sciences, Saarland University. Please address correspondence regarding this article to Gianluca Amico (gianluca.amico@uni-saarland.de), Institute for Sport Science, Campus Building B 8.1, Saarland University, 66123 Saarbrücken, Germany. Phone: +49 681 302 2557, Fax: +49 681 302 4091.

²Department of Psychology. University of the Bundeswehr Munich. Institute of Psychology, 85577 Neubiberg, Germany.

Availability of data and material

Data will be made available on request.

Author Contributions

GA and SS developed the study design and collected the data. GA conducted the literature review. TB analyzed and interpreted the data with contributions from GA. GA led the drafting of the manuscript with contributions from SS and TB.

Acknowledgements

The authors would like to thank Margo Schleuter and David Jenner for help with data entry, and Janine Vieweg, Christian Kaczmarek and Fabian Pelzer for helpful discussions. We would also like to thank our participants for taking part in the study.

Abstract

Research has shown benefits of physical exercise on memory performance when carried out before or after a memory task. The effects of concurrent physical exercise and particularly resistance exercise are still inconclusive. The current study investigates the influence of resistance exercise with two intensities (fast and slow squats) on performance in a wordlist learning task using a within-subject design. Sport students ($N = 58$, $M_{\text{age}} = 23$ years; 26 women) were trained in a mnemonic technique to encode word lists (method of loci). In each session they were asked to encode two lists, each consisting of 20 words. During encoding, participants either performed one squat per word (fast-squat-condition), one squat every second word (slow-squat-condition), or stayed seated (control-condition). Participants performed three sessions for each condition, in counterbalanced order. Heart rates differed significantly according to exercise intensity. Memory performances in the sitting condition were better compared to the exercise conditions. Performance in sitting and the fast squat conditions improved similarly over time, while performance in the slow squat condition increased faster, and reached the level of the fast squat condition at the end of the study phase. We conclude that light to moderate resistance exercise while working on an episodic memory task rather represents a dual-task situation. Especially doing a squat every second word may represent an inhibition task that people have to get used to. Future studies should include biochemical markers of arousal and neuronal plasticity in addition to heart rate.

Keywords: episodic memory; acute physical exercise; resistance exercise; method of loci

Can acute resistance exercise facilitate episodic memory encoding?

1. Introduction

Cognition is an essential ability needed to learn, act and remember. Thus, it is important to investigate possible ways that can enhance cognitive functions. Chronic physical exercise has been shown to improve several cognitive functions (see reviews by Hillman, Kamijo, & Scudder, 2011; Tomporowski, Davis, Miller, & Naglieri, 2008; Singh et al., 2018). Furthermore, an acute bout of physical exercise can be beneficial for various cognitive functions (Chang, Labban, Gapin, & Etnier 2012; Verburch, Königs, Scherder, & Oosterlaan, 2014), including memory (Loprinzi et al., 2019a; McMorris & Hale, 2012; Roig, Nordbrandt, Geertsen, & Nielson, 2013; Roig et al., 2016; Tomporowski, 2003).

The neuropsychological and neurophysiological mechanisms that underlie these positive effects of physical exercise on cognition have not been adequately investigated. Factors that are affected by physical exercise are changes in physiological arousal and the release of neurotransmitters and nerve growth factors (see reviews by Loprinzi, Edwards, & Frith, 2017; Loprinzi & Frith, 2019; Loprinzi, Ponce, & Frith, 2018; McMorris, 2016). Before describing the approach of the current study, we present a summary of previous studies on neuropsychological and neurophysiological mechanisms that are triggered by exercise and that may induce cognitive benefits.

Physical exercise improves physiological arousal, including alertness, resource allocation, and executive control, presumably by increasing neuronal excitability (Audiffren, Tomporowski, & Zagrodnik, 2008; Loprinzi et al., 2018a; McMorris & Graydon, 2000). These changes in physiological arousal can be linked to changes in heart rate, blood pressure, and skin conductivity, which are closely associated with changes in the concentration of various endogenous neurotransmitters (Cooper, 1973; McMorris, 2016). One of these

transmitters is norepinephrine (NE), which controls the activation of the noradrenergic system, which is a possible pathway to improve LTP via activation of β -receptors (Hansen & Manahan-Vaughan, 2015; Loprinzi et al., 2018a). In this context, Segal, Cotman, and Cahill (2012) could show that exercise significantly increased NE concentration and was positively correlated with memory performance. In addition, a study by Cahill and Alkire (2003) demonstrated that an intravenous injection of NE after memory encoding improved the memory consolidation process. Dopamine (DA), serotonin (5-HT), and acetylcholine (ACh) are also assumed to have a mediating effect on hippocampal CA1 structure and thus facilitate LTP (Loprinzi et al., 2018a). DA and NE closely interact with each other. While DA regulates the filtering of signals, NE increases the response to incoming signals (Finlay, Zigmond, & Abercrombie, 1995). 5-HT, in turn, activates the dopaminergic system via receptors in the medial prefrontal cortex (mPFC) (Díaz-Mataix et al., 2005) and may also facilitate NE release (McMorris, 2016).

Lastly, the level of various nerve growth factors like brain derived neurotrophic factor (BDNF), vascular endothelial growth factor (IGF-1) and neurotransmitters like (epinephrine (EPI), NE or DA) can be elevated by physical exercise. These substances are positively associated with memory and learning (Skriver et al, 2014). Nerve growth factors and catecholamines may also influence episodic memory. In this context, Winter et al. (2007) measured BDNF and catecholamines (EPI, NE, DA) at baseline, after 40 minutes of running at moderate intensity (moderate group) or after 2 sprints of 3 minutes' length with increasing speed (intense group), or after a period of seated rest (control group). Immediately following the exercise or rest, participants had to learn word-picture pairs of an artificial language, followed by another assessment of their BDNF and catecholamine levels. During learning, participants always had to indicate if the presented picture matched a verbally presented pseudoword. Memory performance for the pseudowords was assessed immediately after learning, 1 week later, and 8 months later. The intense exercise group showed the highest

increases in BDNF and catecholamine concentrations, again indicating increased releases with increasing exercise intensity. Concerning memory performance, participants of the intense exercise group were faster in learning but not in retention at any time point compared to the two other conditions. Increased BDNF was associated with better memory performance immediately after learning, while DA concentration correlated with performance after 1 week and EPI with performance after 8 months. These results show that the influence of the neurobiological markers is time-dependent and may affect different steps of the memory process, namely memory encoding, memory consolidation, and memory retrieval (Loprinzi et al., 2017). Memory encoding refers to the acquisition of the stimulus as a memory trace, while memory consolidation describes the stabilization of the memory trace, and memory retrieval its' recollection (Loprinzi et al., 2019b).

1.1 Effects of acute exercise on episodic memory

The current study is particularly interested in how physical exercise can affect the processes underlying episodic memory, since it is of great importance in daily life. Most studies so far have focused on exercise induced before or after memory encoding (Coles & Tomporowski, 2008; Etnier et al., 2014; Hötting, Schickert, Kaiser, Röder, & Schmidt-Kassow, 2016; Labban & Etnier, 2011; Pesce, Crova, Cereatti, Casella, & Bellucci, 2009; Pyke et al., 2020; Schramke & Bauer, 1997). Acute exercise paradigms that occur during memory encoding have hardly been investigated (Loprinzi et al., 2019a), but may have a great potential for improving episodic memory. Exceptions are three studies by Maren Schmidt-Kassow and colleagues, which are described below.

Schmidt-Kassow, Kulka, Gunter, Rothermich, and Kotz (2010) tested native German speakers over a period of 3 weeks with 3 sessions per week in a vocabulary learning task. During each session, participants heard the same 80 French-German word pairs 3 times in a randomized order, either while cycling at moderate intensity (mean heart rate of 103) or while

sitting. After every third learning session, a vocabulary test was performed where participants were given the French word and had to retrieve the corresponding German word. Participants of the cycling group showed higher performance in the vocabulary test compared to the sitting group. In addition, the authors measured a larger N 400 effect in event-related potentials (ERP) in the physically active group, indicating exercise-induced changes in cortical plasticity.

There are two effects described in the literature that could be related to the observed memory benefits: “synaptic tagging” and the “associativity effect” (Frey & Morris, 1997; Li et al., 2014; Sajikumar & Frey, 2004). Both effects describe the co-occurrence of a weak (e.g. vocabulary) and a strong input (exercise). Exercise can induce a high action potential (associativity) or trigger plasticity-related proteins that are captured by the memory stimulus (synaptic tagging), increasing LTP of the memory stimulus (Loprinzi et al., 2018a).

In a later study, Schmidt-Kassow et al. (2013) tested 105 young adults in a similar verbal word learning task, where participants had to remember a list of 80 Polish-German word-pairs while one group bicycled *before learning*, one bicycled *during learning*, and a third group *did not exercise*. Again, the memory performance of the group that exercised during learning was improved compared to the sedentary group, with no significant differences between both exercise groups or between the exercise before learning and the sedentary group. Speculatively, this result could be attributed to elevated heart rates during exercise and increased releases of memory enhancing neurotransmitters that may have led to an optimized physiological arousal during the encoding process and thus facilitated LTP. However, the authors did not find any correlations of BDNF in serum, or of BDNF genotype, with memory performance. This may be explained by the low intensity of the exercise, as earlier studies have shown that BDNF increases with rising exercise intensity (Hötting et al., 2016; Knaepen, Goekint, Heyman, & Meeusen, 2010; Winter et al., 2007).

In another study, Schmidt-Kassow et al. (2014) tested young adults in a similar vocabulary learning test in a within-subject design. In one session, participants learned 40 Polish-German word pairs while walking at preferred speed, and in the other session while sitting. Results showed that even a low-intensity activity like walking can improve memory performance compared to no exercise. Again, BDNF in serum did not increase significantly during exercise, but higher cortisol levels correlated with better memory performance in the walking group. However, cortisol levels did not increase due to walking, which may indicate that another mechanism is involved, that does not rely on BDNF or cortisol. The muscle spindle pathway described by Loprinzi et al. (2018a) may offer a possible explanation. In particular, walking leads to the contraction of various muscles of the leg. These contracting muscle spindles may create action potentials that are transmitted from the spinal cord to the brain stem and from there to the nucleus tractus solitarius (NTS). The activation of the NTS then stimulates the production of neurotransmitters in the locus coeruleus (LC), which has connections to multiple hippocampal structures, that may enhance the memory process (Loprinzi et al., 2018a).

1.2 Effects of acute resistance exercise on episodic memory

The studies by Schmidt-Kassow and colleagues used aerobic exercises like walking and cycling, with exercise intensities that were low to moderate. So far, the literature has mainly focused on cardiovascular exercise, but there is a growing interest in positive effects of acute resistance exercise on cognition (Chang & Etnier, 2009a, 2009b; Chang, Pan, Chen, Tsai, & Huang, 2012; Harveson et al., 2016; Landrigan, Bell, Crowe, Clay, & Mirman, 2019; Wilke et al., 2019), and particularly on memory (Cutler, Connolly, LaFrance, & Lowry, 2018; Weinberg, Hasni, Shinohara, & Duarte, 2014). In addition, both types of exercise affect memory through distinct molecular pathways, indicating that aerobic exercise modulates the

BDNF and β -CaMKII (calcium/calmodulin-dependent kinase II) while resistance training influences the IGF-1 and AKT (protein kinase B) pathway (Cassilhas et al., 2012).

In this context, Weinberg et al. (2014) tested 46 young adults in an emotional episodic memory task in a between-subject design. On day 1, participants encoded 90 images (30 negative, 30 positive, 30 neutral). Directly after memory encoding, they either performed 2 sets of a one-leg knee extension/flexion exercise (exercise group) or remained seated while their leg was passively moved by the experimenter (control group). On day 2, 48 hours later, participants had to recognize the previously seen images while 90 new images were added to the recall task. To assess the physiological reaction to the exercise, salivary alpha amylase (a biomarker of norepinephrine), heart rate, and blood pressure were measured. Results showed higher accuracy rates for the exercise group in the recognition task. Furthermore, within the exercise group, participants that showed a high physiological response to the exercise had a lower performance in recognizing neutral images, but not in recognizing positive or negative pictures, compared to participants with a lower physiological response to the exercise. The authors conclude that an acute resistance exercise can facilitate episodic memory and may be particularly beneficial for emotional memory.

1.3 Hypotheses of the current study

The current study investigates the effects of resistance exercise on memory encoding in university sports students. Each participant was instructed and trained in the method of loci as a memory strategy (Amico & Schaefer, 2019). Over the course of a seminar, participants learned two new lists of 20 words per session, while they either remained seated (sitting condition), performed one squat every second word (slow-squat-condition), or one squat every word (fast-squat-condition). Squats are a resistance exercise, comprised of slow, easy, and rhythmic movements. Squats do not create much acoustic noise when performed in a group, reducing distractions as much as possible. Participants performed three sessions for

each condition. Based on previous studies showing a positive effect of acute aerobic exercise during memory encoding (Schmidt-Kassow et al., 2010, 2013, 2014) and the study by Weinberg et al. (2014) showing that an acute resistance exercise can benefit episodic memory, we hypothesized that students will remember more words with increasing intensity in the exercise conditions (fast-squat > slow-squat > sitting). This hypothesis is further grounded on the acute effects of physical exercise on LTP (Loprinzi et al., 2017; Loprinzi et al., 2018a; McMorris, 2016) and by optimizing neuronal excitability and resource allocation (Audiffren et al., 2008; Loprinzi et al., 2018a; McMorris & Graydon, 2000). We measured heart rates throughout the testing phase as an indicator of exercise-induced arousal. Lastly, we predicted that participants would show performance improvements with practice of the MoL task over the course of the study. For exploratory reasons, we also assessed whether the expected benefits occur when three lists (60 words) are tested in immediate succession in the last session of the study (e.g., testing-the-limits paradigm by Kliegl, Smith, & Baltes, 1989). The current study has been preregistered under the following link:

<https://aspredicted.org/blind.php?x=wi2dk7>.

2. Methods and Materials

2.1 Participants

Fifty-eight sport students from the Saarland University participated in the study in exchange for course credit (see Table 1 for descriptives). All participants had normal or corrected-to-normal vision and hearing and gave informed consent to the study. Participants were distributed across three seminar groups with $n = 15$ in group 1, $n = 13$ in group 2, and $n = 30$ in group 3. The study was approved by the Ethics committee of Saarland university.

Table 1

Descriptive statistics of the variables

Characteristic	<i>Participants</i> (<i>N</i> = 58)
Age in years (<i>SD</i>)	<i>M</i> = 23.05 (2.11)
Gender (<i>n</i>)	26 women, 32 men
Digit Symbol (<i>SD</i>)	<i>M</i> = 63.69 (11.39)
Fitness variables	
Max. Squats pretest [%]	86.3 reached max score
Max. Squats posttest [%]	73.2 reached max score
HR max. Squats pretest [%HR _{max}] (<i>SD</i>)	<i>M</i> = 72.67 (9.27)
HR max. Squats posttest [%HR _{max}] (<i>SD</i>)	<i>M</i> = 64.54 (10.13)
MoL task variables	
Location cues [%]	77.6 reached max score
Heart rate [%HR _{max}]	
Sitting (<i>SD</i>)	<i>M</i> = 41.40 (5.56)
Slow squats (<i>SD</i>)	<i>M</i> = 52.97 (6.82)
Fast squats (<i>SD</i>)	<i>M</i> = 57.78 (7.01)
Memory score	
Sitting (<i>SD</i>)	<i>M</i> = 13.53 (4.39)
Slow squats (<i>SD</i>)	<i>M</i> = 10.27 (4.13)
Fast squats (<i>SD</i>)	<i>M</i> = 12.12 (4.29)

Note. The *n* may differ slightly for some variables due to missing data.

2.1.1 Method of Loci Task

The Method of Loci task (MoL) is a well-established memory strategy to encode word lists (Amico & Schaefer, 2019; Kliegl, Smith, & Baltes, 1990; Li, Lindenberger, Freund, & Baltes, 2001; Schaefer, Krampe, Lindenberger, & Baltes, 2008). To start with, participants learn a sequence of location cues. In the current study, the cues corresponded to 20 locations that are part of every apartment (e.g., bed, window, table, chair). The to-be-learned words were taken from Brehmer, Stoll, Bergner, Benoit, von Oertzen, and Lindenberger (2004) and consisted of concrete German nouns that can be easily imagined, like objects, animals or professions. Participants heard lists of 20 words, read out by the experimenter with an inter-stimulus-interval of 2.5 seconds. The instruction was to encode the to-be-learned word by combining it with the respective location cue via mental imagery. Participants were encouraged to include object size, sound, touch, emotions, or movement depending on their

personal preferences. For example, when encoding the word “spider” at the location “table”, a participant could imagine a huge hairy spider crawling over the table. During encoding and recall, participants did not have access to the list of locations. Immediately after the last word was presented, participants wrote down the remembered words in the correct order on their answer sheets. There was no time limit for recall. At the start of each seminar session, two lists were administered except for the first two sessions, in which only one list was presented. Altogether, 28 MoL lists had been constructed and were distributed randomly across the experimental sessions for each seminar group, to control for potential differences in the task-difficulty of individual lists. The dependent variable for MoL was the sum of correctly remembered words at the correct location. To encourage learning of the location cues, participants were asked to reconstruct the list of 20 locations at the beginning of each session, by writing them down on a sheet of paper. To sustain motivation over the course of the semester, the ten candidates of each seminar who scored highest in the MoL task received monetary rewards (Place 1: 15 Euro, Place 2: 10 Euro, Place 3 to 10: 5 Euro) at the end of the semester.

In order to investigate the effect of an acute physical resistance exercise on episodic memory performance, participants either performed one squat for every word presented (fast squat condition), one squat for every second word presented (slow squat condition), or stayed seated during memory encoding (sitting condition). In the squat conditions, participants began to do squats 9 seconds before the lists started, to get a feeling for the rhythm of the respective condition. After presentation of the to-be-learned words, participants stopped the exercise and recalled the words by writing them down.

2.1.2 Covariates

2.1.2.1 Heart rate

Heart rate was measured during the presentation of each word list in the MoL task and during the maximum performance squats test (see below) with hardware and software from Polar Team². The mean heart rate during this time interval was converted from beats per minute [bpm] to percent of maximum heart rate [%HR_{max}]. Maximum heart rate was estimated using the formula 220 – age.

2.1.2.2 Maximum performance squat task

At the first and the last seminar, all participants performed a “maximum performance” squat test. The test was administered to assess potential individual performance limitations in the squats task, and to estimate how physically demanding the squats are. The squats were performed in the rhythm of the fast-squat condition (one squat every 2.5 seconds). The upper limit of squats that could be reached was 256. Participants were instructed to do as many squats as possible, either until exhaustion forces them to stop, or until the end of the test was reached. Heart rates were assessed throughout the test. The vast majority of participants reached the maximum possible score, therefore the maximum performance squats was assessed dichotomously with 1 indicating *the maximum number of squats was reached* (see Table 1).

2.1.2.3 Location cues

Before the MoL Task, each participant had to recall the list of the 20 location cues, they were instructed to learn for the MoL task. For recall, locations were written down on a sheet of paper. Each correct location scored 1 point. Participants were instructed to use the same provided locations in every trial of the MoL task. The overall performance in retrieving the location cues was very high, therefore we assessed the location cues dichotomously with 1 indicating *maximum score was reached* (see Table 1).

2.1.2.4 Digit Symbol Substitution Test

Perceptual speed was measured with the Digit-Symbol Substitution task (Wechsler, 1981) as a covariate in the main analysis and as a background variable. For this paper-and-pencil-test, participants fill in blank spaces underneath numbers with the corresponding abstract symbol as quickly as possible. The achievable scores ranged between zero and 93. An ANOVA with seminar group as between-subjects factor showed no differences in perceptual speed across the three groups, $F(2,55) = .066, p = .936$. In addition, Digit Symbol scores corresponded well to young adult samples of other representative studies (see Amico & Schaefer, 2019) (see Table 1).

2.2 Procedure

The study consisted of 3 preparation sessions and 12 testing sessions for each group, with one session per week per group. Table 2 presents an overview of the testing regime. The first three sessions form the preparation phase. In the first preparation session, participants completed a demographic questionnaire, the Digit-Symbol Substitution test and one trial of a memory task that was similar to the MoL task explained above, except that no instructions of any memory strategy and no location cues were given. In the second preparation session, MoL was explained as a memory strategy and the importance of individual preferences for specific aspects of the strategy (e.g., size, movement, emotions) was emphasized. Then the list with 20 locations was presented and the participants were asked to mentally visualize these places in their home. MoL was trained with one trial, by constructing examples of mental images with the help of the experimenter. In the third preparation session, participants were asked to draw a sketch of their apartment and to mentalize the location cues. After that, the MoL task was practiced with two more lists to familiarize participants with the task. Session 1 provided the data for the baseline pretest assessment of the MoL task. Then the maximum performance squat test was carried out. In each of the following 9 sessions, participants completed two trials of the MoL task, with one out of the three conditions described above

(sitting, slow squats, fast squats). The order of these conditions was counterbalanced, using a 2 x 3 Latin square design (see Table 2). For equal sample sizes, groups 1 and 2 were merged. In session 11, participants completed two trials of the MoL task without any additional task (baseline posttest), and a second trial of the maximum performance squats task. In session 12, the MoL task was performed with three lists being presented nonstop (altogether 60 words), as an exploratory testing-the-limits situation. Groups 1 and 2 stayed seated and group 3 performed fast squats. The lists used were newly constructed lists of words that had already been tested previously. Session 12 enabled us to compare the effect of an acute physical resistance exercise to a non-exercising group for a particularly challenging memory task.

Table 2

Experimental Procedure by Seminar Group and Session

<i>Session number</i>	<i>Group 1 and 2</i>	<i>Group 3</i>
<i>Preparation 1</i>	Demographics	Demographics
<i>Preparation 2</i>	Instruction	Instruction
<i>Preparation 3</i>	MoL familiarization	MoL familiarization
<i>1</i>	Baseline Pretest, Max-Performance Squats	Baseline Pretest, Max-Performance Squats
<i>2</i>	Sitting	Fast squats
<i>3</i>	Slow squats	Slow squats
<i>4</i>	Fast squats	Sitting
<i>5</i>	Sitting	Fast squats
<i>6</i>	Slow squats	Slow squats
<i>7</i>	Fast squats	Sitting
<i>8</i>	Sitting	Fast squats
<i>9</i>	Slow squats	Slow squats
<i>10</i>	Fast squats	Sitting
<i>11</i>	Baseline Posttest, Max-Performance Squats	Baseline Posttest, Max-Performance Squats
<i>12</i>	Testing the limits (sitting)	Testing the limits (fast squats)

2.3 Analyses

The data displayed a hierarchical data structure with measurements (Level 1) being nested in individuals (Level 2). Accordingly, we applied a multilevel approach (Raudenbush & Bryk, 2002; Snijders & Bosker, 2004). We conducted a step-wise multilevel analysis to test our hypotheses. Our first research question investigated whether participants achieve higher scores in the MoL task during the exercise conditions, namely slow squats and fast squats, compared to the sitting condition. The second research question tested whether the heart rate during memory encoding is associated with scores in the MoL task. Thirdly, we predicted that performance in the MoL task would increase over the course of the seminar. To this end, in Model 1.1 the score in the memory task was regressed on the dummy coded condition and grand-mean centered heart rate. The analysis was controlled for the number of the sessions, grand-mean centered percent of maximum heart rate [$\%HR_{max}$] when testing maximum performance squats in the pretest and score in the Digit Symbol Substitution test, as well as dichotomous number of squats in the maximum performance squat pretest and score on the list of locations cues. In a second step, an interaction between number of sessions and condition was added to the model, in order to explore whether participants improved differently over time within the different conditions (Model 1.2).

As a manipulation check, heart rate during the MoL task was also regressed on number of sessions and dummy coded condition (Model 2). This allowed to test whether the different conditions lead to different heart rate levels as assumed. An interaction of heart rate and condition did not improve the model and was therefore not further analyzed. A final follow-up analysis explored whether the conditions would also differ in the testing the limits session. Therefore, the score on the testing the limits test was regressed on dummy coded number of list (1 vs. 2 vs. 3) and dichotomous condition (sitting vs. fast squat, Model 3).

All analyses were conducted using lme4 (Bates, Maechler, Bolker, & Walker, 2015) and lmerTest (Kuznetsova, Brockhoff, & Christensen, 2015), packages for multilevel analysis in R.

3. Results

3.1 Descriptive analyses of the fitness variables

To describe the participants' fitness level and the exercise intensities of the MoL task conditions, descriptive statistics are presented below.

3.1.1 Maximum performance squats

The vast majority of participants of the current study were able to perform 256 squats in a row (see Table 1). 44 out of 51 participants finished all 256 squats in the pretest, and 30 out of 41 participants finished all 256 squats in the posttest. The few participants who did not succeed in finishing all squats performed at least 111 squats in the pretest or 75 squats in the posttest (lowest performances observed throughout all participants). This indicates that performing 20 squats in a row while encoding the word lists (or 60 squats in the testing-the-limits session) was not a physical challenge to our participants.

3.1.2 Heart rate during the maximum performance squats and the MoL task

As expected, the heart rates [%HR_{max}] during the maximum performance squat pre- and posttest are far from being an intensive cardiovascular strain. Although heart rates seem to decrease from pre- to posttest, this does not indicate training effects, but rather represents a correlation with the higher number of participants who stopped the maximum performance squat posttest compared to the pretest (see Table 1). In addition, the heart rates during the exercise conditions (slow squats, fast squats) show that heart rates were comparable to other studies testing acute effects of exercise during memory encoding (Schmidt-Kassow et al. 2010, 2014).

3.2 MoL Task performance

To test the amount of variance proportions at both levels of analyses (between measurements and between individuals), we estimated an unconditional model of MoL task performance, to examine the distribution of between-person and within-person variation. An intraclass correlation of .48 for MoL task performance suggests that roughly 50 percent of the total variation of MoL task performance can be explained by the between-person portion of total variation. Thus, a substantial amount of variation existed between session numbers (Level 1) and between individuals (Level 2).

Results of the first set of multilevel analyses are summarized in Table 3. As predicted, participant's performance in the MoL task increased over the course of the sessions (see Model 1.1). However, contrary to the predictions of our first hypothesis, memory performance in the MoL task was better in the sitting condition compared to the slow- and the fast-squat condition. In addition, performance in the fast-squat condition was better compared to the slow-squat condition ($Est. = -2.01, SE = .31, p < .001$). Contrary to our second hypothesis, heart rate during the MoL task did not significantly affect MoL task performance. Regarding the measured covariates, only the Digit Symbol test partially explained performance in the MoL task, indicating that higher performance in the Digit Symbol task is associated with higher performance in the MoL task. As an exploratory analysis, an interaction between number of sessions and condition was added to the model (Model 1.2). The MoL performance in all three conditions increased over the course of the sessions. In addition, the performance in the sitting and the fast squat condition increased parallel over time while the performance in the slow squat condition showed a steeper increase compared to both other conditions (see Figure 1 for the pattern of results).

Table 3

Score in the MoL task by Condition and Heart rate during MoL

	Model 1.1		Model 1.2			
	Ref: Sitting		Ref.: Sitting		Ref.: Fast squats	
	Est.	SE	Est.	SE	Est.	SE
<i>Fixed effects</i>						
Intercept	9.92**	1.13	10.13**	1.12	8.39**	1.24
Session	0.43**	0.05	0.32 **	0.06	0.36**	0.09
Heart rate during MoL	-0.24	0.25	-0.24	0.25	-0.24	0.25
Condition						
Sitting vs Fast squat	-1.51*	0.48	-1.74*	0.74	1.74*	0.74
Sitting vs Slow squat	-	0.41	-6.68**	0.68		
Fast vs Slow squat	3.53**				-4.93**	0.75
Condition X Session						
Sitting vs Fast squat			0.04	0.09	-0.04	0.09
Sitting vs Slow squat			0.54**	0.09		
Fast vs Slow squat					0.50**	0.12
Digit Symbol	1.45*	0.52	1.41*	0.52	1.41*	0.52
Max Squats (1 = max reached)	1.10	1.07	1.06	1.06	1.06	1.06
HR during max squats	0.37	0.52	0.35	0.51	0.35	0.51
Location cues (1 = all correct)	0.76	0.79	1.21	0.78	1.21	0.78
<i>Random effects</i>						
	<i>Var</i>	<i>SD</i>	<i>Var</i>	<i>SD</i>	<i>Var</i>	<i>SD</i>
Intercept	13.95	3.74	13.87	3.72	13.87	3.72
Session	0.05	0.23	0.05	0.23	0.05	0.23
Residual	10.44	3.23	10.00	3.16	10.00	3.16
<i>Model fit</i>						
AIC	4713.6		4684.1		4684.1	

Note. The models are two-level models with 872 observations on level 1 and 47 individuals on level 2. ** $p < .001$; * $p < .05$

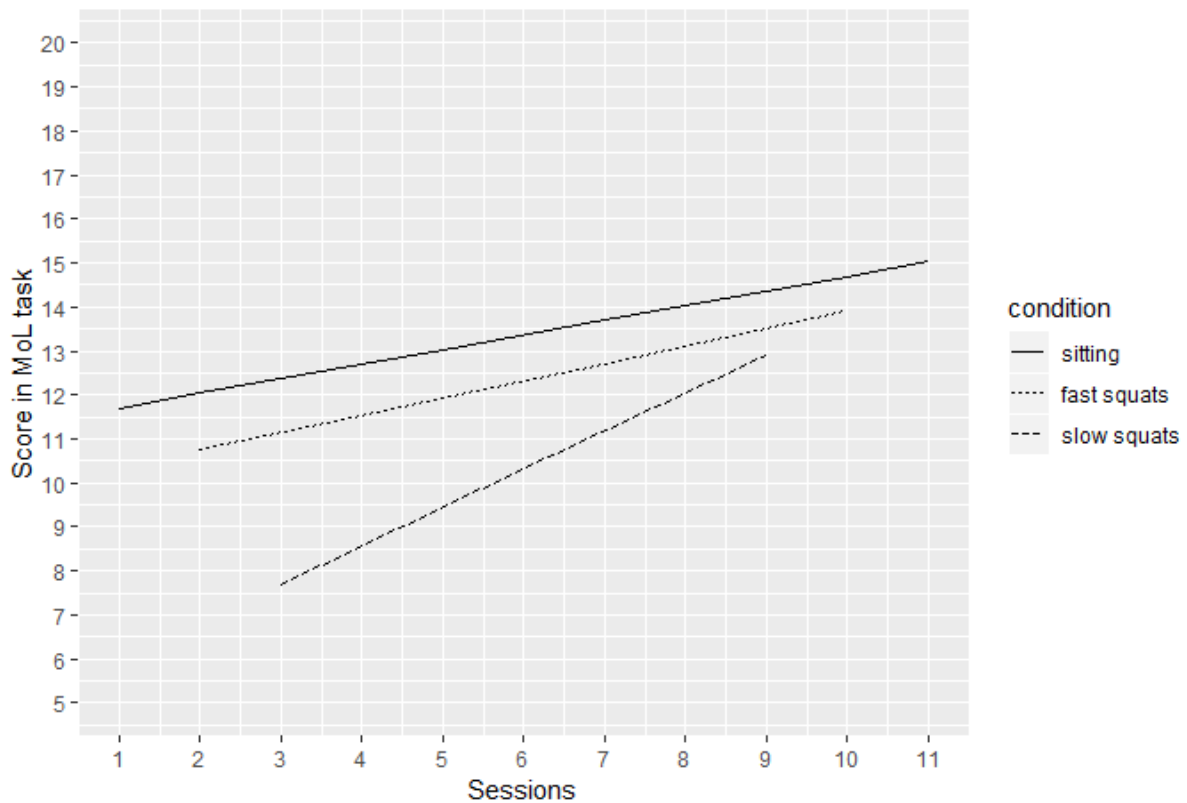


Figure 1. Results of the MoL task for the three conditions, sitting, fast squats, and slow squats over the course of the seminar sessions

3.3 Manipulation check: Heart Rate during the MoL task

To test the amount of variance proportions at both levels of analyses (between measurements and between individuals), we estimated an unconditional model of the heart rate during the MoL task, to examine the distribution of between-person and within-person variation. An intraclass correlation of .29 for heart rate during MoL task suggests that roughly one third of the total variation of the heart rate can be explained by the between-person portion of total variation. Therefore, a substantial amount of variation lies between session numbers (Level 1) and between individuals (Level 2).

Results of the second set of multilevel analyses are summarized in Table 4 (Model 2). As predicted, participant's heart rate differed significantly between all the three conditions, indicating that participant's cardiovascular activity was highest during fast squats, second

highest during slow squats, and lowest during the sitting condition. Although there was a statistically significant change in heart rate over the sessions (decrease in heart rate of .011 % per session), this result has no further practical implication for the pattern of results, as it describes an overall change in heart rate of roughly 1 % over the total eleven sessions.

Table 4

Heart rate during the MoL task by Condition

	Model 2			
	Ref.: Sitting		Ref.: Fast squat	
	Est.	SE	Est.	SE
<i>Fixed effects</i>				
Intercept	2.40**	0.04	1.70**	0.04
Session	0.01**	0.00	0.01**	0.00
Condition				
Sitting vs Fast squat	-0.70**	0.02	0.70**	0.02
Sitting vs Slow squat	-0.54**	0.01		
Fast vs Slow squat			0.16**	0.02
<i>Random effects</i>				
	<i>Var</i>	<i>SD</i>	<i>Var</i>	<i>SD</i>
Intercept	0.06	0.25	0.06	0.25
Session	0.00	0.02	0.00	0.02
Residual	0.04	0.19	0.04	0.19
<i>Model fit</i>				
AIC		-213		-213

Note. The models are two-level models with 1027 observations on level 1 and 55 individuals on level 2. ** $p < .001$; * $p < .05$

3.4 Exploratory analysis: Testing the limits session

To test the amount of variance proportions at both levels of analyses (between measurements and between individuals), we estimated an unconditional model of the memory score in the testing the limits session, to examine the distribution of between-person and within-person variation. An intraclass correlation of .22 for memory performance suggests

that roughly one fifth of the total variation of memory performance can be explained by the between-person portion of total variation.

Results of the multilevel analysis are summarized in Table 5 (Model 3). Results show the best recall performance for list 1, followed by list 3, and worst performance for words of list 2, indicating primacy and recency effects. Contrary to our predictions, memory performance in the sitting condition was better compared to the fast squat condition in the testing the limits session.

Table 5

Score in the Testing the limits session by list number and condition

	Model 3			
	Ref.: list 2		Ref.: list 1	
	Est.	SE	Est.	SE
<i>Fixed effects</i>				
Intercept	4.29**	0.79	8.68**	0.79
List number				
list 1 vs list 2	4.39**	0.76	-4.39**	0.76
list 1 vs list 3			-2.41*	0.76
list 2 vs list 3	1.98*	0.76		
Condition				
Sitting vs Fast squat	-2.40*	0.93	-2.40*	0.93
<i>Random effects</i>				
	<i>Var</i>	<i>SD</i>	<i>Var</i>	<i>SD</i>
Intercept	4.97	2.23	4.97	2.23
Residual	11.81	3.44	11.81	3.44
<i>Model fit</i>				
AIC		698.2		698.2

Note. The model is a two-level model with 123 observations on level 1 and 41 individuals on level 2. ** $p < .001$; * $p < .05$

4. Discussion

The current study examined whether acute resistance exercise with low to moderate intensity can enhance memory encoding and thus facilitate the learning of word lists. Measures of heart rate clearly showed that the physical arousal increased with the intensity level of the exercise. However, contrary to our predictions, memory performance was best when participants remained seated during encoding compared to when participants performed squats for every word (fast squat condition) or for every second word (slow squat condition). Memory performance increased over the course of the study, indicating that participants further familiarized with the test conditions. Furthermore, an interaction of time and condition showed that participants' memory performance in the slow squat condition increased faster over the course of the study, although it only reached the performance level of the fast squat condition. Performance differences between the sitting and the fast squat condition persisted in the last testing-the-limits session, which used an even more difficult version of the memory task, with 60 instead of 20 to-be-encoded items.

4.1 Reasons for the exercise-induced performance deteriorations

Why did the acute resistance exercise impair memory encoding? It is possible that the timing of the exercise played the crucial role. In the current study, participants performed squats while constructing mental images. One squat had to be performed for each to-be-encoded word (fast squats), or for every second to-be-encoded word (slow squats). The need to execute the squat in the correct time window may have created a dual-task situation, drawing attention away from the memory task. Cognitive-motor dual-task situations have often been shown to elicit performance decrements, since resources have to be shared between two domains (Kahneman, 1973; Navon & Gopher, 1979; Schaefer, 2014; Wickens, 1991). The temporal coupling of the two actions, performing the squat and creating the mental image, was high in the current study. Nevertheless, doing squats in a certain rhythm is not an automatized task, since each squat has to be initiated in the correct time-window. Triggering

the physical movement therefore required some attention, and the attentional demands were even higher in the slow-squat condition. We assume that inhibiting the squat for every second word was particularly attention-demanding for our participants. The experimenters could observe this when testing, since there were several participants who performed squats “out of sequence” in the slow squat condition, especially when first encountering this type of task.

Studies that have combined the MoL memory task with a secondary motor task have often found performance decrements in memory performances (Amico & Schaefer, 2019; Li, Lindenberger, Freund, & Baltes, 2001; Lindenberger, Marsiske, & Baltes, 2000; Schaefer, Krampe, Lindenberger, & Baltes, 2008). Motor tasks in these studies were continuous, like keeping one’s balance on an unstable surface (Schaefer et al., 2008), walking on a narrow track (Li et al., 2001; Lindenberger et al., 2000), or fidgeting, doodling, and drawing (Amico & Schaefer, 2019). However, in the study by Amico and Schaefer (2019), kneading a stressball while encoding the MoL word lists did not lead to performance decrements in young adults. This indicates that the attentional requirements of the parallel motor task need to be taken into account when searching for exercise-induced performance enhancements in cognition. Future research should include conditions in which participants can perform the motor task in a self-initiated manner.

The differences between the three conditions (sitting, slow squats, fast squats) decreased with increasing practice in the current study. This indicates that participants required some practice to familiarize themselves with the rhythm of the slow squats. Several theories on motor skill learning (Adams, 1971; Gentile, 1971; Fitts & Posner, 1967; Meinel, 1960) predict that the initial stages of skill acquisition require more cognitive resources/attention than later stages. Accordingly, once participants had gotten used to the temporal requirements of combining the memory encoding and the slow squat task, their dual-task costs in memory became smaller. Therefore, future studies should invest enough time to

familiarize participants with the motor task, especially when participants have less motor experience than sport students.

The studies by Schmidt-Kassow and colleagues (2010, 2013, 2014) used preferred-speed treadmill walking or ergometer cycling as acute exercise activities. Their participants were more successful in learning new vocabulary while moving as opposed to sitting. It is possible that the continuous exercises of moderate intensities were better suited than our paradigm to elicit positive effects on memory. A recent study by Amico and Schaefer (2020) neither found performance benefits nor decreases in young adults who were running while encoding vocabulary (as opposed to sitting). However, teenagers profited from the running condition, and outperformed their peers who encoded the words while standing or while dribbling a basketball.

In the current study, all participants were instructed to use the MoL memory strategy. This controls for the use of other mnemonic strategies (like rehearsal or elaboration), and tends to eliminate floor or ceiling effects in list learning paradigms. The MoL requires participants to create mental images and thus involves brain structures that process visual input. Although squats are an easy and slow movement, watching the movement of others may have disturbed focus and attention on the memory task.

4.2 The timing of the exercise bout

It is possible that acute exercise is more favorable when performed as an active break. Then, exercise would not interfere with cognitive resources required for memory encoding. Several studies and reviews conclude that exercise before or after memory encoding is most effective in enhancing memory function (Chang et al., 2012a; Frith, Sny, & Loprinzi, 2017; Loprinzi et al., 2019a; Roig et al., 2013). In addition, Roig et al. (2016) argue that acute exercise before memory encoding can affect the encoding and consolidation process while an

acute bout of exercise after memory encoding may only affect memory consolidation. More research is needed to determine how the timing of the exercise affects each step of the memory process.

In the current study, we only measured immediate memory performance. We did not assess memory performance after several hours or days. Possibly beneficial effects of exercise would have become visible at a later time, after the memory formation processes is completed (Roig et al., 2013). In this context, studies have shown performance gains when memory was measured 24 hours or 7 days after encoding, but not when measured after 1 hour (Roig et al., 2012; Skriver et al., 2014). However, our results indicate that the encoding process was disturbed by the exercise, making it unlikely that consolidation takes place for information that could not be encoded previously. Nevertheless, assessing memory performances at later points in time is an interesting issue for future research.

4.3 Exercise intensity

Another subject worth discussing is the exercise intensity. A number of studies that have shown strong effects of acute exercise on memory have used much more intense exercise protocols than we did (Roig et al., 2012; Skriver et al., 2014; Sng, Frith, & Loprinzi, 2018; Winter et al., 2007). However, there are also studies that have shown positive effects of low to medium exercise intensity (Schmidt-Kassow et al., 2010, 2013, 2014). We do not expect the chosen exercise intensities to be the reason for the non-beneficial effects found, as we can show that heart rates during slow squats (mean = 53 % HR_{max}) and during fast squats (mean = 58 % HR_{max}) are well comparable with heart rates measured in other studies that found beneficial effects (Schmidt-Kassow et al., 2010, 2014). The maximum performance squat assessments show that our participants were far from performing at their physical limits when doing the squats during encoding.

4.4 Neuropsychological mechanisms

We still do not know much about the acute effects of resistance exercise on memory function. So far most studies have focused on aerobic exercise programs (Loprinzi, Frith, & Edwards, 2018). Evidence from animal studies suggests that resistance and aerobic exercise affect memory via distinct molecular pathways. More specifically, aerobic exercise facilitates BDNF related processes, while resistance exercise triggers changes in IGF-1 related processes (Cassilhas et al., 2012). Future studies should further compare both types of exercise and investigate how they affect memory.

Regarding the underlying mechanisms, we expected that physiological arousal would increase to a moderate level when doing the squats, which in turn should increase the capacity of the cognitive system. In addition, we assumed that participants' optimized level of arousal would improve resource allocation, enabling the participants to focus on memory encoding (Audiffren et al., 2008; Loprinzi et al., 2018a; McMorris & Graydon, 2000). Although we found that heart rates increased with rising intensity, there was no systematic relationship between heart rates and memory performance. It may be possible that other neurobiological markers like BDNF or IGF-1 would have given more insight into the underlying processes. However, results from earlier studies indicate that BDNF and IGF-1 show larger effects after high intensity exercise (Knaepen et al., 2010; Skriver et al., 2014; Winter et al., 2007), while studies with lower intensity levels did not find correlations between BDNF and memory performance (Schmidt-Kassow et al. 2013, 2014). Interesting candidate substances that may mediate acute exercise effects on memory encoding are the neurotransmitters norepinephrine (NE) and dopamine (DA), due to their characteristic of regulating attention and filtering incoming signals (Finlay et al., 1995). In addition, it would have been interesting to analyze cortisol levels during the MoL task, as research has shown that increased levels of cortisol are associated with improvements in emotional memory (Buchanan & Lovallo, 2001; Kuhlmann

& Wolf, 2006; Preuß, Schoofs, & Wolf, 2009). Participants in the MoL are instructed to use emotions and other sensory impressions when creating their mental image. Therefore, cortisol would be an interesting marker to investigate during the MoL task.

Besides the neurobiological substrates involved in the memory process, it is still unclear which physiological structures and signal pathways are affected by acute exercise. A recent review by Loprinzi et al (2018a) has described various reaction chains that can explain exercise-induced effects on LTP. We can only speculate about the underlying processes in the current study. One of them may involve action potentials induced by the contraction of the muscle spindles, which are transmitted via nerve pathways until the locus coeruleus (LC) is activated, affecting the hippocampus and prefrontal cortex. Future studies should be aware of body structures involved in the memory process (e.g. the vagus nerve, the LC, the NTS). We suggest to systematically evaluate how physical exercise may affect them.

4.5 Conclusion

In conclusion, the current study used a within-subjects design to investigate the influence of acute resistance exercise (fast and slow squats) on a memory task. Participants were sport students who had been instructed in a memory strategy to encode word lists. Contrary to our predictions, performing squats led to decreases instead of increases in performance, compared to encoding while sitting. Differences in memory performance between the three conditions decreased with increasing practice of the motor tasks. We conclude that the current study created a dual-task situation, leading to costs. These costs can be alleviated with increasing practice of the motor task, and with increasing levels of experience in the temporal coupling of the MoL stimuli and the squats.

Compliance with Ethical Standards:

Funding: This work was supported by Saarland University.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Ethical approval: All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards. The study was approved by the Ethics committee of Saarland university.

Informed consent: Informed consent was obtained from all individual participants included in the study

References

- Adams, J. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3, 111-149. Doi:10.1080/00222895.1971.10734898
- Amico, G., & Schaefer, S. (2019). No evidence for performance improvements in episodic memory due to fidgeting, doodling or a “neuro-enhancing” drink. *Journal of Cognitive Enhancement*. doi:10.1007/s41465-019-00124-9
- Amico, G., & Schaefer, S. (2020). Running during encoding improves word learning for children. *Frontiers in Psychology*, 11(684). doi:10.3389/fpsyg.2020.00684
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D., & Zagrodnik, J. (2008). Acute aerobic exercise and information processing: Energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta Psychologica*, 129, 410-419.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *ArXiv e-prints*, arXiv:1406. doi:10.18637/jss.v067.i01
- Brehmer, Y., Stoll, G., Bergner, S., Benoit, R., von Oertzen, T., & Lindenberger, U. (2004). Selection of unambiguous visual words appropriate for children in age-comparable memory experiments: Results of a pilot study. Available: <http://psydok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2004/189/>.
- Buchanan, T. W., & Lovallo, W. R. (2001). Enhanced memory for emotional material following stress-level cortisol treatment in humans. *Psychoneuroendocrinology*, 26(3), 307-317.
- Cahill, L., & Alkire, M. T. (2003). Epinephrine enhancement of human memory consolidation: Interaction with arousal at encoding. *Neurobiology of Learning and Memory*, 79(2), 194-198. doi:10.1016/S1074-7427(02)00036-9
- Cassilhas, R. C., Lee, K. S., Fernandes, J., Oliveira, M. G. M., Tufik, S., Meeusen, R., & De Mello, M. T. (2012). Spatial memory is improved by aerobic and resistance exercise through divergent molecular mechanisms. *Neuroscience*, 202, 309-317. doi:10.1016/j.neuroscience.2011.11.029
- Chang, Y.-K., & Etnier, J. L. (2009a). Effects of an acute bout of localized resistance exercise on cognitive performance in middle-aged adults: A randomized controlled trial study. *Psychology of Sport and Exercise*, 10, 19-24. doi:10.1016/j.psychsport.2008.05.004
- Chang, Y.-K., & Etnier, J. L. (2009b). Exploring the dose-response relationship between resistance exercise intensity and cognitive function. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31(5), 640-656. doi:10.1123/jsep.31.5.640

- Chang, Y.-K., Pan, C.-Y., Chen, F.-T., Tsai, C.-L., & Huang, C.-C. (2012). Effect of resistance-exercise training on cognitive function in healthy older adults: A review. *Journal of Aging and Physical Activity*, 20(4), 497-517. doi:10.1123/japa.20.4.497
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87-101. doi:10.1016/j.brainres.2012.02.068
- Coles, K., & Tomporowski, P. D. (2008). Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *Journal of Sports Sciences*, 26, 333-344. doi: 10.1080/02640410701591417
- Cooper, C. J. (1973). Anatomical and physiological mechanisms of arousal, with special reference to the effects of exercise. *Ergonomics*, 16(5), 601-609. doi:10.1080/00140137308924551
- Cuttler, C., Connolly, C. P., LaFrance, E. M., & Lowry, T. M. (2018). Resist forgetting: Effects of aerobic and resistance exercise on prospective and retrospective memory. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, 7(2), 205-217. doi:10.1037/spy0000112
- Díaz-Mataix, L., Scorza, M. C., Bortolozzi, A., Toth, M., Celada, P., & Artigas, F. (2005). Involvement of 5-HT1A receptors in prefrontal cortex in the modulation of dopaminergic activity: Role in atypical antipsychotic action. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 25(47), 10831-10843. doi:10.1523/JNEUROSCI.2999-05.2005
- Etnier, J., Labban, J. D., Piepmeier, A., Davis, M. E., & Henning, D. A. (2014). Effects of an acute bout of exercise on memory in 6th grade children. *Pediatr Exerc Sci*, 26(3), 250-258. doi:10.1123/pes.2013-0141
- Finlay, J. M., Zigmond, M. J., & Abercrombie, E. D. (1995). Increased dopamine and norepinephrine release in medial prefrontal cortex induced by acute and chronic stress: effects of diazepam. *Neuroscience*, 64(3), 619-628. doi:10.1016/0306-4522(94)00331-x
- Fitts, M., & Posner, M. I. (1967). *Human performance*. Belmont, CA: Brooks/Cole.
- Frey, U., & Morris, R. G. (1997). Synaptic tagging and long-term potentiation. *Nature*, 385(6616), 533-536. doi:10.1038/385533a0
- Frith, E., Sng, E., & Loprinzi, P. D. (2017). Randomized controlled trial evaluating the temporal effects of high-intensity exercise on learning, short-term and long-term memory, and prospective memory. *Eur J Neurosci*, 46(10), 2557-2564. doi:10.1111/ejn.13719
- Gentile, A. M. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest Monograph*, 17, 3-23. doi: 10.1080/00336297.1972.10519717
- Hansen, N., & Manahan-Vaughan, D. (2015). Hippocampal long-term potentiation that is elicited by perforant path stimulation or that occurs in conjunction with spatial learning is tightly controlled by beta-adrenoreceptors and the locus coeruleus. *Hippocampus*, 25(11), 1285-1298. doi:10.1002/hipo.22436
- Harveson, A. T., Hannon, J. C., Brusseau, T. A., Podlog, L., Papadopoulos, C., Durrant, L. H., Hall, M. S., & Kang, K.-d. (2016). Acute effects of 30 Minutes resistance and aerobic exercise on cognition in a high school sample. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 87(2), 214-220. doi:10.1080/02701367.2016.1146943
- Hillman, C., Kamijo, K., & Scudder, M. R. (2011). A review of chronic and acute physical activity participation on neuroelectric measures of brain health and cognition during childhood. *Preventive Medicine*, 52, 21-28. doi:10.1016/j.ypmed.2011.01.024
- Hötting, K., Schickert, N., Kaiser, J., Röder, B., & Schmidt-Kassow, M. (2016). The effects of acute physical exercise on memory, peripheral BDNF, and cortisol in young adults. *Neural Plasticity*, 1-12. doi:10.1155/2016/6860573
- Kliegl, R., Smith, J., & Baltes, P. (1990). On the locus and process of magnification of age differences during mnemonic training. *Developmental Psychology*, 26, 894-904. doi:10.1037/0012-1649.26.6.894
- Kliegl, R., Smith, J., & Baltes, P. B. (1989). Testing-the-limits and the study of adult age differences in cognitive plasticity of a mnemonic skill. *Developmental Psychology*, 25, 247-256. doi: 10.1037/0012-1649.25.2.247
- Knaepen, K., Goekint, M., Heyman, E. M., & Meusen, R. (2010). Neuroplasticity - Exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor: A systematic review of experimental

- studies in human subjects. *Sports Medicine*, 40, 765-801. doi:10.2165/11534530-000000000-00000
- Kuhlmann, S., & Wolf, O. T. (2006). Arousal and cortisol interact in modulating memory consolidation in healthy young men. *Behav Neurosci*, 120(1), 217-223. doi:10.1037/0735-7044.120.1.217
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P., & Christensen, R. (2015). LmerTest: Tests in linear mixed effects models. *R Package Version*, 2. doi:10.18637/jss.v082.i13
- Labban, J. D., & Etnier, J. L. (2011). Effects of acute exercise on long-term memory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82(4), 712-721. doi:10.1080/02701367.2011.10599808
- Landrigan, J.-F., Bell, T., Crowe, M., Clay, O. J., & Mirman, D. (2019). Lifting cognition: A meta-analysis of effects of resistance exercise on cognition. *Psychological Research*. doi:10.1007/s00426-019-01145-x
- Li, K. Z. H., Lindenberger, U., Freund, A. M., & Baltes, P. B. (2001). Walking while memorizing: Age-related differences in compensatory behavior. *Psychological Science*, 12, 230-237. doi:10.1111/1467-9280.00341
- Li, Q., Rothkegel, M., Xiao, Z. C., Abraham, W. C., Korte, M., & Sajikumar, S. (2014). Making synapses strong: Metaplasticity prolongs associativity of long-term memory by switching synaptic tag mechanisms. *Cereb Cortex*, 24(2), 353-363. doi:10.1093/cercor/bhs315
- Lindenberger, U., Marsiske, M., & Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: Increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging*, 15, 417-436. doi:10.1037/0882-7974.15.3.417
- Loprinzi, P. D., Blough, J., Crawford, L., Ryu, S., Zou, L., & Li, H. (2019a). The temporal effects of acute exercise on episodic memory function: Systematic review with meta-analysis. *Brain Sci*, 9(4). doi:10.3390/brainsci9040087
- Loprinzi, P. D., Edwards, M. K., & Frith, E. (2017). Potential avenues for exercise to activate episodic memory-related pathways: A narrative review. *European Journal of Neuroscience*, 46(5), 2067-2077. doi:10.1111/ejn.13644
- Loprinzi, P. D., & Frith, E. (2019). A brief primer on the mediational role of BDNF in the exercise-memory link. *Clin Physiol Funct Imaging*, 39(1), 9-14. doi:10.1111/cpf.12522
- Loprinzi, P. D., Frith, E., & Edwards, M. K. (2018). Resistance exercise and episodic memory function: A systematic review. *Clin Physiol Funct Imaging*. doi:10.1111/cpf.12507
- Loprinzi, P. D., Koehler, L., Frith, E., Ponce, P., Delancey, D., Joyner, C., Ashpole, N. M., Zou, L., & Li, H. (2019b). Acute exercise, psychological stress induction, and episodic memory. *American Journal of Health Behavior*, 43(6), 1016-1029. doi:10.5993/AJHB.43.6.1
- Loprinzi, P. D., Ponce, P., & Frith, E. (2018a). Hypothesized mechanisms through which acute exercise influences episodic memory. *Physiol Int*, 105(4), 285-297. doi:10.1556/2060.105.2018.4.28
- McMorris, T. (2016). *Exercise-Cognition interactions: Neuroscience Perspectives*: Elsevier.
- McMorris, T., & Graydon, J. (2000). The effect of incremental exercise on cognitive performance. *International Journal of Sport Psychology*, 31, 66-81.
- McMorris, T., & Hale, B. J. (2012). Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: A meta-analytical investigation. *Brain and Cognition*, 80, 338-351. doi:10.1016/j.bandc.2012.09.001
- Meinel, K. (1960). *Bewegungslehre. Versuch einer Theorie der sportlichen Bewegung unter pädagogischem Aspekt*. Berlin: Verlag Volk und Wissen.
- Pesce, C., Crova, C., Cereatti, L., Casella, R., & Bellucci, M. (2009). Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity*, 2, 16-22. doi:10.1016/j.mhpa.2009.02.001
- Preuß, D., Schoofs, D., & Wolf, O. T. (2009). Associations between endogenous cortisol levels and emotional memory in young women: influence of encoding instructions. *Stress*, 12(5), 379-387. doi:10.1080/10253890802524592
- Pyke, W., Ifram, F., Coventry, L., Sung, Y., Champion, I., & Javadi, A.-H. (2020). The effects of different protocols of physical exercise and rest on long-term memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 167, 107128. doi: 10.1016/j.nlm.2019.107128
- Raudenbush, S. W., & Bryk, A. S. (2002). *Hierarchical linear models: Applications and data*

- analysis methods (Vol. 1)*. London: Sage Publications.
- Roig, M., Nordbrandt, S., Geertsen, S. S., & B., N. J. (2013). The effects of cardiovascular exercise on human memory: A review with meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *37*, 1645-1666. doi:10.1016/j.neubiorev.2013.06.012
- Roig, M., Thomas, A. G., Mang, C. S., Snow, N. J., Ostadan, F., Boyd, L. A., & Lundbye-Jensen, J. (2016). Time-dependent effects of cardiovascular exercise on memory. *Exercise and Sport Science Reviews*, *44*, 81-88. doi:10.1249/JES.0000000000000078
- Sajikumar, S., & Frey, J. U. (2004). Late-associativity, synaptic tagging, and the role of dopamine during LTP and LTD. *Neurobiology of Learning and Memory*, *82*(1), 12-25. doi:10.1016/j.nlm.2004.03.003
- Schaefer, S. (2014). The ecological approach to cognitive-motor dual-tasking: Findings on the effects of expertise and age. *Frontiers in Psychology*, *5*, 1-9. doi:10.3389/fpsyg.2014.01167
- Schaefer, S., Krampe, R. T., Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (2008). Age differences between children and young adults in the dynamics of dual-task prioritization: Body (balance) versus mind (memory). *Developmental Psychology*, *44*, 747-757. doi:10.1037/0012-1649.44.3.747
- Schmidt-Kassow, M., Deusser, M., Thiel, C., Otterbein, S., Montag, C., Reuter, M., Banzer, W., & Kaiser, J. (2013). Physical exercise during encoding improves vocabulary learning in young female adults: A neuroendocrinological study. *Plos One*, *8*, e64172. doi:10.1371/journal.pone.0064172
- Schmidt-Kassow, M., Kulka, A., Gunter, T. C., Rothermich, K., & Kotz, S. A. (2010). Exercising during learning improves vocabulary acquisition: Behavioral and ERP evidence. *Neuroscience Letters*, *482*(1), 40-44. doi:10.1016/j.neulet.2010.06.089
- Schmidt-Kassow, M., Zink, N., Mock, J., Thiel, C., Vogt, L., Abel, C., & Kaiser, J. (2014). Treadmill walking during vocabulary encoding improves verbal long-term memory. *Behavioral and Brain Functions*, *10*, 24. doi:10.1186/1744-9081-10-24
- Schramke, C. J., & Bauer, R. M. (1997). State-dependent learning in older and younger adults. *Psychol Aging*, *12*(2), 255-262. doi:10.1037//0882-7974.12.2.255
- Segal, S. K., Cotman, C. W., & Cahill, L. F. (2012). Exercise-induced noradrenergic activation enhances memory consolidation in both normal aging and patients with amnesic mild cognitive impairment. *Journal of Alzheimer's disease : JAD*, *32*(4), 1011-1018. doi:10.3233/JAD-2012-121078
- Singh, A. S., Saliassi, E., van den Berg, V., Uijtdewilligen, L., de Groot, R. H. M., Jolles, J., . . . Chinapaw, M. J. M. (2018). Effects of physical activity interventions on cognitive and academic performance in children and adolescents: a novel combination of a systematic review and recommendations from an expert panel. *Br J Sports Med*, *53*(10), 640-647. doi:10.1136/bjsports-2017-098136
- Skriver, K., Roig, M., Lundbye-Jensen, J., Pingel, J., Helge, J. W., Kiens, B., & Nielsen, J. B. (2014). Acute exercise improves motor memory: Exploring potential biomarkers. *Neurobiol Learn Mem*, *116*, 46-58. doi:10.1016/j.nlm.2014.08.004
- Snijders, T., & Bosker, R. (2004). *Multilevel Analysis*. London: Sage.
- Sng, E., Frith, E., & Loprinzi, P. D. (2018). Experimental effects of acute exercise on episodic memory acquisition: Decomposition of multi-trial gains and losses. *Physiol Behav*, *186*, 82-84. doi:10.1016/j.physbeh.2018.01.014
- Tomporowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*, *112*, 297-324. doi:10.1016/S0001-6918(02)00134-8
- Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and children's intelligence, cognition, and academic achievement. *Educational Psychology Reviews*, *20*, 111-131. doi:10.1007/s10648-007-9057-0
- Verburgh, L., Königs, M., Scherder, E. J. A., & Oosterlaan, J. (2014). Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *48*(12), 973-979. doi:10.1136/bjsports-2012-091441
- Weinberg, L., Hasni, A., Shinohara, M., & Duarte, A. (2014). A single bout of resistance exercise can enhance episodic memory performance. *Acta Psychol (Amst)*, *153*, 13-19. doi:10.1016/j.actpsy.2014.06.01q
- Wickens, C. D. (1991). Processing resources and attention. In D. Damos (Ed.), *Multiple-task performance* (pp. 3-34). London: Taylor-Francis.

- Wilke, J., Giesche, F., Klier, K., Vogt, L., Herrmann, E., & Banzer, W. (2019). Acute effects of resistance exercise on cognitive function in healthy adults: A systematic review with multilevel meta-analysis. *Sports Med*, *49*(6), 905-916. doi:10.1007/s40279-019-01085-x
- Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A., . . . Knecht, S. (2007). High impact running improves learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, *87*, 597-609. doi:10.1016/j.nlm.2006.11.003

Beitrag 3

Amico, G., & Schaefer, S. (2020). Running during encoding improves word learning for children. *Frontiers in Psychology, 11*(684). doi:10.3389/fpsyg.2020.00684



Running During Encoding Improves Word Learning for Children

Gianluca Amico^{*†} and Sabine Schaefer[†]

Department of Sport Sciences, Saarland University, Saarbrücken, Germany

The learning of new information is an important task in everyday life, especially at a young age. Acute physical exercise can facilitate cognitive processes in multiple ways, and previous studies have shown that memory can profit from physical exercise before and during the encoding of vocabulary. The current study investigates the interplay of movement and vocabulary learning and also addresses lifespan differences in these effects. Participants were recruited in a recreational basketball club. Children ($n = 24$, $M_{age} = 12.3$ years; 13 girls), young adults ($n = 30$, $M_{age} = 21.5$ years; 17 women), and older adults ($n = 24$, $M_{age} = 59.3$ years; 9 women) learned 20 new pseudo-words, which corresponded to a German word. In a between-subjects design, encoding took place either while standing, while running, or while running and dribbling a basketball. Recall was assessed three times throughout the learning session and on the following day. In children, more words could be remembered in the running condition compared to the standing condition. There were no differences between conditions for the young and older adults. Age-dependent reasons for this pattern of results are discussed and embedded into the literature of physical exercise. Our result suggests that implementing learning activities into children's physical education or exercise activities could be beneficial.

Keywords: physical exercise, acute physical exercise, lifespan, word learning, vocabulary, memory

OPEN ACCESS

Edited by:

Caterina Pesce,
Italian University of Sport and
Movement "Foro Italico", Italy

Reviewed by:

Phillip Tomporowski,
University of Georgia, United States
Fabienne Egger,
Universität Bern, Switzerland

*Correspondence:

Gianluca Amico
gianluca.amico@uni-saarland.de

[†]These authors have contributed
equally to this work

Specialty section:

This article was submitted to
Cognition,
a section of the journal
Frontiers in Psychology

Received: 06 January 2020

Accepted: 20 March 2020

Published: 21 April 2020

Citation:

Amico G and Schaefer S (2020)
Running During Encoding Improves
Word Learning for Children.
Front. Psychol. 11:684.
doi: 10.3389/fpsyg.2020.00684

INTRODUCTION

The learning of new information is an important task in everyday life. Physical exercise can improve cognitive performances, which has been demonstrated for long-term as well as acute exercise interventions. Chronic physical exercise has been shown to enhance cognitive processes in multiple ways [see a review by Tomporowski et al. (2008) and a meta-analysis by Verburgh et al. (2014)]. In addition, chronic physical activity can support physical and cognitive development in childhood (Hillman et al., 2011), as well as academic achievement (Alvarez-Bueno et al., 2017; Singh et al., 2018), and it may also reduce cognitive and motor decline in older adults (Bherer et al., 2013; Paillard, 2015; Roig et al., 2016).

Furthermore, a single bout of acute physical exercise can facilitate various cognitive functions, from executive functions like inhibition, verbal fluency, decision making, and stroop interference (Chang et al., 2012) to memory processes involving the encoding and consolidation of new information (Roig et al., 2013). Several reviews and meta-analyses (Etnier et al., 1997; Tomporowski, 2003; Chang et al., 2012; Roig et al., 2016; Loprinzi et al., 2019) have concluded that the overall effects are small, and are moderated by the duration, the intensity, the type, and the timing of the exercise.

Acute exercise increases one's heart rate, which can contribute to achieve an optimal level of neurological and physiological arousal, supporting the engagement in cognitively demanding tasks (McMorris and Graydon, 2000; Audiffren et al., 2008). Furthermore, there seems to be a link between physical exercise and the release of several neurobiological substrates that may enhance memory processes, like neurotrophins or certain neurotransmitters (Chmura et al., 1994; Davranche et al., 2006; Roig et al., 2013). In this context, Winter et al. (2007) assessed peripheral levels of catecholamines (dopamine, epinephrine, and norepinephrine) and brain-derived neurotrophic factor (BDNF) of young adults before and after high intensity running, low intensity running, or a period of rest. Directly after the intervention, after 1 week, and after 8 months, participants took part in an associative vocabulary learning task. After high intensity running, participants were 20% faster in learning the vocabulary and showed the strongest increases in BDNF and catecholamine levels. Higher levels of BDNF were related to better short-term learning, whereas higher levels of dopamine correlated with intermediate- and epinephrine with long-term retentions of the new vocabulary.

Overall, acute physical exercise affects the release of different neurobiological substrates, which may moderate memory encoding (Winter et al., 2007) and memory consolidation (Cahill and Alkire, 2003; Chowdhury et al., 2012). Due to the time-dependent nature of these two memory processes, memory encoding can be mainly effected by physical exercise before or during encoding, while memory consolidation would be more strongly affected by a bout of physical exercise after encoding (Roig et al., 2016).

The majority of studies investigating the acute effects of exercise on memory processes asked participants to exercise either before or after memory encoding (Schramke and Bauer, 1997; Coles and Tomporowski, 2008; Pesce et al., 2009; Labban and Etnier, 2011; Etnier et al., 2014; Hötting et al., 2016; for a recent review, see Loprinzi et al., 2019). However, there is also an increasing body of research showing that acute exercise *during* memory encoding can enhance episodic memory performance (Schmidt-Kassow et al., 2010, 2013, 2014; Mavilidi et al., 2016; Liu et al., 2017).

Mavilidi et al. (2017) used physical exercise to teach 90 preschool children the names and positions of planets of our solar system. Children were either sitting, running laps around the room (task-unrelated physical activity), or they were running successively from the sun to the planets lying on the floor (task-related physical activity) while the teacher repeated the names of the planets. Although children in the task-related physical activity group had the highest memory scores in an immediate and a delayed retention test, the task-unrelated group, which performed a typical acute exercise while encoding, also had significantly higher memory scores, compared with the control group.

The positive effect of physical exercise during memory encoding could also be shown for language learning tasks. Liu et al. (2017) tested 40 Chinese-English L2-learners in a vocabulary

learning task. The learning phase included eight test sessions with one session per week. Each to-be-learned list was presented to the participants three times per session. The list consisted of 40 picture-name pairs. During learning, participants were either seated or were bicycling at 60% of their maximum heart rate. After each session and 1 month after the last session, participants took part in a word-picture verification task and in a semantic judgment task. Already after the first training session, the physical exercise group remembered more correct picture-name pairs in the picture verification task, while it took several weeks before they outperformed the control group in the semantic judgment task. This result indicates that already a single bout of physical exercise can have a positive effect on vocabulary learning.

In a similar way, Schmidt-Kassow et al. (2010) tested 12 adult native German speakers in three sessions per week for 3 weeks. During each session, the participants listened twice to the same 80 French-German word-pairs while being seated (control group) or while cycling (physical exercise group) at moderate speed. After every third learning session, participants' knowledge of the to-be-learned words was tested. The physical exercise group remembered more words compared to the control group. In a later study, Schmidt-Kassow et al. (2013) could replicate their results. They tested 105 German native speakers in a similar study design, except that this time there was an additional group that bicycled before memory encoding. Furthermore, participants learned a list of 80 Polish-German word-pairs, in only two learning sessions, and participants performed only two vocabulary learning tests. The results of the vocabulary learning tests revealed better memory performance for the group that cycled during encoding compared to the control group.

While the studies by Mavilidi et al. (2017) and Schmidt-Kassow et al. (2010, 2013, 2014) indicate that memory encoding in young children and in young adults can profit from concurrent exercise, findings for older adults appear less promising. To our knowledge, the effects of acute exercise *during* memory encoding in older adults have mainly been investigated in the context of cognitive-motor dual-task research. The general assumption in these study paradigms is that older adults have to invest more cognitive resources into seemingly automatized motor tasks like walking, and therefore show more pronounced performance decrements (dual-task costs) when a motor and a cognitive task have to be performed concurrently (for reviews, see Woollacott and Shumway-Cook, 2002; Schaefer, 2014). Studies by Lindenberger et al. (2000) and by Li et al. (2001) asked young and older adults to encode word lists (using a memory strategy) while walking on narrow tracks of different complexities. In these studies, older adults indeed showed pronounced performance reductions in memory when encoding took place while walking as opposed to sitting. However, the tracks used in these studies had been constructed to be rather challenging to walk on (narrow, sometimes with numerous turns, and sometimes including obstacles). It therefore remains unclear whether walking/jogging without such challenges has beneficial effects on memory in older adults.

Findings on acute exercise effects before or after a memory task in older adults are equivocal. Stones and Dawe (1993) asked elderly nursing home residents to perform a word fluency task (memory retrieval) before or after performing a 15-min non-strenuous exercise (intervention group), or after watching a video. Participants in the exercise group retrieved more category exemplars following exercise than the control group. In addition, Segal et al. (2012) reported post-learning exercise to enhance memory consolidation in older adults with and without mild cognitive impairment. However, Schramke and Bauer (1997) did not find improvements in the learning of word lists following exercise in young and older adults compared to a resting condition.

The current study investigates lifespan differences in the acute effects of exercise on vocabulary learning. We tested children, young adults, and older adults in a vocabulary learning task. Subjects were recruited via a local basketball club, and were all experienced basketball players. The participants learned pairs of words and pseudo-words, either while standing, while running, or while running and dribbling a basketball. Based on previous reports of enhanced vocabulary learning while exercising (Schmidt-Kassow et al., 2010, 2013, 2014), the positive influence of acute physical exercise on establishing an optimal physiological arousal (McMorris and Graydon, 2000; Audiffren et al., 2008), and the link between exercise and the release of neurobiological substrates that enhance memory processes (Chmura et al., 1994; Davranche et al., 2006; Roig et al., 2013), we hypothesized that more words are remembered when encoding takes place while running as compared to standing in all age groups. Furthermore, we assume that running while dribbling a basketball (as compared to running only) exerts an additional cognitive load. The cognitive load theory (see Sweller et al., 1998, 2019) distinguishes three types of cognitive load. *Intrinsic cognitive load* refers to the complexity of the information being processed, while considering the knowledge of the person processing the information. *Extraneous cognitive load* includes the instructional procedures that may reduce or increase cognitive load. *Germane cognitive load* describes the resources available to deal with intrinsic cognitive load (Sweller et al., 2019). In this context, dribbling a basketball is expected to increase the extraneous cognitive load, since it is a complex motor skill requiring attentional resources. However, motor expertise is influenced by experience and age: Younger adults should be able to compensate for the additional task with their experience in basketball dribbling, having reached a stage of complete automation of the motor task (Fitts and Posner, 1967). Children, on the other hand, still have to devote some attentional resources into the dribbling task, and may have fewer resources overall. And older adults have to compensate for aging-related declines in sensory and motor systems, as assumed by the dual-task literature (Kahneman, 1973; Navon and Gopher, 1979; Schaefer, 2014). We therefore predict that running while dribbling a basketball reduces the number of words remembered in children and older adults, but not in young adults. Lastly, we assume that all age groups will improve from recall 1 to recall 3, which reflects the learning process.

METHODS

Participants

A statistical *a priori* power analysis was performed for sample size estimation (GPower 3.1.9.2). According to the current literature (Schmidt-Kassow et al., 2013, 2014), we assumed a large effect size ($f = 0.40$) with an $\alpha = 0.05$ and power = 0.80 for the estimated main effect of condition, which resulted in a suggested sample size of $N = 66$. Twenty-four children ($M_{age} = 12.3$ years; 13 girls), 30 young adults ($M_{age} = 21.5$ years; 17 women), and 24 older adults ($M_{age} = 59.3$ years; 9 women) were recruited and tested in a recreational Basketball club at the Saarland. All of them had normal or corrected-to-normal vision and hearing. The declaration of consent was signed by all participants, in case of children by their legal guardian. The study was approved by the Ethics committee of Saarland University. The current study has been preregistered under the following link: <https://aspredicted.org/blind.php?x=3qf4yt>.

Cognitive Background Variables

To allow for comparisons across the three age groups, tests for cognitive speed (Digit Symbol Substitution task, Wechsler, 1981), sustained attention (D2 Test, Brickenkamp et al., 2010), and knowledge of German vocabulary (MWT-A questionnaire, Lehrl et al., 1991) were measured and used as background variables. Consistent with the developmental literature (Li et al., 2004), young adults outperformed children in cognitive speed, while older adults showed the highest scores in the test for knowledge of German words (see **Table 1** for descriptives and cognitive background information).

Experimental Task

Vocabulary Learning Task

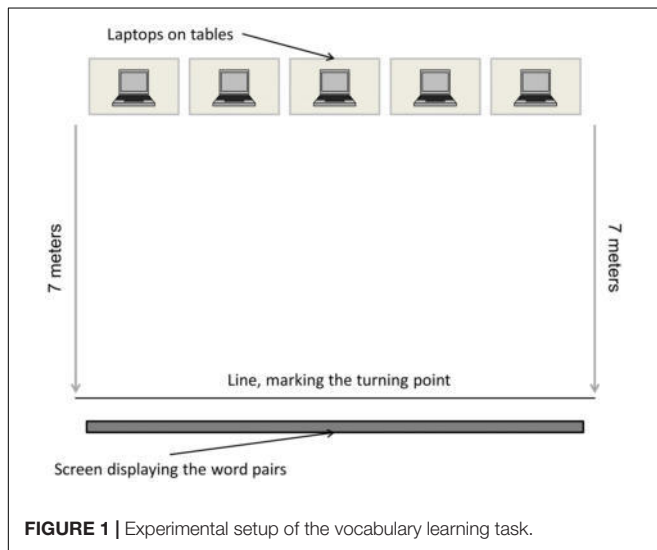
The Vocabulary Learning task was constructed based on extensive piloting of the paradigm. Measures of retest reliability are depicted in **Table 1**. The goal of the task was to learn a list of 20 new pseudo-words. Each pseudo-word corresponded to a German word. Pseudo-words were constructed using syllables that can be pronounced in the German language (examples of pseudo words: kebruli, curlef, and ogizav). A word-pair was presented for 6 s on a large screen (for example, Wolf – kebruli) to make sure that participants of each age group had enough time to read the word-pair. Then participants had 7 s to encode the word-pair, without seeing it any more on the screen. We argue that this time interval has to be used for active encoding processes (i.e., continuous rehearsal), since participants had to enter both words using a computer keyboard immediately afterward. Immediate recall accuracies were very high in all age groups (see **Table 1**). After 15 s, which was enough time to enter the word-pair and to refocus on the screen, the next word-pair was presented, until all word-pairs of the list had been presented. A sound signal indicated when the 6 s presentation time, the 7 s encoding time, and the 15 s enter time ended.

In a between-subjects design, the 7 s of encoding took place either while standing, while running, or while running and

TABLE 1 | Descriptives, cognitive background information, and reliability of the vocabulary learning task.

Group	Children (C)	Young adults (YA)	Older adults (OA)	ANOVA*
<i>n</i>	24 (<i>f</i> = 13)	30 (<i>f</i> = 17)	24 (<i>f</i> = 9)	
Age (years)	<i>M</i> = 12.3 SD = 1.3	<i>M</i> = 21.5 SD = 4.4	<i>M</i> = 59.3 SD = 5.1	
Basketball experience (years)	<i>M</i> = 4.2 SD = 1.9	<i>M</i> = 11.8 SD = 5.3	<i>M</i> = 40.5 SD = 5.4	OA > YA > C, $F(2,50) = 244.20, p < 0.001$
Training per week (number of sessions)	<i>M</i> = 3.3 SD = 1.3	<i>M</i> = 3.5 SD = 1.2	<i>M</i> = 1.1 SD = 0.2	YA = C > OA, $F(2,54) = 18.71, p < 0.001$
Still playing actively (percentage)	100%	100%	46%	
Digit symbol substitution (cognitive speed; items per second)	<i>M</i> = 0.5 SD = 0.1	<i>M</i> = 0.7 SD = 0.2	<i>M</i> = 0.5 SD = 0.1	YA > C = OA, $F(2,75) = 16.71, p < 0.001$
D2 (sustained attention, score)	<i>M</i> = 114.0 SD = 29.7	<i>M</i> = 120.4 SD = 19.4	<i>M</i> = 136.3 SD = 42.8	OA = YA > C, $F(2,75) = 3.25, p < 0.05$
MWT-A (vocabulary, number of correct solutions)	<i>M</i> = 21.4 SD = 4.0	<i>M</i> = 28.2 SD = 3.2	<i>M</i> = 31.9 SD = 1.7	OA > YA > C, $F(2,75) = 68.15, p < 0.001$
Immediate recall accuracy [%]				GW > PW, $F(1,75) = 56.54, p < 0.001$
German word (GW)	93.19	97.61	94.72	No sign. main effect of age group, $F(2,75) = 2.72, p = 0.073$, or age group × language interaction, $F(2,75) = 1.97, p = 0.147$
Pseudo word (PW)	87.71	92.00	85.28	
Retest reliability for recall time 1 to recall 3 (Cronbach's Alpha)	$\alpha = 0.882$	$\alpha = 0.946$	$\alpha = 0.885$	

*Significant effects have been further analyzed with independent-samples *t*-tests.

**FIGURE 1** | Experimental setup of the vocabulary learning task.

dribbling a basketball. The distance in both running conditions was 7 m forth and 7 m back to where the Laptops stood (see **Figure 1** for the experimental setup). The distance of 14 m was chosen to induce a moderate running speed, which was adapted to the encoding time of 7 s.

Following the 20 word pairs of each list, participants took part in a cued recall test, where only the German words were presented and the participants had to enter the corresponding pseudo-words. During recall, German cue words were presented one at a time in randomized order. Participants had no time limit to answer the cued recall test. Two additional encoding and

recall trials were administered in the testing session, using the same word-pseudo-word pairs, but always in randomized order, resulting in three repetitions of the to-be-learned lists.

On the following day, each participant received an email with a link to a fourth cued recall test via internet. The dependent variable for memory was the number of correctly spelled pseudo-words in each cued recall test. Spelling errors were not scored as a remembered word.

Procedure

Before data collection started, each participant's identification number was randomly assigned to one of the three treatment conditions (standing, running, and dribbling) using a random algorithm of the program Microsoft Excel. Participants were tested in groups with up to five participants completing the same condition. The test session lasted for about 1 h and started with the completion of the demographic questionnaire, that included questions about age, sex, and sport activities. Then each participant was assigned to one of the five laptops standing on the tables. The test administrator explained the task and how the words had to be entered in the laptop. Then participants took part in a practice phase with one word-pair until everyone got used to the timing of the encoding phase. For participants in the running and dribbling conditions, the practice phase was also used to accustom participants to the required running speed. We did not observe any dribbling mistakes throughout the entire study. After practice, the first 20 word-pairs were presented. Following every cued recall test, participants completed one of the three background tasks (after trial one: Digit Symbol Substitution; after trial two: MWT-A; after trial three: D2). Working on the cognitive tasks between the trials led to a schedule of distributed rather than

massed practice for the memory-encoding task within a testing session. On the following day, participants were reminded via text messages to fill in the cued recall test one more time (internet based assessment).

Data Analysis

The vocabulary learning task was analyzed with a mixed-design analyses of variance (ANOVA) with position (recall 1–4) as within-subjects factor and age group (3: children, young adults, and older adults) and condition (3: standing, running, and running and dribbling) as between-subjects factors. F values and partial Eta square values for effect sizes are reported. If sphericity assumptions were violated, Greenhouse–Geisser corrected values are reported. The alpha level used to interpret statistical significance was $p < 0.05$. Significant main effects were further investigated by planned t -tests with Bonferroni corrected levels of significance. If the *a priori* Levene-Test was violated, values for t -tests with unequal variances are reported. For paired-samples t -tests, we present Cohen's d_z effect sizes and for independent samples t -tests, we present Cohen's d effect sizes (Cohen, 1988).

RESULTS

Vocabulary Learning Task

The ANOVA with position (4) as within-subjects factor and age group (3: children, young adults, and older adults) and condition (3: standing, running, and running and dribbling) as between-subjects factors was conducted to investigate the effects of acute physical exercise on vocabulary learning. **Figure 2** depicts the pattern of findings.

The results of the ANOVA show a significant main effect of position, $F(1.58,109.19) = 109.820$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.614$. Paired-samples t -tests (Bonferroni corrected level of significance to $p < 0.008$) indicate significant performance increases during the learning session from recall 1 to recall 3, followed by a performance reduction comparing recall 3 with recall 4 (see **Table 2**). There was a significant main effect of age group,

$F(2,69) = 16.588$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.325$. Independent samples t -tests indicate that children ($M = 3.14$, $SD = 2.67$) remembered more words than older adults ($M = 1.52$, $SD = 1.51$), $t(46) = 2.583$, $p < 0.02$, $d = 0.75$, but fewer words than younger adults ($M = 5.82$, $SD = 3.67$), $t(52) = 3.105$, $p < 0.01$, $d = 0.82$. Young adults remembered more words than older adults, $t(52) = 5.825$, $p < 0.001$, $d = 1.47$. The results showed no main effect of condition, $F(2,69) = 0.59$, $p = 0.560$, $\eta^2p = 0.017$. Furthermore, the results show a significant interaction of position and age group, $F(3.17,109.19) = 13.771$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.285$. This interaction can be explained by paired-samples t -tests (Bonferroni corrected level of significance to $p < 0.008$) showing that children's and older adult's memory performance decreases from recall 3 to recall 4, but young adult's performance does not. In addition, children's and older adult's performance does not significantly differ between recall 2 and recall 4, whereas young adult's performance does improve. The results show no interaction of position and condition, $F(3.17,109.19) = 0.885$, $p = 0.456$, $\eta^2p = 0.025$, and no interaction of condition and age group, $F(4,69) = 2.173$, $p = 0.081$, $\eta^2p = 0.112$, but we see a significant three-way interaction of position, age group, and condition, $F(6.33,109.19) = 2.302$, $p < 0.05$, $\eta^2p = 0.118$. Paired-samples t -tests show that children remembered more words in the running condition compared to the standing condition at recall 2, $t(14) = 2.646$, $p < 0.02$, $d = 1.32$, recall 3, $t(9.97) = 3.157$, $p < 0.02$, $d = 1.58$, and recall 4, $t(9.15) = 2.54$, $p < 0.04$, $d = 1.27$. Comparing the dribbling condition and the standing condition, they only remembered more words at recall 2, $t(14) = 2.229$, $p < 0.05$, $d = 1.12$ (see **Figure 2A**). For the young adults, there was only one difference between the running and dribbling condition at recall test 1, $t(9) = 2.33$, $p < 0.05$, $d = 1.04$ (see **Figure 2B**), and there were no differences between conditions for the older adults at any recall test (see **Figure 2C**).

DISCUSSION

The current study aimed to investigate if physical exercise during vocabulary learning can enhance memory performance

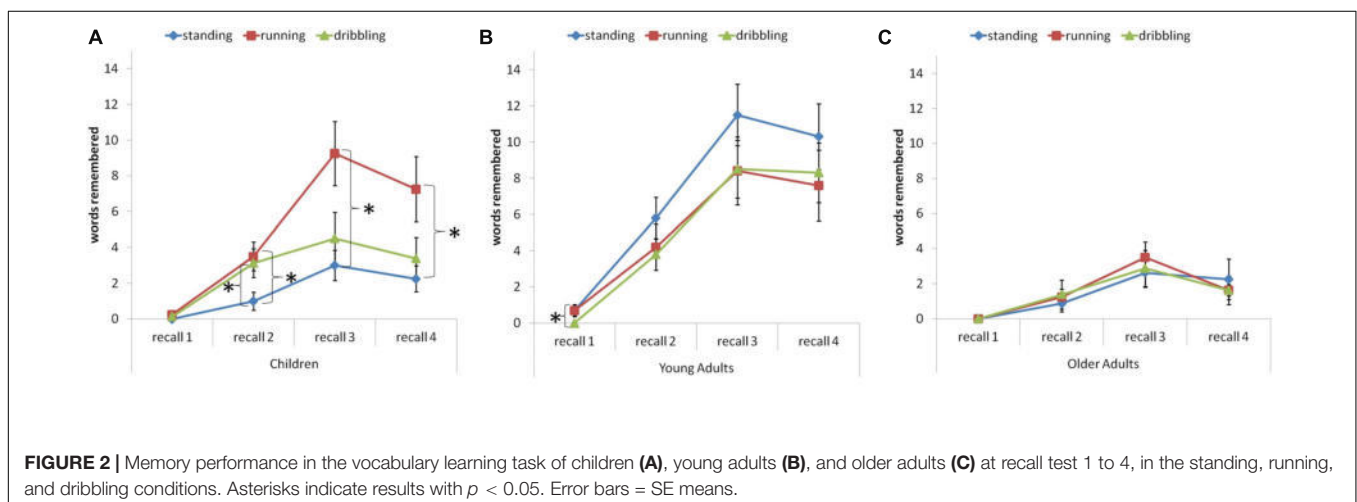


TABLE 2 | Follow-up analysis of the significant main effect of position with paired-samples *t*-tests.

Comparisons	Difference of the means	SD	<i>t</i>	<i>p</i>
Recall 1 with rec. 2	-2.67	2.63	-8.949	<0.001
Recall 1 with rec. 3	-6.04	4.89	-10.913	<0.001
Recall 1 with rec. 4	-5.00	4.90	-9.004	<0.001
Recall 2 with rec. 3	-3.37	3.05	-9.778	<0.001
Recall 2 with rec. 4	-2.33	3.09	-6.678	<0.001
Recall 3 with rec. 4	1.04	1.83	-5.021	<0.001

of children, young adults, and older adults. We hypothesized that memory performance would profit from the running condition in all age groups. This hypothesis could be partially confirmed. Only children's memory performance benefited from running during memory encoding, whereas young and older adults' performances were comparable for standing and running conditions.

But why did only children profit from physical exercise, and not young or older adults? In the current study, all age groups ran at the same speed in order to keep the running distance and the encoding time comparable between the age groups. It is possible that younger adults did not benefit to the same extent as children since children may have experienced a higher physical exertion at the same running speed. Exercise-induced changes in arousal and neurobiological substrates may have been too low in the young adult group, and a higher intensity (faster running speed) could have changed the pattern of results (Chang et al., 2012). However, recent studies have shown that even walking at a preferred speed can facilitate memory performance (Schmidt-Kassow et al., 2014).

Another explanation could be that running has interfered with the use of cognitive strategies, like rehearsal (actively repeating information), deep encoding (linking the information with associations or images), or clustering (organizing new information into related groups). In reference to the cognitive load theory (Sweller et al., 2019), younger adults should have a larger knowledge base to connect the to-be-learned words with in their long-term memory. They can then use their working memory to embed the new words into pre-existing semantic structures via deep encoding, and such processes may work best when not being distracted by physical activities. In fact, it seems as if young adults were most successful in memory encoding while standing, even if this trend does not reach significance in the current study. Compared to adults, children do not consistently use cognitive strategies yet (Ornstein, 1978; Schneider, 2008). Instead, the structure and rhythm imposed by the running condition may have helped them to engage in memory strategies like continuous rehearsal. In future research, the use of cognitive strategies should be taken into account, for example by instructing participants to use a specific strategy like the method-of-loci, which integrates the new information into visualizations of familiar places (Li et al., 2001). A thorough monitoring of exercise intensity and physical exertion using heart rates or physical exertion questionnaires would help to interpret future findings.

For older adults, we did not find any differences between the three conditions. Overall, the memory performance of this age group was very poor. On average they only remembered three words ($SD = 2.50$) out of 20 possible words at their best recall test (recall test 3). These results indicate that the task-difficulty of the memory task was too high for older adults, making it difficult to interpret the current results. Dual task studies using walking and memory encoding in older adults would even have predicted memory performance decrements (Lindenberger et al., 2000; Krampe et al., 2011; Schaefer et al., 2014), but these studies used rather challenging walking conditions like virtual worlds, narrow tracks, or obstacles. Future studies on memory encoding while exercising should try to avoid floor or ceiling effects in the motor or memory task. It could be worthwhile to adjust task-difficulties individually, or at least on the level of age groups.

Based on the motor learning and expertise literature (Fitts and Posner, 1967; Schaefer, 2014), we expected children's and older adults' memory performance to decrease in the dribbling condition, compared to the running condition, while young adults should be able to keep their memory performance stable. Our expectations could partially be confirmed. As expected, the results show no decrease in memory performance in the young adult group. However, contrary to our expectations, older adults also did not show memory performance decrements while dribbling. Again, this may be due to the excessive demands that older adults have been confronted with. Children showed comparable performance levels for standing and dribbling at the later stages of the study. Since all of our participants were experienced basketball players, running and dribbling a basketball may have been automatized even in our youngest participants already. Not all of the elderly participants were still playing basketball regularly. This lack of current practice of a motor skill could lead to de-automatization processes, making it more difficult to profit from certain types of exercise while learning. Future research should investigate motor expertise more systematically. Since a lack of power might have been responsible for not finding clearer effects in our study, future research should also test larger sample sizes and consider using within-subjects designs.

Another issue that is worth investigating is the exact timing of exercise and memory encoding. Beneficial effects of exercise on memory could be even larger if the exercise bout takes place before or after memory encoding (Chang et al., 2012; Roig et al., 2013; Loprinzi et al., 2019). Roig et al. (2016) argued that memory encoding may be more strongly affected by exercise before encoding, while memory consolidation may more affected by exercise after memory encoding. On the other hand, it may be possible that physical exercise during encoding is particularly appropriate for enhancing both memory processes, by optimizing arousal level throughout the entire learning phase.

The current study provides an example of how physical exercise could be implemented in other learning activities (e.g., vocabulary learning) (see Diamond and Ling, 2016, 2018; Hillman et al., 2018 for an ongoing discussion on physical activity and its effects on executive functions). The results of the current

study show that the integration of physical exercise into memory encoding can be particularly beneficial for children. Using physical exercise that is meaningfully related to the cognitive task may lead to stronger effects (see Mavilidi et al., 2016, 2017). We conclude that the combination of physical and mental activities has power to improve learning while at the same time giving students the opportunity to be physically active. Schools should provide optimal learning environments and support students in acquiring efficient learning strategies. Physical exercise may contribute to achieve this goal by enhancing cognitive activation (Pesce et al., 2009) and thus facilitating the learning process stimulated by the school.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The datasets generated for this study are available on request to the corresponding author.

ETHICS STATEMENT

The studies involving human participants were reviewed and approved by the Ethics Committee of Saarland University.

REFERENCES

- Alvarez-Bueno, C., Pesce, C., Cavero-Redondo, I., Sanchez-Lopez, M., Garrido-Miguel, M., and Martinez-Vizcaino, V. (2017). Academic achievement and physical activity: a meta-analysis. *Pediatrics* 140:e20171498. doi: 10.1542/peds.2017-1498
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D., and Zagrodnik, J. (2008). Acute aerobic exercise and information processing: energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta Psychol.* 129, 410–419. doi: 10.1016/j.actpsy.2008.09.006
- Bherer, L., Erickson, K. I., and Liu-Ambrose, T. (2013). A review of the effects of physical activity and exercise on cognitive and brain functions in older adults. *J. Aging Res.* 2013, 657508. doi: 10.1155/2013/657508
- Brickenkamp, R., Schmidt-Atzert, L., and Liepmann, D. (2010). *d2-R – Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest (d2-r – test of attention)*. Göttingen: Hogrefe.
- Cahill, L., and Alkire, M. T. (2003). Epinephrine enhancement of human memory consolidation: interaction with arousal at encoding. *Neurobiol. Learn. Mem.* 79, 194–198. doi: 10.1016/S1074-7427(02)00036-9
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., and Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Res.* 1453, 87–101. doi: 10.1016/j.brainres.2012.02.068
- Chmura, J., Nazar, K., and Kaciuba-Uscilko, H. (1994). Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. *Int. J. Sports Med.* 15, 172–176. doi: 10.1055/s-2007-1021042
- Chowdhury, R., Guitart-Masip, M., Bunzeck, N., Dolan, R. J., and Düzel, E. (2012). Dopamine modulates episodic memory persistence in old age. *J. Neurosci.* 32, 14193–14204. doi: 10.1523/jneurosci.1278-12.2012
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd Edn. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Coles, K., and Tomporowski, P. D. (2008). Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *J. Sports Sci.* 26, 333–344. doi: 10.1080/02640410701591417
- Davranche, K., Audiffren, M., and Denjean, A. (2006). A distributional analysis of the effect of physical exercise on a choice reaction time task. *J. Sports Sci.* 24, 323–329. doi: 10.1080/02640410500132165
- Diamond, A., and Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Dev. Cogn. Neurosci.* 18, 34–48. doi: 10.1016/j.dcn.2015.11.005
- Diamond, A., and Ling, D. S. (2018). Aerobic-Exercise and resistance-training interventions have been among the least effective ways to improve executive functions of any method tried thus far. *Dev. Cogn. Neurosci.* 37, 100572. doi: 10.1016/j.dcn.2018.05.001
- Etnier, J., Labban, J. D., Piepmeier, A., Davis, M. E., and Henning, D. A. (2014). Effects of an acute bout of exercise on memory in 6th grade children. *Pediatric Exercise Sci.* 26, 250–258. doi: 10.1123/pes.2013-0141
- Etnier, J. R., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., and Nowell, P. (1997). The influence of physical fitness and exercise upon cognitive functioning: a meta-analysis. *J. Sport Exercise Psychol.* 19, 249–277. doi: 10.1123/jsep.19.3.249
- Fitts, M., and Posner, M. I. (1967). *Human Performance*. Belmont, CA: Brooks/Cole.
- Hillman, C., Kamijo, K., and Scudder, M. R. (2011). A review of chronic and acute physical activity participation on neuroelectric measures of brain health and cognition during childhood. *Prev. Med.* 52, 21–28. doi: 10.1016/j.ypmed.2011.01.024
- Hillman, C. H., McAuley, E., Erickson, K. I., Liu-Ambrose, T., and Kramer, A. F. (2018). On mindful and mindless physical activity and executive function: a response to Diamond and Ling (2016). *Dev. Cogn. Neurosci.* 37:100529. doi: 10.1016/j.dcn.2018.01.006
- Hötting, K., Schickert, N., Kaiser, J., Röder, B., and Schmidt-Kassow, M. (2016). The effects of acute physical exercise on memory, peripheral BDNF, and cortisol in young adults. *Neural Plast.* 2016:6860573. doi: 10.1155/2016/6860573
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Krampe, R. T., Schaefer, S., Lindenberger, U., and Baltes, P. B. (2011). Lifespan changes in multi-tasking: concurrent walking and memory search in children, young, and older adults. *Gait Posture* 33, 401–405. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.12.012
- Labban, J. D., and Etnier, J. L. (2011). Effects of acute exercise on long-term memory. *Res. Q. Exercise Sport* 82, 712–721. doi: 10.1080/02701367.2011.10599808
- Lehrl, S., Merz, J., Burkhard, G., and Fischer, S. (1991). *Manual zum MWT-A*. Erlangen: Perimed Fachbuch Verlag.

- Li, K. Z. H., Lindenberger, U., Freund, A. M., and Baltes, P. B. (2001). Walking while memorizing: age-related differences in compensatory behavior. *Psychol. Sci.* 12, 230–237. doi: 10.1111/1467-9280.00341
- Li, S.-C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W., and Baltes, P. B. (2004). Transformations in the couplings among intellectual abilities and constituent cognitive processes across the life span. *Psychol. Sci.* 15, 155–163. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.01503003.x
- Lindenberger, U., Marsiske, M., and Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychol. Aging* 15, 417–436. doi: 10.1037/0882-7974.15.3.417
- Liu, F., Sulpizio, S., Kornpetpanee, S., and Job, R. (2017). It takes biking to learn: physical activity improves learning a second language. *PLoS One* 12:e0177624. doi: 10.1371/journal.pone.0177624
- Loprinzi, P. D., Blough, J., Crawford, L., Ryu, S., Zou, L., and Li, H. (2019). The temporal effects of acute exercise on episodic memory function: systematic Review with meta-analysis. *Brain Sci.* 9:87. doi: 10.3390/brainsci9040087
- Mavilidi, M.-F., Okely, A. D., Chandler, P., and Paas, F. (2016). Infusing physical activities into the classroom: effects on preschool children's geography learning. *Mind Brain Educ.* 10, 256–263. doi: 10.1111/mbe.12131
- Mavilidi, M.-F., Okely, A. D., Chandler, P., and Paas, F. (2017). Effects of integrating physical activities into a science lesson on preschool children's learning and enjoyment. *Appl. Cogn. Psychol.* 31, 281–290. doi: 10.1002/acp.3325
- McMorris, T., and Graydon, J. (2000). The effect of incremental exercise on cognitive performance. *Int. J. Sport Psychol.* 31, 66–81.
- Navon, D., and Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychol. Rev.* 86, 214–255. doi: 10.1037/0033-295X.86.3.214
- Ornstein, P. A. (1978). *Memory Development in Children*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum associates.
- Paillard, T. (2015). Preventive effects of regular physical exercise against cognitive decline and the risk of dementia with age advancement. *Sports Med. Open* 1:20. doi: 10.1186/s40798-015-0016-x
- Pesce, C., Crova, C., Cereatti, L., Casella, R., and Bellucci, M. (2009). Physical activity and mental performance in preadolescents: effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health Phys. Act.* 2, 16–22. doi: 10.1016/j.mhpa.2009.02.001
- Roig, M., Nordbrandt, S., Geertsen, S. S., and Bo Nielsen, J. (2013). The effects of cardiovascular exercise on human memory: a review with meta-analysis. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 37, 1645–1666. doi: 10.1016/j.neubiorev.2013.06.012
- Roig, M., Thomas, A. G., Mang, C. S., Snow, N. J., Ostadan, F., Boyd, L. A., et al. (2016). Time-dependent effects of cardiovascular exercise on memory. *Exercise Sport Sci. Rev.* 44, 81–88. doi: 10.1249/JES.0000000000000078
- Schaefer, S. (2014). The ecological approach to cognitive-motor dual-tasking: findings on the effects of expertise and age. *Front. Psychol.* 5:1167. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01167
- Schaefer, S., Schellenbach, M., Lindenberger, U., and Woollacott, M. (2014). Walking in high-risk settings: do older adults still prioritize gait when distracted by a cognitive task? *Exp. Brain Res.* 233, 79–88. doi: 10.1007/s00221-014-4093-8
- Schmidt-Kassow, M., Deusser, M., Thiel, C., Otterbein, S., Montag, C., Reuter, M., et al. (2013). Physical exercise during encoding improves vocabulary learning in young female adults: a neuroendocrinological study. *PLoS One* 8:e64172. doi: 10.1371/journal.pone.0064172
- Schmidt-Kassow, M., Kulka, A., Gunter, T. C., Rothermich, K., and Kotz, S. A. (2010). Exercising during learning improves vocabulary acquisition: behavioral and ERP evidence. *Neurosci. Lett.* 482, 40–44. doi: 10.1016/j.neulet.2010.06.089
- Schmidt-Kassow, M., Zink, N., Mock, J., Thiel, C., Vogt, L., Abel, C., et al. (2014). Treadmill walking during vocabulary encoding improves verbal long-term memory. *Behav. Brain Funct.* 10:24. doi: 10.1186/1744-9081-10-24
- Schneider, W. (2008). The development of metacognitive knowledge in children and adolescents: major trends and implications for education. *Mind Brain Educ.* 2, 114–121. doi: 10.1111/j.1751-228X.2008.00041.x
- Schramke, C. J., and Bauer, R. M. (1997). State-dependent learning in older and younger adults. *Psychol. Aging* 12, 255–262. doi: 10.1037//0882-7974.12.2.255
- Segal, S. K., Cotman, C. W., and Cahill, L. F. (2012). Exercise-induced noradrenergic activation enhances memory consolidation in both normal aging and patients with amnesic mild cognitive impairment. *J. Alzheimer's Dis.* 32, 1011–1018. doi: 10.3233/JAD-2012-121078
- Singh, A. S., Saliassi, E., van den Berg, V., Uijtdewilligen, L., de Groot, R. H. M., Jolles, J., et al. (2018). Effects of physical activity interventions on cognitive and academic performance in children and adolescents: a novel combination of a systematic review and recommendations from an expert panel. *Br. J. Sports Med.* 53, 640–647. doi: 10.1136/bjsports-2017-098136
- Stones, M. J., and Dawe, D. (1993). Acute exercise facilitates semantically cued memory in nursing home residents. *J. Am. Geriatric Soc.* 41, 531–534. doi: 10.1111/j.1532-5415.1993.tb01890.x
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., and Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educ. Psychol. Rev.* 31, 261–292. doi: 10.1007/s10648-019-09465-5
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., and Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educ. Psychol. Rev.* 10, 251–296. doi: 10.1023/A:1022193728205
- Tomporowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychol.* 112, 297–324. doi: 10.1016/S0001-6918(02)00134-8
- Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., and Naglieri, J. A. (2008). Exercise and children's intelligence, cognition, and academic achievement. *Educ. Psychol. Rev.* 20, 111–131. doi: 10.1007/s10648-007-9057-0
- Verburgh, L., Königs, M., Scherder, E. J. A., and Oosterlaan, J. (2014). Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: a meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 48, 973–979. doi: 10.1136/bjsports-2012-091441
- Wechsler, D. (1981). *Wechsler Adult Intelligence Scale - Revised (WAIS-R)*. New York, NY: Psychological Corporation.
- Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A., et al. (2007). High impact running improves learning. *Neurobiol. Learn. Mem.* 87, 597–609. doi: 10.1016/j.nlm.2006.11.003
- Woollacott, M., and Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture* 16, 1–14. doi: 10.1016/S0966-6362(01)00156-4

Conflict of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2020 Amico and Schaefer. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Beitrag 4

Amico, G., & Schaefer, S. (2019). No evidence for performance improvements in episodic memory due to fidgeting, doodling or a “neuro-enhancing” drink. *Journal of Cognitive Enhancement*. doi:10.1007/s41465-019-00124-9

No evidence for performance improvements in episodic memory due to fidgeting, doodling or a “neuro-enhancing” drink

Gianluca Amico & Sabine Schaefer

Author Note

Department of Sport Sciences, Saarland University. Please address correspondence regarding this article to Gianluca Amico (gianluca.amico@uni-saarland.de), Institute for Sport Science, Campus Building B 8.1, Saarland University, 66123 Saarbrücken, Germany. Phone: +49 681 302 2557, Fax: +49 681 302 4091.

Funding

This work was supported by Saarland University.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors would like to thank Daniel Bill, Keito Philippi, Janine Vieweg, and Manuel Zachej for help with data entry and for helpful discussions.

Author Contributions

The authors both contributed equally to this study. S. Schaefer developed the study concept. Both authors contributed to the study design and cooperated in conducting the

literature review. S. Schaefer collected the data. G. Amico analyzed and interpreted the data, with input from S. Schaefer. G. Amico led the drafting of the manuscript, with substantial contributions from S. Schaefer.

Author Note

The data has been presented as an oral presentation at the “50.te Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie” (Meeting of the German Sport Psychology Association), May 2018, Cologne.

Abstract

The media advertises fidgeting devices and nutrition supplements as possible ways to enhance cognition, which often have not been validated. The current study investigates the influence of fidget spinners, stressballs, doodling and a supposedly neuro-enhancing beverage called “Neuronade” on the encoding performance in an episodic memory task using a within-subject design. Sport students ($N = 58$, $M_{age} = 24$ years; 24 women) learned the Method of Loci as an episodic memory strategy. Memory encoding took place under different conditions, administered in a partially counterbalanced order. Compared to the baseline, none of the products resulted in memory enhancements, with the fidget spinner and doodling even reducing performances, and the stressball and the Neuronade not changing cognitive performance. These findings strongly suggest that the scientific community should become more active in investigating claims of supposedly neuro-enhancing products.

Keywords: episodic memory; motor activity; food supplements; cognitive enhancement

No evidence for performance improvements in episodic memory due to fidgeting, doodling or a “neuro-enhancing” drink

Introduction

More and more devices and supplements that promise to enhance attention, motor performance, academic achievement or cognition are advertised in the media. Some of them are grounded on scientific evidence, but most of them are not. One mission of the scientific community is to provide a clear idea of the impact of new products or strategies that have achieved high publicity (see also a statement by the Stanford Center on Longevity and the Max Planck Institute on Human Development, 2014). Consumers should be able to base their decision to buy and use such devices on scientific evidence. Concerning the effectiveness of computerized brain training programs, several meta-analyses have been conducted for specific populations (children: Melby-Lervag & Hulme, 2013; young adults: Au et al., 2016; healthy older adults: Karbach & Verhaegen, 2014, Kelly et al., 2014). The meta-analyses show that computerized brain training over several weeks often leads to performance improvements in the trained domain, but transfer to untrained tasks tends to be weak or nonexistent (see also the study by Owen et al., 2010), indicating that vendors often overemphasize positive effects when advertising their products. In addition to brain training programs, there is also a market for devices that claim to enhance cognition immediately. A study by Steenbergen et al. (2015) put a commercial transcranial direct current stimulation headset (tDCS) that was advertised to improve cognitive performance to the test. They investigated if the stimulation of the prefrontal cortex enhances the performance in a working memory task (2-back and 4-back). However, they found that the examined headset led to performance decrements instead. This example emphasizes the importance of evaluating claims made by vendors concerning cognitive enhancement. The following paragraphs give an overview of tools, supplements and

strategies which are advertised to enhance cognitive performance but still have no or only poor scientific evidence.

Fidgeting, as a behavior of restlessness, excitement, boredom or nervousness shown by small subconscious movements (Galton, 1885), is a main characteristic of patients diagnosed with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). Motor activity can increase working memory in this population (Hartanto, Krafft, Losif, & Schweitzer, 2016). But you can also observe healthy adults and children fidgeting or doodling while talking on the phone, doing home- or office work or while reading a book. It is possible that fidgeting or doodling during a cognitive task increases the perception of flow or optimizes arousal levels and therefore leads to enhanced cognitive performance. However, fidgeting can also be seen as a behavior that occurs when attentional control becomes difficult. For example, Farley, Risko, and Kingstone (2013) assessed self-reported attention and fidgeting while college students watched a 40-minute lecture. Any type of body movement was categorized as fidgeting in this study. While self-reported attention decreased over the course of the lecture, fidgeting behaviors increased over time. Farley et al. (2013) did not find any evidence that fidgeting helps to refocus attention on the lecture. In a similar vein, Carriere, Seli and Smilek (2013) found that increases in self-reported fidgeting were predicted by inattentiveness and spontaneous mind wandering.

Many forms of fidgeting include the manipulation of external objects. One very famous fidgeting device, which is said to improve cognition, is the fidget spinner. It consists of two or three prongs with a bearing in the center. Users hold the center pad while the device spins. Being an international success in 2017, it was sold over 1 million times in Germany (Bundesverband des Spielwaren-Einzelhandels, 2017) and accounted for 17 percent of all toys sold daily during May 2017 in the United States (blog post by Plewman, 2018). It is categorized as a fidget toy, which is a group of items used to occupy your hands in a non-

disturbing and socially accepted way during a cognitive task. The fidget spinner is not only marketed as toy, but also as a therapeutic tool promising improvements in attention, stress management, school grades, and the reduction of anxiety. These purported effects are currently discussed among therapists (Biel, 2017; Schecter, Shah, Fruitmann, & Milanaik, 2017). There is some empirical evidence that fidget spinners can improve learning of fine motor tasks in young adults. Cohen, Bravi, and Minciacchi (2018) randomly distributed participants across three groups, whose task was to (a) rotate a fidget spinner (fidget group), (b) simply hold a fidget spinner (sham group), or (c) do nothing (control group). Before and after this 1-minute movement episode, participants were asked to trace a spiral, with an emphasis on tracing-accuracy. Tracing accuracy increased in the posttest for both the fidget and the sham group, but not for the control group. The authors conclude that improvements in fine motor control may be related to the general manipulation of objects, instead of the rotation of a fidget spinner. It is currently unclear whether the use of fidget spinners can improve cognition. According to the vendors, the use of a fidget spinner should have a positive effect on attention and focus and therefore should also affect the encoding performance in a memory task. The current study aims to evaluate these proposed effects.

Another famous tool is the stressball. It is regularly used in physical therapy after surgery (Chinchalkar & Pipicelli, 2009). In addition, the media advertises the stressball as a fidget toy. The purported effects range from improvements in attention and cognition to stress- and anxiety reduction. Although there is almost no evidence for the claimed effects, numerous articles and books recommend the use of a stressball for ADHD patients (Day, 2010; Steer & Horstmann, 2009). The number of intervention studies concerning this topic is very small. What we know so far is that the use of a stressball can significantly lower perceived anxiety and pain (Hudson, Ogden, & Whiteley, 2015). Concerning cognitive enhancement, Stalvey and Brasell (2006) tested 29 six-grade students in a 7-week intervention study. The students could use stressballs during class. The authors could show that the use of

stressballs improved attention and lowered the number of distractions (playing with hair, objects, task-unrelated gross-motor activities) during class. The children also improved in writing performance from pre- to posttest, but the lack of a control group does not allow this effect to be attributed to stressball use. Therefore the second aim of the current study is to further evaluate the effects of stressballs on cognitive performance.

Concerning other motor acts like scribbling or doodling, it is not yet clear whether they are helpful or disruptive during a cognitive task. You could argue that doodling is a behavior that expresses boredom or inattentiveness (Gupta, 2016). However, Andrade (2010) could show that doodling (shading squares and circles) improved memory performance. She asked 40 participants to listen to a recorded phone call and to memorize target names that occur in the tape. Some participants were encouraged to doodle to “relieve boredom” while listening to the tape. Participants from the doodling group outperformed those who had not doodled in the name recall task. They also achieved higher scores in a surprise test of additional information that had been mentioned on the tape, but had not been considered relevant during encoding (e.g., specific locations or reasons for why a participant could not attend the party). In contrast, a study by Boggs, Cohen, and Marchand (2017) did not find that unstructured (free doodling) or structured doodling (shading shapes) improved memory performance. In their study, participants were asked to listen to a taped conversation, and they were aware that they would be asked quiz questions about the conversation later. Their results showed lower memory performance for the unstructured doodling group compared to the structured group or a group that had been taking notes. Boggs et al. (2017) argue that differences in doodling style (structured versus unstructured) influence the ability to memorize the material, since free doodling requires cognitive resources. The studies by Andrade (2010) and Boggs et al. (2017) both used a memory task to evaluate the effects of different doodling interventions. Based on their contradictory results, the third goal of this

study is to investigate the effects of doodling on the encoding performance in an episodic memory task.

In addition to fidgeting and doodling, many people try to enhance their cognitive performance with the intake of supplements (Greely et al., 2008), especially in cognitively challenging professions or during exams. A survey by Maher (2008) that included 1,400 readers of the journal *Nature* showed that about 20% of the respondents claimed to have used drugs (i.e., Ritalin, Provigil and Beta-blocker) for non-medical reasons to stimulate their focus, concentration or memory. In addition to drugs requiring a prescription, non-pharmaceutical products like energy drinks or vitamin supplements are available on the market, claiming to also increase cognitive performances. As one example out of many supplements available, we decided to investigate a drink called “Neuronade”, which is advertised as a neuro-enhancing drink. The main ingredients are plant extracts of the *Bacopa monnieri* (180 mg per portion), the *Ginkgo biloba* (50 mg), and the *Rhodiola rosea* (300 mg). The vendors of Neuronade promise on their webpage that the intake of the drink will lead to reduced fatigue and enhanced attention and mental performance (Volke, 2018). They base these claims on the effects of the drinks’ ingredients, but do not refer to any scientific studies, and do not provide reasons for the exact dosage of individual ingredients.

We searched the scientific literature for these substances. A review article from Pase et al. (2012) concludes that the *Bacopa monnieri* can be seen as a neuro-enhancer when taken over several weeks, leading to improvements in free recall memory tests. There was little evidence for enhancements in other cognitive domains. Concerning acute effects, a randomized controlled trial by Nathan, Clarke, Lloyd, Hutchison, Downey, and Stough (2001) did not find any differential improvements in a neuropsychological test battery 2 hours after consumption of 300 mg of *Bacopa monnieri*. Benson, Downey, Stough, Wetherell, Zangara, and Scholey (2014) used a within-subject design and compared the effect of a placebo to the

consumption of 320 mg or 640 mg of *Bacopa monnieri* in 17 healthy volunteers. Participants worked on four cognitive tasks (Mental Arithmetic, Stroop, Letter Search, and Visual Tracking) simultaneously in a multitasking environment. The overall multitasking score was not affected differentially by any of the three treatments, but there were some improvements one or two hours after *Bacopa monnieri* consumption for Letter search and Stroop tasks.

Downey et al. (2013) assessed counting backwards by 3s, counting backward by 7s, and a rapid visual information-processing task 6 times after the consumption of a placebo or 320 mg or 640 mg of *Bacopa monnieri*. Some differential performance improvements were found in the first, second, and fourth repetition post-dosing for the counting-backwards tasks after the consumption of 320 mg. Taken together, acute effects of the *Bacopa monnieri* on cognitive performance remain inconclusive.

Concerning the *Ginkgo biloba*, a meta-analysis from Weinmann, Roll, Schwarzbach, Vauth, and Willich (2010) reports that *Ginkgo biloba* has positive effects on cognition in dementia patients if used in intervention trials lasting several months. Acute effects in healthy young adults have been investigated by Kennedy, Scholey, and Wesnes (2000). In a crossover, double-blind design, participants consumed 120 mg, 240 mg, or 360 mg of *Ginkgo biloba* or a placebo, and were tested on a battery of cognitive tests immediately prior to dosing, or at 1, 2.5, 4 and 6 hours thereafter. Cognitive performances were categorized into four factors, namely speed of attention, accuracy of attention, speed of memory and quality of memory. Compared with the placebo, *Ginkgo biloba* led to a dose-dependent improvement in the speed of attention factor at 2.5 and 6 hours after consumption. Some other time- and dose-specific positive and negative changes were found in performance of the other cognitive factors, but there was no consistent relationship between the changes.

Concerning the *Rhodiola rosea*, two reviews come to the conclusion that the effects on physical and mental performance and on mental fatigue are contradictory (Hung, Perry, &

Ernst, 2011; Ishaque, Shamseer, Bukutu, & Vohra, 2012). Many studies on *Rhodiola rosea* have investigated its' effect on physical fatigue, but mental fatigue has also been assessed. A study by Shevstov et al. (2003) recruited 161 young male cadets. Participants performed several cognitive tests (scanning lines of rings for targets, reconstructing series of digits, rearranging numbers) that all required sustained attention. The tests were administered in the evening (baseline) and after medication in the middle of the following night duty. Participants were randomly distributed into four groups: no treatment, placebo, 370 mg of *Rhodiola rosea*, 555 mg of *Rhodiola rosea*. An antifatigue index, based on performance changes in the cognitive tests, was calculated. The two groups who had received *Rhodiola rosea* showed lower levels of mental fatigue compared to the control and placebo groups. Analyses of individual subtests revealed that these effects were due to more scanned rings and fewer incorrect responses in the "scanning rings" test, and fewer errors in the "rearranging numbers" test.

In sum, the pattern of empirical results concerning cognitive improvements in healthy young adults caused by the ingredients of Neuronade seems inconclusive. The fact that Neuronade has been for sale since 2014 and has not yet been investigated empirically leads us to the fourth and final goal of the study. The product is especially advertised for students and professions with high cognitive demands. Therefore, we wanted to investigate the acute effects of Neuronade on a memory task, such as learning a word list.

The current study instructed healthy young adults in a mnemonic technique, Method of Loci, to encode word lists. Introducing the memory strategy Method of Loci, ensured that everyone used the same strategy, thus reducing variability in performance that can result from choosing different strategies. After some practice, participants were asked to encode the word lists while doodling, while tracing symbols, while rotating a fidget spinner, while kneading a stressball, or after the consumption of Neuronade or a placebo drink. The order of these

conditions was partially counterbalanced with a 3 x 3 Latin square across participants. The aim was to collect empirical evidence concerning the claim that these products enhance cognitive performances.

Method

Participants

Due to the lack of published data in the domains of interest, effect sizes of previous interventions could not be used for a priori power analyses. We assumed the effects to be small, but also acknowledged that we might find the opposite pattern of results (performance decrements), if the motor activity creates a dual-task situation. We reasoned that testing almost 60 students distributed across three seminar groups would be a sufficiently large sample for our study. Fifty-eight sport students from the Saarland University participated in the study ($M_{\text{age}} = 23.57$ years; age range = 20 – 33 years; 22 women) in exchange for course credit. All participants had normal or corrected-to-normal vision and hearing and gave informed consent to the study. Participants were distributed across 3 seminar groups with $n = 18$ in group 1, $n = 16$ in group 2, and $n = 24$ in group 3. As background variable, perceptual speed was measured with the Digit-Symbol Substitution task (Wechsler, 1981). An ANOVA with seminar group as between-subjects factor showed no differences in perceptual speed across the three groups, $F(2,46) = 2.635, p = .083$ (see Table 1)¹. In addition, Digit Symbol scores corresponded well to young adults' samples of other representative studies (see, for example, Schmiedek, Lövdén, & Lindenberger, 2010). The study was approved by the Ethics committee of Saarland university.

Table 1

Cognitive Background Information by Seminar Group: Digit Symbol test score

¹ Please note that there were missing data on the Digit Symbol for 9 participants who missed the respective session.

Group	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>95% CI</i>
1	17	67.06	7.00	[63.46, 70.66]
2	10	75.20	7.57	[69.79, 80.61]
3	22	68.82	10.94	[63.97, 73.67]

Note. CI = confidence interval of the mean

Experimental tasks

Method of Loci Task. The Method of Loci task (MoL) was administered in a similar fashion to Kliegl, Smith, & Baltes (1990), Li, Lindenberger, Freund, & Baltes (2001), and Schaefer, Krampe, Lindenberger, & Baltes (2008). In general, participants learn a sequence of location cues. In the current study, cues were 20 locations that exist in every apartment (e.g., bed, trashcan, table, kitchen sink). To-be-learned words were taken from Brehmer, Stoll, Bergner, Benoit, von Oertzen, & Lindenberger (2005) and consisted of German nouns that can be easily imagined, like objects, animals or professions. Participants received lists of 20 words, read out aloud by the experimenter with an inter-stimulus-interval of 3 seconds. They were instructed to encode the to-be-learned word by combining it with the respective location cue via mental imagery. Subjects were encouraged to include aspects like object size, sound, touch, emotions or movement depending on their personal preferences. For example, when encoding the word “frog” at the location “bed”, a participant could imagine a huge slimy frog sitting on his bed. Encoding and recall was cued, since subjects always had access to a list of the 20 locations in correct order on a sheet of paper in front of them. Immediately after presentation of the last word, participants wrote down the remembered words at the respective locations. There was no time limit for recall. Two lists were administered in each session, with a break of about 30 to 50 minutes filled with academic activities for the seminar. Twenty-two MoL lists had been constructed and were distributed randomly across the experimental sessions for each seminar group, to control for potential differences in the task-

difficulty of individual lists. The dependent variable for MoL was the sum of correctly remembered words at the correct location. To encourage learning of the sequence of locations, participants were asked to reconstruct the list of 20 locations at the beginning of each session. To increase motivation, the three most successful candidates of each seminar received monetary rewards (15 Euro, 10 Euro, 5 Euro) at the end of the semester.

Interventions. In order to test for the influence of motor activities on encoding, participants performed different additional motor tasks dependent on the test condition. Test materials were always handed out to the participants at the start of the respective seminar session. In the "fidget spin" condition, a typical three-lobed fidget spinner had to be rotated. In the "stressball" condition, a stressball had to be kneaded while encoding the to-be-learned words. There were no additional instructions given on how the spinner should be rotated or the ball kneaded, except that subjects should not perform any tricks and should try not to drop the devices. In the "symbol tracing" condition, participants were instructed to trace as many symbols as possible while encoding the words. In the "doodling" condition, participants were encouraged to use the sheet of paper in any way they wanted, as long as they produced any type of continuous doodling while encoding. The DIN A4 sheets for the "doodling" and "symbol tracing" condition contained a total of 210 symbols, which were divided into 21 rows, alternating between rows of ten circles and rows of 10 squares. The diameter of the circles and the side length of the squares were 0.75 cm. After presentation of the to-be-learned words, participants immediately stopped the respective motor activities and recalled the words without any concurrent motor task, by writing them down as usual.

To investigate the effect of the Neuronade, participants consumed a drink in the "Neuronade" condition and a placebo drink in the "placebo" condition. The drinks were consumed approximately 5 minutes before the first trial of the cognitive task, since the vendors do not provide any information on how to optimize the effects of their product. The

Neuronade extract was dissolved in water according to the instructions on the backside of the product. The participants were free to drink a second glass. The maximum intake of three portions per day, specified by the manufacturers, was not exceeded. The placebo drink was a mixture of cold fruit tea and grape juice that tasted similar to the Neuronade.



















Procedure

The study consisted of 11 testing sessions for each group, with one session per week per group. Table 2 presents an overview of the testing regime. In the first session all participants completed a demographic questionnaire, the Digit-Symbol Substitution test and 2 trials of a memory task, similar to the MoL task explained above, except that the participants had no instructions of any memory strategy before and there were no location cues given on the answer sheet. In the second session, the experimenter explained the MoL as a memory strategy, emphasizing the importance of individual preferences for specific aspects of the strategy (e.g., size, movement, emotion). Then a list of 20 places, which exist in every apartment, was presented and the participants were asked to mentally visualize these places in their home. At the end of the instruction session and in the third session, the MoL was trained with two trials in each session. Session 3 provided the data for the baseline pretest assessment. On each of the following 6 sessions, participants completed 2 trials of the MoL task, with one out of the 6 conditions described above. The order of these conditions was counterbalanced across the test groups according to a 3 x 3 Latin square design, in which the two sessions of a similar condition were always administered in succession (fidget-spin-stressball, doodling-symbol-tracing, Neuronade-placebo-drink). This was the best compromise between practical feasibility (i.e. using a specific order of conditions in each seminar group) and controllability of possible carry over effects. In week 10, participants completed 2 trials of the MoL task without any additional task (baseline posttest). In pretest and baseline posttest sessions, a Face-Name Association task was assessed with one trial. In the last session, the MoL task was

repeated eight times in every group, using newly constructed lists of words that had already been tested previously. The resulting data sets are used for testing transfer and interference between successive lists, and will not be reported here.

Table 2

Experimental Procedure by Seminar Group and Session

Session Number	Group 1	Group 2	Group 3
1	Pretest	Pretest	Pretest
2	Instruction	Instruction	Instruction
3	Baseline Pretest	Baseline Pretest	Baseline Pretest
4	Fidget Spinner 	 Symbol Tracing	Neuronade 
5	 Stressball	Doodling 	Placebo 
6	Neuronade 	Fidget Spinner 	 Symbol Tracing
7	Placebo 	 Stressball	Doodling 
8	 Symbol Tracing	Neuronade 	Fidget Spinner 
9	Doodling 	Placebo 	 Stressball
10	Baseline Posttest	Baseline Posttest	Baseline Posttest
11	Posttest 2	Posttest 2	Posttest 2

Analyses

The MoL task was analyzed with a total of 3 repeated-measures analyses of variance (ANOVA), with one ANOVA for each pair of similar conditions. The sample sizes vary slightly between the analyses due to participants who missed individual sessions. F values and partial Eta square values for effect sizes are reported. The alpha level used to interpret statistical significance in the analyses was .05. Significant main effects were further investigated by planned paired-samples *t*-tests with Bonferroni corrected levels of significance to $p < .016$. For all *t*-tests, we present Cohen's d_z effect sizes.

Results

In all following analyses we compare the different task conditions to the baseline of the respective condition, in which participants performed no additional task. To control for practice effects, we calculated an individual baseline for each participant.² First we calculated the mean change per session for each participant by subtracting the MoL score of the baseline pretest (session 3) from the baseline posttest session (session 10) divided by the total number of sessions between the baseline pretest (session 3) and the baseline posttest (session 10). Now, starting from the individual performance at the pretest (session 3), we added the mean change per session for each session in between pretest and the respective condition. Because each analysis considered 2 conditions from consecutive sessions, the performance adaptation generated by the training was averaged over 2 sessions (see for e.g. group 1, where the fidget spin condition was in week 4, one week after the pretest session, and the stressball condition was in week 5, two weeks after the pretest session. Thus, group 1's baseline was adjusted by adding the individual mean change per session 1,5 times to the individual pretest performance.

A paired samples *t*-test indicates significantly higher scores for the posttest session ($M = 17.56$, $SD = 2.48$) than for the pretest session ($M = 15.00$, $SD = 3.94$), $t(49) = -6.74$, $p < .001$, $d_z = .953$. However, the counterbalancing in a 3 x 3 Latin Square design and adjusting the baseline performance with estimated trainings induced effects controlled for the influence of training over the course of the study. We also conducted an overall ANOVA comparing all conditions (baseline, fidget spin, stressball, doodling, symbol tracing, Neuronade, placebo) that only included the 27 participants who had not missed a session. The pattern of results did not differ to the result presented here.

Fidget Toys

² we thank an anonymous reviewer for this suggestion.

The ANOVA with condition (3: baseline, fidget spin, stressball) was conducted to investigate the effects of the fidget spinner and the stressball on cognitive performance. This analysis is based on the data of 49 participants. Figure 1a depicts the pattern of findings. Cronbach's Alpha reliability coefficients across the three conditions were high ($\alpha = .87$). The results show a significant main effect of condition, $F(2,48) = 13.16, p < .001, \eta^2_p = .215$. Paired-samples t -tests show that cognitive performance was worse for the fidget spin condition ($M = 14.79, SD = 3.16$) compared to the baseline condition ($M = 16.48, SD = 3.12$), $t(48) = 5.46, p < .001, d_z = .780$. However, no difference was detected between the stressball ($M = 15.90, SD = 2.64$) and the baseline condition ($M = 16.48, SD = 3.12$), $t(48) = 1.73, p = .09, d_z = .247$. The comparison of the fidget toys showed that kneading a stressball ($M = 15.90, SD = 2.64$) leads to better performance in the MoL task compared to rotating a fidget spinner ($M = 14.79, SD = 3.16$), $t(48) = -3.11, p < .016, d_z = .444$.

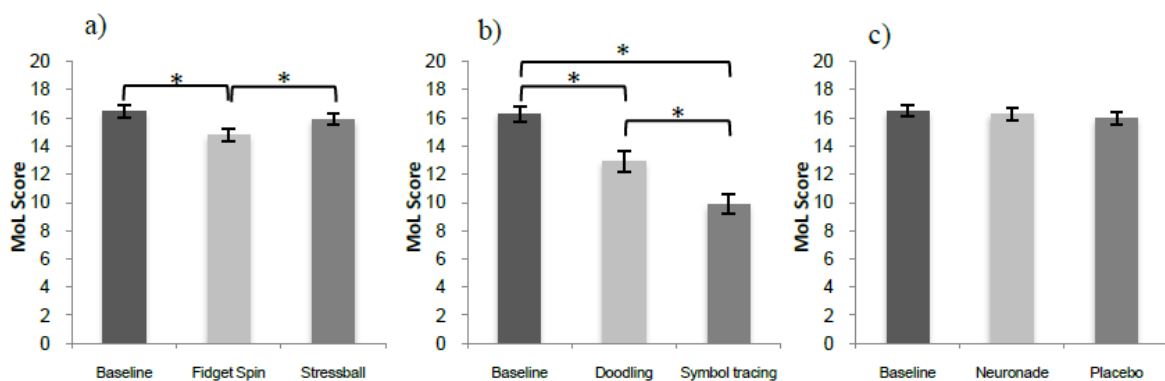


Figure 1. Results for the MoL task in the baseline, fidget spin, stressball, doodling, symbol tracing, Neuronade, and placebo condition. Error bars = SE means.

Doodling/Symbol tracing

To investigate the influence of doodling and symbol tracing, an ANOVA with condition (3: baseline, doodling, symbol tracing) was carried out. This analysis is based on 37 participants. Thirty-nine participants provided data for the conditions, but two subjects did not comply with the “symbol tracing” instructions, so these participants were excluded from data

analyses. Cronbach's Alpha reliability coefficients across the three conditions were high ($\alpha = .81$). Figure 1 b depicts the findings. The results show a significant main effect of condition, $F(2,36) = 57.68, p < .001, \eta^2_p = .616$. As expected, the follow up analyses revealed that the symbol tracing condition ($M = 9.86, SD = 4.15$) led to a reduction in cognitive performance compared to the baseline condition ($M = 16.27, SD = 3.19$), $t(36) = 11.72, p < .001, d_z = 1.927$. However, doodling ($M = 12.91, SD = 4.60$) also led to performance decrements compared to the baseline condition ($M = 16.27, SD = 3.19$), $t(36) = 5.30, p < .001, d_z = .871$. This result was contrary to previously published results by Andrade (2010). However, cognitive performance was still better in the doodling condition ($M = 12.91, SD = 4.60$) compared to the symbol tracing condition ($M = 9.86, SD = 4.15$), $t(36) = 5.03, p < .001, d_z = .827$. The current study did not measure symbol-tracing performance under single task conditions. But since tracing decreased MoL performances, it is possible that participants tracing more symbols declined more strongly in their MoL performances. On average, participants traced 20 symbols during one trial ($SD = 8.64$). However, a correlation between the number of traced symbols and the MoL performance decrement from the baseline condition to the symbol tracing condition did not reach significance, $r = .051, p = .763$.

Neuronade

An ANOVA with condition (3: baseline, Neuronade, placebo) was conducted to investigate the effects of the Neuronade on cognitive performance (see Figure 1 c). The analysis is based on 45 participants. Cronbach's Alpha reliability coefficients across the three conditions were high ($\alpha = .86$). The results show that neither the Neuronade nor the placebo drink influenced recall performance. This is demonstrated by the non-significant main effect of condition, $F(2,44) = .94, p = .394, \eta^2_p = .021$. This result clearly shows that Neuronade did not enhance cognitive performance.

Discussion

This study provides empirical tests for the effects of different products that are supposed to enhance cognition. We found that rotating a fidget spinner, doodling and the tracing of objects clearly reduce cognitive performance and that the stressball and the Neuronade do not improve cognitive performance in an episodic memory task. Fidgeting, doodling and the tracing of objects all require motor actions. When performed concurrently with episodic memory encoding, the pattern of results can be related to dual-task research. Studies on dual-tasking often report performance decrements in one or both tasks, due to attentional resources that have to be shared between them (Guttentag, 1989; Kahneman, 1973; Navon & Gopher, 1979; Schaefer, 2014). Episodic memory encoding with the MoL task has been shown to suffer from concurrent walking (Li et al., 2001; Lindenberger, Marsiske, & Baltes, 2000) or balancing (Schaefer et al., 2008) across the lifespan. In a similar vein, Chan (2012) could show that doodling during a cognitive task leads to performance decrements if the cognitive task addresses the same modality as doodling. Participants who doodled while encoding visual images performed less well on a subsequent recognition task than those who did not doodle. In the current study, visual attention was not needed while participants constructed their mental images for the MoL task. However, it is possible that mental imagery (creating an image in one's head) also interferes with visual processing. Not surprisingly, performance decrements were most pronounced in the tracing-objects condition, which was most demanding concerning visual attention, perception, and motor performances. However, there was no correlation between the number of traced objects and the performance decrement in MoL. In order to investigate potential trade-offs between two tasks, future studies should measure performances in all tasks under single- and dual-task conditions (Schaefer, 2014) and they should include task combinations that produce a very low conceptual or central processing conflict with the fidgeting and doodling tasks.

Additional open issues concern the generalizability across different cognitive tasks: All subjects had been trained in the MoL memory strategy, which decreased interindividual

variability in performance caused by different memory strategies. Does performance in other episodic memory tasks, or in short-term memory or working memory tasks or in executive control tasks also suffer from concurrent fidgeting or doodling? And when does kneading a stressball, which did not influence episodic memory performance in the current study, exert an influence on cognition? There are studies using hand clenching as a means to increase activation of specific cortical regions that are relevant for episodic memory tasks (Propper, Mc Graw, Brunyé, & Weiss, 2013). In these paradigms, participants are instructed to squeeze a rubber ball “as hard as they can” before encoding or before the recall phase. Performance increases have been found if the hemisphere responsible for the upcoming task (left hemisphere for encoding, right hemisphere for retrieval) was activated (Propper et al., 2013). In the current study, participants were not instructed to exert maximum force while kneading the stressball. Stressball kneading took place during encoding, and subjects were free to choose the left or right hand for kneading. Future research should investigate whether positive effects on episodic memory can be found if the time course of activation, hemispheric asymmetry, or force is manipulated.

Manipulation in the current study only took place during encoding. There is research showing that memory performances suffer if encoding and retrieval take place in different contexts (Godden & Baddeley, 1975; Grant et al., 1998). Asking people to perform fidgeting or doodling activities during encoding and retrieval could therefore lead to superior levels of performance.

The current study did not find performance improvements induced by a fidget spinner in university students. Fidget toys are especially popular among children, and are advertised to help reduce the effects of ADHD. Positive effects could occur in younger age groups and in ADHD patients. For example, a study by Hartanto et al. (2016) could show that children and teenagers diagnosed with ADHD showed more physical activity (measured by an ankle

actometer) while working on a flanker task compared to healthy controls. Movement frequency and intensity were assessed in relation to task performance on a trial-by-trial basis. More intense movement was associated with better performance in ADHD, but not in the typically developing children. Within the group of ADHD patients, higher intensity movement occurred in their correct trials as compared to error trials, while there was no such relationship in the control group. The authors suggest that excessive motor activity in ADHD patients may reflect compensatory efforts to modulate attention and alertness (see also Sarver, Rapport, Kofler, Raiker, and Friedman, 2015). However, a recent study by Graziano, Garcia, and Landis (2018) reported poorer attention in very young ADHD children using fidget spinners in a classroom setting.

The current study instructed participants to perform a specific motor action during encoding (rotating the spinner, kneading the stressball, tracing the symbols, or doodling). Although these activities were not framed as “tasks” with specific performance requirements, they did not lead to performance improvements in the memory task. Instead, memory performance deteriorated, except in the stressball condition, in which it remained unchanged. In everyday life, people who fidget are usually able to freely choose the type of movement or activity. It is possible that chances to find performance improvements are higher if people are given a choice of different fidgeting or movement behaviors. However, the findings by Farley et al. (2013) and by Carriere et al. (2013) indicate that fidgeting can also be seen as a byproduct of decreased attention and mind wandering, instead of an effective way to compensate for it, so future research is needed to elucidate these questions.

We did not assess whether our participants tend to fidget when solving cognitive tasks in everyday life. It is possible that people who often fidget also profit more from it. In a similar vein, we could have assessed their experience with fidget spinners, which have become very popular in the last year. However, since the strongest interest seems to be in

elementary school-aged children, we consider it unlikely that many students in our sample use these devices excessively. Based on performance advantages in motor learning after acute fidget spinner use, Cohen et al. (2018) argue that fidget spinners could lead to long-term benefits in motor control, for example through more experience with manipulating objects or increases in motor dexterity.

We presented the stimuli in the memory task in fixed inter-stimulus-intervals. This could have interfered with the individual preference of resource allocation and therefore also with the preferred usage of the devices. If so, it would be interesting to test the investigated devices in a memory task where the participants can direct their attention freely. Framing the symbol tracing condition in a different way (instead of "trace as many symbols as possible" → "trace some symbols") could have led to a different pattern of task-prioritization, with smaller costs in MoL. Furthermore, it is interesting that participants continued to work on the doodling and tracing tasks, although performance in these tasks were not rewarded.

Comparing the stressball and the doodling conditions with the fidget spin and the symbol tracing conditions, participants were more restricted in the way they had to use the devices (e.g. keep the fidget spinner rotating or trace the symbols) in the latter conditions. This can be one reason for the decrement in MoL performance we found in the fidget spin and symbol tracing conditions compared to their respective comparison task.

Regarding the Neuronade, which did not lead to increases in episodic memory, further aspects may have contributed to the current results. Our participants consumed about one portion, as recommended in the instructions for use. It is possible that a larger dose would have produced positive results. The studies presented in the Introduction usually applied higher dosages of the individual ingredients than the current study (e.g., Benson et al., 2014; Kennedy et al., 2000; Nathan et al., 2001). Another aspect that needs to be mentioned is the time of intake. In the current study the participants drank the Neuronade approximately 5

minutes before the first trial of the memory task. Even if there was not enough time for the ingredients to fully unfold their effect before the first trial, the Neuronade should have shown its effect in the second trial. To investigate this question, a post-hoc *t*-test was calculated, showing no significant difference of cognitive performance between the first ($M = 16.28$, $SD = 3.44$) and the second trial ($M = 15.94$, $SD = 3.51$) of the Neuronade condition, $t(49) = .883$, $p = .382$, $d_z = .125$. The results of this study clearly show that Neuronade neither improves nor worsens cognitive performance measured in the same session. Future research should investigate whether there are any long-term effects on cognition. However, a study by Nathan et al. (2004) investigated a range of cognitive processes in young adults who received a combination of *Gingko biloba* and *Bacopa monniera* for 2 or 4 weeks. Nathan et al. (2004) investigated short-term and working memory, verbal learning, memory consolidation, executive processes, planning and problem solving, information processing speed, motor responsiveness and decision-making. The study showed that the combined extract did not exert any significant effects on cognition compared to placebo. Nevertheless, the substances could be useful in different populations, like older adults (Calabrese et al., 2008; Roodenrys et al., 2002; but see Solomon, Adams, Silver, Zimmer, & De Veaux, 2002) or dementia patients (Weinman et al., 2010). Given that the target group for Neuronade advertising seems to be university students, who often have to encode new learning material into long-term memory, the results of the current study do not support the claims of the vendors.

The current study's sample consisted of university sport students which might differ in some aspects from other young adults (e.g. diet, body composition etc.). It is an open question whether students of other disciplines would show a different pattern of results.

To summarize, the fact that none of the examined products increases cognition in the advertised way strongly supports our request that the scientific community should investigate the claims of supposedly neuro-enhancing products more actively.

References

- “A Consensus on the Brain Training Industry from the Scientific Community,” Max Planck Institute for Human Development and Stanford Center on Longevity, accessed June 22nd, 2018, <http://longevity.stanford.edu/a-consensus-on-the-brain-training-industry-from-the-scientific-community-2/>
- Andrade, J. (2010). What does doodling do? *Applied Cognitive Psychology*, *24*, 100–106. DOI: 10.1002/acp.1561
- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuhl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin and Review*, *22*, 366-377. DOI: 10.3758/s13423-014-0699-x
- Benson, S., Downey, L. A., Stough, C., Wetherell, M., Zangara, A., & Scholey, A. (2014). An acute, double-blind, placebo-controlled cross-over study of 320 mg and 640 mg doses of Bacopa monnieri (CDRI 08) on multitasking stress reactivity and mood. *Phytotherapy Research*, *28*, 551-559. doi: 10.1002/ptr.5029
- Biel, L. (2017). Fidget toys or focus tools? *Autism File*, *74*, 12-13. Retrieved from <https://www.sensorismarts.com/AADJun17.pdf>
- Boggs, J. B., Cohen, J. L., & Marchand, G. C. (2017). The effects of doodling on recall ability. *Psychological Thought*, *10*, 206–216. doi: 10.5964/psyc.v10i1.217
- Brehmer, Y., Stoll, G., Bergner, S., Benoit, R., Oertzen, T., & Lindenberger U. (2005). Selection of high-imagery words for the study of episodic memory. *Technical Report, Saarland University*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11780/211>. Cited on 05.06.2018
- Bundesverband des Spielwaren-Einzelhandels (2017). Fidget Spinner: Umsatz knackt Millionen-Euro-Grenze. In Pressemitteilung " Deutsche im Handkreiselfieber". Retrieved from https://www.bvspielwaren.de/PDF/2017-05-24_PM_BVS-FidgetSpinner.pdf. Cited on 05.06.2018.
- Calabrese, C., Gregory, W. L., Leo, M., Kraemer, D., Bone, K., & Oken, B. (2008). Effects of a standardized Bacopa monnieri extract on cognitive performance, anxiety, and depression in the elderly: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, *14*, 707-713. doi: 10.1089/acm.2008.0018
- Carriere, J. S. A., Seli, P., & Smilek, D. (2013). Wandering in both mind and body: Individual differences in mind wandering and inattention predict fidgeting. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *67*, 19-31. doi: 10.1037/a0031438
- Chan, E. (2012). The negative effect of doodling on visual recall task performance. *UBCUJP*, *1*, 59-64. Retrieved from <http://ojs.library.ubc.ca/index.php/ubcujp/article/view/2526>. Cited on 25.06.2018.
- Chinchalkar, S. J., & Pipicelli, J. G. (2009). Addressing Extensor Digitorum Communis adherence after metacarpal fracture with the use of a circumferential fracture brace. *Journal of Hand Therapy*, *22*, 377-381. doi: 10.1016/j.jht.2009.06.005

- Cohen, E. J., Bravi, R., & Minciocchi, D. (2018). The effect of fidget spinners on fine motor control. *Nature*, 8, 3144. DOI: 10.1038/s41598-018-21529-0
- Day, L. (2010). Building blocks of ADHD. *Early Years Educator*, 12, 36-38. doi: 10.12968/eyed.2010.12.6.78595
- Downey, L. A., Kean, J., Neme, F., Lau, A., Poll, A., Gregory, R., Stough, C. (2013). An acute, double-blind, placebo-controlled crossover study of 320 mg and 640 mg doses of a special extract of *Bacopa monnieri* (CDRI 08) on sustained cognitive performance. *Phytotherapy Research*, 27, 1407-1413. doi: 10.1002/ptr.4864
- Farley, J., Risko, E. F., & Kingstone, A. (2013). Everyday attention and lecture retention: The effects of time, fidgeting, and mind wandering. *Frontiers in Psychology*, 4, 1-9. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00619
- Galton, F. (1885). The measure of Fidget. *Nature*, 32, 174-175. doi:10.1038/032174b0
- Godden, D. R., & Baddeley, A. D. (1975). Context-dependent memory in two natural environments: On land and underwater. *British Journal of Psychology*, 66, 325-331. doi: 0.1111/j.2044-8295.1975.tb01468.x
- Grant, H. M., Bredhal, L. C., Clay, J., Ferrie, J., Groves, J. E., Mc Dorman, T. A., & Dark, V. J. (1998). Context-dependent memory for meaningful material: Information for students. *Applied Cognitive Psychology*, 12, 617-623. doi: 10.1002/(SICI)1099-0720(199812)12:6<617::AID-ACP542>3.0.CO;2-5
- Graziano P. A., Garcia, A. M., & Landis, D. L. (2018). To fidget or not to fidget, that is the question: A systematic classroom evaluation of fidget spinners among young children with ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 1-9. doi: 10.1177/1087054718770009
- Greely, H., Sahakian, B., Harris, J., Kessler, R. C., Gazzaniga, M., Campbell, P., & Farah, M. J. (2008). Towards responsible use of cognitive enhancing drugs by the healthy. *Nature*, 456, 702-705. doi: 10.1038/456702a
- Gupta, S. (2016). Doodling: The artistry of the roving metaphysical mind. *Journal of Mental Health and Human Behaviour*, 21, 16-19. doi: 10.4103/0971-8990.182097
- Guttentag, R. E. (1989). Age differences in dual-task performance: Procedures, assumptions, and results. *Developmental Review*, 9, 146-170. doi: 10.1016/0273-2297(89)90027-0
- Hartanto, T. A., Krafft, C. E., Losif, A. M., & Schweitzer, J. B. (2016). A trial by trial analysis reveals more intense physical activity is associated with better cognitive control performance in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Child Neuropsychology*, 22, 618-626. doi: 10.1080/09297049.2015.1044511
- Hudson, B. F., Ogden, J., & Whiteley, M. S. (2015). Randomized controlled trial to compare the effect of simple distraction interventions on pain and anxiety experienced during conscious surgery. *European Journal of Pain*, 19, 1447-1455. doi: 10.1002/ejp.675
- Hung, S. K., Perry, R., & Ernst, E. (2011). The effectiveness and efficacy of *Rhodiola rosea* L.: A

- systematic review of randomized clinical trials. *Phytomedicine*, *18*, 235-244. doi: 10.1016/j.phymed.2010.08.014
- Ishaque, S., Shamseer, L., Bukutu, C., & Vohra, S. (2012). Rhodiola rosea for physical and mental fatigue: A systematic review. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, *12*, 70. doi: 10.1186/1472-6882-12-70
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Karbach, J., & Verhaeghen, P. (2014). Making working memory work: A meta-analysis of executive-control and working memory training in older adults. *Psychological Science*, *25*, 2027-2037. doi: 10.1177/0956797614548725
- Kelly, M. E., Loughrey, D., Lawlor, B. A., Robertson, I. H., Walsh, C., & Brennan, S. (2014). The impact of cognitive training and mental stimulation on cognitive and everyday functioning of healthy older adults: A systematic review and meta-analysis. *Aging Research Reviews*, *15*, 28-43. doi: 10.1016/j.arr.2014.02.004
- Kennedy, D. O., Scholey, A. B., & Wesnes, K. A. (2000). The dose-dependent cognitive effects of acute administration of Ginkgo biloba to healthy young volunteers. *Psychopharmacology*, *151*, 416-423. doi: 10.1007/s002130000501
- Kliegl, R., Smith, J., & Baltes, P. (1990). On the locus and process of magnification of age differences during mnemonic training. *Developmental Psychology*, *26*, 894-904. doi: 10.1037/0012-1649.26.6.894
- Li, K. Z. H., Lindenberger, U., Freund, A. M., & Baltes, P. B. (2001). Walking while memorizing: Age-related differences in compensatory behavior. *Psychological Science*, *12*, 230-237. doi: 10.1111/1467-9280.00341
- Lindenberger, U., Marsiske, M., & Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: Increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging*, *15*, 417-436. doi: 10.1037//0882-7974.15.3.417
- Maher, B. (2008). Poll results: Look who's doping. *Nature*, *452*, 674-675. doi: 10.1038/452674a
- Melby-Lervag, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, *49*, 270-291. doi: 10.1037/a0028228
- Nathan, P. J., Clarke, J., Lloyd, J., Hutchison, C. W., Downey, L., & Stough, C. (2001). The acute effects of an extract of Bacopa monniera (Brahmi) on cognitive function in healthy normal subjects. *Human Psychopharmacology*, *16*, 345-351. doi: 10.1002/hup.306
- Nathan, D. M., Tanner, S., Lloyd, J., Harrison, B., Curran, L., Oliver, C., & Stough, C. (2004). Effects of a combined extract of Ginkgo biloba and Bacopa monniera on cognitive function in healthy humans. *Human Psychopharmacology*, *19*, 91-96. doi: 10.1002/hup.544
- Navon, D., & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review*, *86*, 214-255. doi: 10.1037/0033-295X.86.3.214
- Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S., Ballard, C. G.

- (2010). Putting brain training to the test. *Nature*, *465*, 775-779. doi: 10.1038/nature09042
- Pase, M. P., Kean, J., Sarris, J., Neale, C., Scholey, A. B., Stough, C. (2012). The cognitive-enhancing effects of *Bacopa monnieri*: A systematic review of randomized, controlled human clinical trials. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, *18*, 1-6. doi: 10.1089/acm.2011.0367
- Plewman, R. (2018). In it to spin it: Fidget Spinners now account for 17 percent of all daily toy sales. [webpage] Retrieved from <http://intelligence.slice.com/blog/2017/spin-fidget-spinners-now-account-17-percent-daily-toy-sales>. Cited on 18.06.2018.
- Propper, R. E., McGraw, S. E., Brunyé, T. T., & Weiss, M. (2013). Getting a grip on memory: Unilateral hand clenching alters episodic recall. *Plos One*, *8*, e62474. doi: 10.1371/journal.pone.0062474
- Roodenrys, S., Booth, D., Bulzomi, S., Phipps, A., Micallef, C., & Smoker, J. (2002). Chronic effects of Brahmi (*Bacopa monnieri*) on human memory. *Neuropsychopharmacology*, *27*, 279-281. doi: 10.1016/S0893-133X(01)00419-5
- Sarver, D. E., Rapport, M. D., Kofler, M. J., Raiker, J. S., & Friedman, L. M. (2015). Hyperactivity in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): Impairing deficit or compensatory behavior? *Journal of Abnormal Child Psychology*, *43*, 1219-1232. doi: 10.1007/s10802-015-0011-1
- Schaefer, S. (2014). The ecological approach to cognitive-motor dual-tasking: Findings on the effects of expertise and age. *Frontiers in Psychology*, *5*, 1-9. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01167
- Schaefer, S., Krampe, R. T., Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (2008). Age differences between children and young adults in the dynamics of dual-task prioritization: Body (balance) versus mind (memory). *Developmental Psychology*, *44*, 747-757. doi: 10.1037/0012-1649.44.3.747
- Schechter, R. A., Shah, J., Fruitman, K., & Milanaik, R. L. (2017). Fidget spinners: Purported benefits, adverse effects and accepted alternatives. *Current Opinion in Pediatrics*, *29*, 616-618. doi: 10.1097/MOP.0000000000000523
- Schmiedek, F., Lövdén, M., & Lindenberger, U. (2010). Hundred days of cognitive training enhance broad cognitive abilities in adulthood: Findings from the COGITO study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *2*, 1-10. doi: 10.3389/fnagi.2010.00027
- Shevtsov, V. A., Zholus, B. I., Shervarly, V. I., Vol'skij, V. B., Korovin, Y. P., Khristich, M. P., Wikman, G. (2003). A randomized trial of two different doses of a SHR-5 *Rhodiola rosea* extract versus placebo and control of capacity for mental work. *Phytomedicine*, *10*, 95-105. doi: 10.1078/094471103321659780
- Solomon, P. R., Adams, F., Silver, A., Zimmer, J., & De Veaux, R. (2002). Ginkgo for memory enhancement: A randomized controlled trial. *JAMA*, *288*, 835-840. doi: 10.1001/jama.288.7.835
- Stalvey, S., & Brasell, H. (2006). Using stress balls to focus the attention of sixth-grade learners. *Journal of At-Risk Issues*, *12*, 7-16.

- Steenbergen, L., Sellaro, R., Hommel, B., Lindenberger, U., Kühn, S., & Colzato, L. (2015). "Unfocus" on *foc.us*: Commercial tDCS headset impairs working memory. *Experimental Brain Research*, 234, 637-643. doi: 10.1007/s00221-015-4391-9
- Steer, J., & Horstmann, K. (2009) *Helping Kids and Teens with ADHD in School*. London and Philadelphia: Jessica Kingsley Publishers.
- Volke, C., (2018, June 06). 12er Pack Neuronade® Think Drink [Webpage]. Retrieved from <https://neuronade.com/shop/neuronade-12er-pack/>
- Wechsler, D. (1981). *Wechsler Adult Intelligence Scale - Revised (WAIS-R)*. New York: Psychological Corporation.
- Weinmann, S., Roll, S., Schwarzbach, C., Vauth, C., & Willich, S. (2010). Effects of Ginkgo biloba in dementia: Systematic review and meta-analysis. *BMC Geriatrics*, 10:14. doi: 10.1186/1471-2318-10-14