

Aus dem Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin
Abteilung für Molekulare und Zelluläre Sportmedizin
der Deutschen Sporthochschule Köln
Geschäftsführender Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Bloch

Effekte akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen

Von der Deutschen Sporthochschule Köln
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Sportwissenschaft

angenommene Dissertation

vorgelegt von:

Max Oberste-Frielinghaus

aus

Köln

Köln 2020

Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Wilhelm Bloch

Zweiter Gutachter: JProf. Dr. Dr. Philipp Zimmer

Vorsitzende/r des Promotionsausschusses: Univ.-Prof. Dr. Mario Thevis

Datum der Disputation: 21.09.2020

Eidesstattliche Versicherungen gem. § 7 Abs. 2 Nr. 4 und 5 der Promotionsordnung
der Deutschen Sporthochschule Köln, 20.02.2013:

Hierdurch versichere ich:

Ich habe diese Arbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen
Quellen und technischen Hilfen angefertigt; sie hat noch keiner anderen Stelle zur
Prüfung vorgelegen. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile
davon, sind als Zitate kenntlich gemacht worden.

Hierdurch erkläre ich, dass ich die „Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis“ der
Deutschen Sporthochschule Köln eingehalten habe.

Köln, 12.05.2020

Inhaltsverzeichnis

I. Zusammenfassung	1
II. Summary of the doctoral thesis	4
1. Einleitung	6
2. Wissenschaftlicher Hintergrund	9
2.1 Interferenzneigung und Interferenzkontrolle	9
2.1.2 Testverfahren zur Messung von Interferenzkontrollleistungen	13
2.2 Forschungsstand und Erklärungsmodelle der Wirkung akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen	17
2.2.1 Aktueller Forschungsstand	17
2.2.2 Erklärungsmodelle ausdauerbelastungsinduzierter Verbesserungen kognitiver Leistungen	20
2.3 Kritik der methodischen Qualität existierender Studien	22
2.3.1 Die Bedeutung der internen Validität im experimentellen Design	23
2.3.2 Die Art der Kontrollgruppe als Determinante interner Validität	24
2.3.2 Lerneffekte als Determinante interner Validität	28
2.3.2 Die Messung der Interferenzkontrollleistung als Determinante der Konstruktvalidität	29
3. Fragestellungen	32
4. Methoden und Ergebnisse	33
5. Diskussion	40
5.1 Ergebnisdiskussion	40
5.2 Methodendiskussion	48
6. Schlussfolgerung und Ausblick	51
7. Literaturverzeichnis	54
8. Abbildungsverzeichnis	68

I. Zusammenfassung

Einmalige Ausdauerbelastungen können anschließende kognitive Leistungen verbessern. Doch gilt dies auch für junge, gesunde Erwachsene, die sich auf dem Höhepunkt ihrer körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit befinden? Einige Wissenschaftler halten das für unwahrscheinlich. Sie bezweifeln, dass bei jungen, gesunden Erwachsenen noch Potentiale für kurzfristige, kognitive Leistungszuwächse bestehen. Die Vertreter dieses Standpunktes erklären die in der Literatur existierenden, positiven Effekte als Resultat von Verzerrungen, die aufgrund methodischer Schwächen der betreffenden Studien entstehen sollen. Als zentrale methodische Kritikpunkte werden aufgeführt: (i) Der Einsatz passiver Kontrollgruppen (bspw. Warten, Lesen oder Fernsehen), gegen die die einmalige Ausdauerbelastung hinsichtlich nachfolgender kognitiver Benefits getestet wird; (ii) die nicht-Beachtung von möglichen Lerneffekten beim Einsatz von kognitionspsychologischen Testverfahren (keine Gewöhnung an die Testverfahren im Vorfeld der Untersuchung); (iii) die Verwendung von Testvariablen mit zweifelhafter Gültigkeit (bspw. keine Trennung der basalen Informationsverarbeitungskapazität von der eigentlich im Fokus der Studie stehenden kognitiven Leistungskomponente)

In dieser Arbeit wird explizit untersucht, ob die genannten methodischen Kritikpunkte die Ergebnisse von Studien zum Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende kognitive Leistungen verzerren. Dabei stehen die Effekte einer einmaligen Ausdauerbelastung auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen im Fokus. Die Interferenzkontrolle ist eine kognitive Subdomäne. Sie ist Teil der exekutiven Funktionen und beschreibt die Fähigkeit, Verarbeitungskonflikte, die zwischen einem Ziel-Stimulus und Störreizen auftreten, zu kontrollieren. Die Interferenzkontrolle wird exklusiv in dieser Arbeit behandelt, weil sie die mit Abstand am meisten untersuchte kognitive Subdomäne im Akutbelastungs-Kognitions-Paradigma ist. Nur diese breite empirische Datenbasis ermöglicht meta-analytische Moderatorenanalysen zum Einfluss der methodischen Kritikpunkte.

Die vorliegende Arbeit berichtet von zwei Studien und einem Review. In der ersten Studie wurde versucht, die (zum Teil) in der Literatur berichteten, positiven Effekte akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen zu replizieren. Die oben genannten, methodischen Mängel wurden dabei jedoch vermieden. Die Ergebnisse der Studie konnten positive Effekte akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen nicht bestätigen.

Um zu überprüfen, ob die nicht-Replizierbarkeit positiver Effekte auf die Verwendung passiver Kontrollgruppen in existierenden Studien zurückzuführen ist, wurde eine zweite Studie durchgeführt. Diese erfasste die Erwartungen, die junge, gesunde Erwachsene an passive Kontrollgruppenbehandlungen und an akute Ausdauerbelastungen hinsichtlich kognitiver Benefits haben. Erwartungen sind wirkungsmächtig, da sie das Verhalten der Probanden beeinflussen können. Man spricht dann von Placebo-Effekten. Anders als vermutet, zeigten sich jedoch keine höheren Erwartungen an akute Ausdauerbelastungen als an passive Kontrollgruppenbehandlungen.

In einem abschließenden systematischen Review mit Meta-Analyse konnte gezeigt werden, dass der Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen zwar signifikant aber lediglich klein ist. Die geringe Größe des Effekts kann die Nicht-Replizierbarkeit positiver Effekte in der ersten Studie erklären. Die statistische Power der ersten Studie war zu gering, um einen signifikanten, kleinen Effekt zu zeigen. Eine meta-analytische Moderatorenanalyse im Rahmen des systematischen Reviews machte außerdem deutlich, dass keines der oben aufgeführten methodischen Mängel den Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen moderiert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass einmalige Ausdauerbelastungen selbst bei jungen, gesunden Erwachsenen Interferenzkontrollleistungen verbessern können. Die oben genannten methodischen Kritikpunkte können die positiven Effekte nicht erklären. Der Effekt ist jedoch lediglich klein. Die Alltagsrelevanz belastungsinduzierter Verbesserungen der Interferenzkontrollleistung bei jungen, gesunden Erwachsenen dürfte daher gering sein. In

Situationen mit sehr hohen Anforderungen an die Interferenzkontrollleistung, wie bspw. im eSport Bereich, könnten kleine Vorteile jedoch bereits einen entscheidenden Unterschied bedeuten. Andere Zielgruppen, die bereits unter kognitiven Leistungsminderungen leiden, könnten hinsichtlich kognitiver Benefits erheblich stärker von akuten Ausdauerbelastungen profitieren.

II. Summary of the doctoral thesis

A single session of endurance exercise can improve subsequent cognitive performances. Nevertheless, does this hold also true for young and healthy adults that are at the peak of their physical and mental capacity? Some researchers think that this is unlikely. They have doubts whether young and healthy adults still have the potential for short-term increases of their cognitive performances. Representatives of this standpoint explain the positive effects reported in the literature with bias that should result from methodological weaknesses of the studies concerned. As central points of criticism regarding the methodology of existing research, they list: (i) the usage of passive control groups (e.g., waiting, reading, or watching TV), against which the acute endurance exercise is tested for subsequent cognitive benefits, (ii) the lack of control for potential learning effects when using cognitive psychological testing procedures (lack of habituation to testing procedures prior to the actual examination); (iii) the usage of test variables with questionable validity (no separation of basic information processing capacity from the cognitive performance component that is actually investigated in the study)

In this thesis, a potential biasing influence of the above-mentioned methodological points of criticism is explicitly investigated. Thereby, the effects of acute endurance exercise induced effects on subsequent interference control performances in young and healthy adults are in focus. Interference control is a cognitive subdomain. It is part of executive functioning and describes the ability to control cognitive conflicts that occur between processing a target-stimulus and distractor-stimuli. In this thesis, interference control is exclusively investigated because it is, by far, the most investigated cognitive subdomain in the acute exercise-cognition paradigm. Only this broad database allows meta-analytical moderator analyses regarding the influence of the methodological points of criticism.

This thesis reports about two studies and one systematic review. In the first study, it was attempted to replicate the positive effects of acute endurance exercise on subsequent

interference control performances in young and healthy adults as they are (partly) reported in the literature. However, the above-mentioned methodological shortcomings were avoided. The results of that study did not confirm positive effects of acute endurance exercise on subsequent interference control performances in young and healthy adults.

In order to investigate whether the usage of passive control groups in existing studies might be responsible for the failed replication of positive effects in the first study a second study was conducted. This study captured the expectations that young and healthy adults have towards passive control group treatments and towards acute endurance exercise regarding cognitive benefits. Expectations are powerful as they can influence the behavior of participants. This is commonly understood as placebo effects. However, different to what was expected, the second study did not show higher expectations towards acute endurance exercise than towards passive control group treatments regarding cognitive benefits.

In a final systematic review with meta-analysis, it was shown that the effect of acute endurance exercise on subsequent interference control performances in young and healthy adults is significant but small. The small size of the effect can explain the failed replication of a positive effect in the first study. The statistical power of the first study was too small to show a significant small effect. Moreover, a meta-analytic moderator analysis made clear that none of the above listed methodological shortcomings moderate the effect of acute endurance exercise on subsequent interference control performances.

To conclude, acute endurance exercise can improve subsequent interference control performances even in young and healthy adults. The above-mentioned methodological points of criticism cannot explain these positive effects. However, the effect is small. Therefore, relevance of acute endurance exercise induced interference control benefits for everyday living is likely to be rather marginal. On the contrary, in situations with high demands for interference control performance, like in eSports, small benefits could be decisive. Other groups, already suffering from cognitive decline should benefit much stronger from acute endurance exercise.

1. Einleitung

In den vergangenen zwei Jahrzehnten ist die Frage, ob einmalige bzw. akute Ausdauerbelastungen nachfolgende höhere kognitive Funktionen verbessern können, zunehmend in den Fokus des wissenschaftlichen Interesses gerückt. Die meiste Evidenz dazu existiert zum Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen (Pontifex et al., 2019). Die Interferenzkontrolle ist eine kognitive Subdomäne und wird zu den exekutiven Funktionen gezählt (Diamond, 2013). Sie beschreibt die Fähigkeit, Verarbeitungskonflikte, die zwischen einem Ziel-Stimulus und Störreizen auftreten, zu kontrollieren. (Häcker, 2014). Interferenzkontrollleistungen sind essenziell für die Bewältigung unseres Alltags. Sie sind wesentlich an allen zielgerichteten, planvollen Handlungen und an Lernprozessen beteiligt (Cragg, 2016).

Die Ergebnisse einer Vielzahl von Studien sprechen für positive Wirkungen akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen (vgl. bspw. Alves et al., 2014; Cooper et al., 2016; Park & Etnier, 2019). Evidenzsynthesen bestätigen diesen Eindruck und berichten übereinstimmend von positiven Gesamt-Effekt Schätzern (Chang, Labban, Gapin, & Etnier, 2012; Ludyga, Gerber, Brand, Holsboer-Trachsler, & Pühse, 2016). Die vorhandenen Übersichtsarbeiten liefern jedoch keine Differenzierung der Effekte nach Altersgruppen. Somit bleibt unklar, ob akute Ausdauerbelastungen nachfolgende Interferenzkontrollleistungen auch bei jungen, gesunden Erwachsenen verbessern können. Zweifel daran erwächst aus der Tatsache, dass sich junge, gesunde Erwachsene auf dem Höhepunkt ihrer körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit befinden (Hartshorne & Germine, 2015; Thompson, Blair, & Henrey, 2014). Es ist unklar, ob bei ihnen überhaupt noch Potential für kognitive Verbesserungen durch akute Ausdauerbelastungen vorhanden ist (Stillman et al., 2016; Whitley et al., 2016).

Untersuchungen zu den Effekten akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen, die ausschließlich junge, gesunde Erwachsene einschließen, zeichnen ein durchaus widersprüchliches Bild (vgl. bspw. Chang et al., 2017; Douris et al.,

2018; Hwang et al., 2016). Darüber hinaus weisen zahlreiche dieser Studien methodische Schwächen auf, die die Gültigkeit ihrer Ergebnisse in Zweifel ziehen. Zentrale methodische Kritikpunkte sind:

- Der Einsatz passiver Kontrollgruppen (bspw. Warten, Lesen oder Fernsehen), gegen die die einmalige Ausdauerbelastung hinsichtlich nachfolgender kognitiver Benefits getestet wird
- Die nicht-Beachtung von möglichen Lerneffekten beim Einsatz von kognitionspsychologischen Testverfahren (keine Gewöhnung an die Testverfahren im Vorfeld der Untersuchung)
- Die Verwendung von Testvariablen mit zweifelhafter Gültigkeit (bspw. keine Trennung der basalen Informationsverarbeitungskapazität von der eigentlich im Fokus der Studie stehenden kognitiven Leistungskomponente)

Nach einem einführenden Teil, der den wissenschaftlichen Hintergrund zu Effekten akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen umreißt, wird in der vorliegenden Arbeit von drei Untersuchungen berichtet. In der ersten Studie wurde versucht, die (zum Teil) in der Literatur berichteten, positiven Effekte zu replizieren. Dabei wurden allerdings die oben genannten und in bereits existierenden Studien weit verbreiteten methodischen Schwachpunkte vermieden. In der zweiten Studie wurde untersucht, ob die Verwendung passiver Kontrollgruppen zu einer Überschätzung des Effekts akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen beitragen könnte. In einem abschließenden systematischen Review mit Meta-Analyse wurde ein Gesamteffektschätzer im Rahmen einer Meta-Analyse bestimmt. Dabei wurde auch eine meta-analytische Moderatorenanalyse durchgeführt, die die Moderation der in der Literatur berichteten Effekte durch die oben aufgeführten methodischen Mängel überprüfte.

Im Rahmen der Diskussion der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse und die Methodik der durchgeführten Studien kritisch beleuchtet. Es erfolgt eine Einordnung der Alltagsrelevanz potentieller Effekte. Die Arbeit schließt mit einer Schlussfolgerung und einem Ausblick.

2. Wissenschaftlicher Hintergrund

Das folgende, einführende Kapitel soll dem Leser ein grundlegendes Verständnis für die Konstrukte der Interferenzneigung und Interferenzkontrolle vermitteln. Die Erläuterungen dazu umfassen auch eine Beschreibung des kognitionspsychologischen Testparadigmas, mithilfe dessen Interferenzkontrollleistungen messbar gemacht werden können. Anschließend wird der aktuelle Forschungsstand zur Wirkung akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen vorgestellt. Verbreitete Modellvorstellungen dazu, wie akute Ausdauerbelastungen kognitive Leistungen beeinflussen könnten, werden beschrieben. Das Kapitel schließt mit einer kritischen Betrachtung der Methodik und der Identifizierung zentraler methodischer Schwächen existierender Studien.

2.1 Interferenzneigung und Interferenzkontrolle

John Ridley Stroop stellte Anfang des 20. Jahrhunderts fest, dass seine Probanden die Druckfarbe eines Wortes langsamer und fehleranfälliger benennen, wenn das Wort semantisch eine von der Druckfarbe abweichende Farbe ausdrückt (Stroop, 1935). Ein ähnliches Phänomen beobachteten Richard Simon und Alan Rudell Ende der Sechzigerjahre des vergangenen Jahrhunderts. Ihre Probanden bekamen über Kopfhörer die Anweisungen „rechts“ oder „links“ in zufälliger Abfolge auf das rechte oder linke Ohr gespielt. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, entsprechend des Inhalts der akustischen Anweisung, so schnell und so korrekt wie möglich, einen links- bzw. rechtsseitigen Knopf zu drücken. Obwohl die akustische Lokalisation (linkes bzw. rechtes Ohr) für die Erfüllung dieser Aufgabe eigentlich völlig irrelevant war, brauchten die Probanden länger und machten mehr Fehler, wenn die akustische Lokalisation nicht der inhaltlichen Anweisung entsprach (Simon & Rudell, 1967). In den Siebzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts stellten Barbara und Charles Eriksen fest, dass ihre Probanden die Richtung eines zentral dargebotenen Pfeils langsamer und

fehleranfälliger bestimmten, wenn dieser durch, in die jeweils andere Richtung deutende Pfeile, flankiert wurde (Eriksen & Eriksen, 1974). Stroop-, Simon- und Flanker-Effekt sind Beispiele für die kognitive Interferenzneigung (Hart, Radua, Nakao, Mataix-Cols, & Rubia, 2013). Wenn Zielreiz und Störreize gleichzeitig dargeboten und somit gleichzeitig verarbeitet werden, kommt es zu Leistungseinbußen, wenn die auf den Ziel-Stimulus erwünschte Handlung inkompatibel zu der Reaktion ist, die die Störreize nahelegen (Häcker, 2014).

Während der Begriff der Interferenzneigung das Phänomen eines kognitiven Verarbeitungskonflikts zwischen Ziel-Stimulus und Störreizen akzentuiert, unterstreicht der Begriff der Interferenzkontrolle die kognitive Auflösung dieses Verarbeitungskonflikts. Den Probanden, die Stroop-, Simon- oder Flanker-Aufgaben bearbeiten, gelingt es schließlich, die entstehenden Verarbeitungskonflikte aufzulösen und das Zielverhalten zu zeigen. Interferenzkontrolle beschreibt die kognitive Leistung, die dazu notwendig ist, um ablenkende Informationen zu ignorieren bzw. durch Störreize nahegelegte, zum Ziel-Stimulus inkompatible Reaktionen, zu unterdrücken. Interferenzkontrolle ist ein Kernaspekt der exekutiven Funktionen, ein Sammelbegriff für höhere kognitive Leistungen mit denen der Mensch sein Verhalten und Denken in Interaktion mit seiner Umwelt steuert (Lezak, Howieson, Bigler, & Tranel, 2012; Müller, Hildebrandt, & Münte, 2004; Seiferth & Thienel, 2013).

Ein verbreitetes kognitionspsychologisches Modell, das zur Beschreibung von Interferenzneigung und Interferenzkontrolle herangezogen wird, ist das Modell des „Supervisory Attentional System“ von Norman und Shallice (Norman & Shallice, 1980; Shallice, 1982). Nach diesem Modell basieren routinierte Handlungen auf der Aktivierung und Ausführung von „Schemata“. Schemata stellen erlernte Verarbeitungssequenzen dar und können bspw. durch sensorische Informationen aktiviert werden. Wenn ein Schema aktiviert wird und wenn keine höhere kognitive Funktion im Sinne von hemmenden top-down Prozessen eingreift, läuft die Informationsverarbeitung inklusive Verhaltensantwort automatisiert ab.

Bei routinierten Handlungen koordiniert der sogenannte „Contention Scheduler“ den Einsatz der Schemata. Der Contention Scheduler wird als ein automatischer kognitiver Prozessor niedriger Ordnung verstanden (Friedenberg & Silverman, 2012). Im Rahmen von Interferenzkontrollleistungen müssen aktivierte Schemata, wie bspw. die Verarbeitung der semantischen Bedeutung eines Farbwortes, gehemmt und andere Schemata, wie bspw. die Verarbeitung der Druckfarbe des Wortes, aktiviert werden. Nur so gelingt es, die Aufgabe zu lösen und das Zielverhalten, die Benennung der Druckfarbe des Wortes, zu ermöglichen. Dazu wird, zusätzlich zum Contention Scheduler, das „Supervisory Attentional System“ aktiviert. Das Supervisory Attentional System ist ein kognitiver Prozessor höherer Ordnung. Es kontrolliert den Contention Scheduler über top-down Prozesse (Friedenberg & Silverman, 2012). Getriggerte Schemata, die für das Zielverhalten hinderlich sind, werden gehemmt bzw. deaktiviert. Gleichzeitig werden Schemata, die das Zielverhalten ermöglichen, aktiviert (Alexander & Brown, 2010). Das Supervisory Attentional System hat jedoch nur eine begrenzte Verarbeitungskapazität. Die Grenzen dieser Kapazität drücken sich bei Aufgaben, die Interferenzkontrolle bedürfen, in einer verzögerten Reaktionszeit und einer höheren Fehleranfälligkeit aus.

Neuroanatomisch kommt dem präfrontalen Kortex eine zentrale Rolle bei Interferenzkontrollleistungen zu (Müller et al., 2004). Gläscher und Kollegen zeigten, dass Patienten mit Läsionen in diesem Bereich deutlich eingeschränkte Leistungen im Rahmen der Stroop-Aufgabe aufweisen (Gläscher et al., 2012). Funktionelle magnetresonanztomographische Aufnahmen während Stroop-, Simon oder Flanker-Aufgabe unterstreichen die Bedeutung des präfrontalen Kortex im Rahmen von Interferenzkontrollleistungen (Cai & Leung, 2011; Cieslik, Mueller, Eickhoff, Langner, & Eickhoff, 2015).

Der präfrontale Kortex lässt sich funktionell in die folgenden Regionen unterteilen: Den ventralen präfrontalen Kortex, den orbitofrontalen Kortex, den mediofrontalen Kortex (speziell den anterioren cingulären Kortex) und den dorsolateralen Kortex (Passingham, 1993). Vor

allen der letzteren Region wird bezüglich kognitiver Kontrolle eine bedeutende Rolle zugesprochen (Ullsperger & Derrfuß, 2012). Menschen mit Schädigungen im Bereich des dorsolateralen präfrontalen Kortex zeigen Auffälligkeiten in allen Subkomponenten der exekutiven Funktionen (Miller & Cummings, 2007). Auch einem weiter posterior im lateralen präfrontalen Cortex gelegenen Areal, dem inferioren-frontalen Kreuzungsareal wird funktionelle Beteiligung an Interferenzkontrollleistungen zugesprochen (Derrfuss, Brass, Neumann, & von Cramon, 2005). Funktionelle Bedeutungen im Rahmen von Interferenzkontrollleistungen werden auch für den orbitofrontalen (Fuster, 2001) und den anterioren cingulären Kortex (Swick & Jovanovic, 2002) diskutiert.

Klinische Befunde dysexekutiver Syndrome bei Patienten mit völlig intakten präfrontalen Strukturen machen deutlich, dass Interferenzkontrollleistungen keine isoliert präfrontal gesteuerten kognitiven Leistungen darstellen. Interferenzkontrollleistungen basieren auf einem neuronalen Netzwerk, das weite Hirnareale funktionell miteinschließt (Cieslik et al., 2015). Nach dem Modell der fronto-striato-thalamo-frontalen Schleifensysteme sind die dorsolateralen, orbitofrontalen und anterioren cingulären Bereiche des präfrontalen Kortex mit spezifischen Regionen des Striatums, des Globus pallidus bzw. der Substantia nigra und des Thalamus über ein parallel verlaufendes System verbunden. Insgesamt unterscheidet man fünf solcher fronto-striato-thalamo-frontalen Schleifensysteme, wovon drei mit höheren kognitiven, emotionalen und motivationalen Funktionen in Verbindung gebracht werden (Cummings, 1995; Miller & Cummings, 2007; Müller et al., 2004). Im Hinblick auf Interferenzkontrollleistungen scheinen vor allem die dorsolaterale und die orbitofrontale Schleife von Bedeutung zu sein. Patienten mit Schädigungen im Bereich der dorsolateralen Schleife zeigen sehr ähnliche Symptome wie Patienten mit direkter Schädigung des dorsolateralen präfrontalen Kortex (Fuster, 2001; Paus, Castro-Alamancos, & Petrides, 2001). Patienten mit Schädigungen der orbitofrontalen Schleife zeigen neben Veränderungen der Persönlichkeit und emotionaler Instabilität auch Einschränkungen von Interferenzkontrollleistungen (Prigatano, 1992).

2.1.2 Testverfahren zur Messung von Interferenzkontrollleistungen

Die klassischen kognitionspsychologischen Testverfahren zur Messung von Interferenzkontrollleistungen sind die Stroop-, Simon- und Flanker-Aufgabe (Cieslik et al., 2015; Pontifex et al., 2019; Seiferth & Thienel, 2013). Diese Tests folgen grundsätzlich dem gleichen Prinzip. Die Testpersonen werden instruiert, so schnell und so korrekt wie möglich auf einen definierten Zielstimulus zu reagieren. Anschließend bearbeiten sie eine Reihe von Aufgaben in einer neutralen bzw. kongruenten und in einer inkongruenten Testbedingung.

In der neutralen bzw. kongruenten Testbedingung bestehen die Aufgaben aus einem Ziel-Stimulus, der von neutralen Reizen oder Reizen umgeben ist, die die gleiche Antwortreaktion hervorrufen wie der Ziel-Stimulus. So besteht die kongruente Bedingung der Stroop-Aufgabe aus Farbwörtern, deren Druckfarbe und semantische Bedeutung identisch sind. Der Proband soll dabei die Druckfarbe des Wortes benennen. Bei der Simon-Aufgabe besteht die kongruente Bedingung aus einer akustisch über einen Kopfhörer dargebotenen Seiteninformation (rechts oder links), die auf das Ohr entsprechend der Seiteninformation gespielt wird. Der Proband soll dabei eine linke oder rechte Taste entsprechend der Seiteninformation drücken. Bei der Flanker-Aufgabe besteht die neutrale Bedingung darin, dass ein zentral dargebotener Pfeil, der nach rechts oder links zeigt, von identischen Pfeilen flankiert wird. Die Probanden sollen eine linke oder rechte Taste entsprechend der Richtung des zentralen Pfeils drücken. Zur Verdeutlichung werden Items der neutralen/kongruenten Bedingung der Stroop-, Simon- und Flanker-Aufgabe in der linken Spalte von Tabelle 1 exemplarisch dargestellt.

In der neutralen/kongruenten Testbedingung entstehen keine Verarbeitungskonflikte. Ziel-Stimulus und Störreize induzieren keine inkompatiblen Reaktionstendenzen. Die Testleistung der Probanden in der neutralen/kongruenten Bedingung ist damit nicht von ihrer Interferenzkontrollleistung abhängig. Sie spiegelt vielmehr basale Wahrnehmungs-, Aufmerksamkeits-, Verarbeitungs- und Motorikleistungen (basale Informationsverarbeitungskapazität) wider.

In den Aufgaben der inkongruenten Testbedingung ist der Ziel-Stimulus von Reizen umgeben, die eine mit dem auf den Ziel-Stimulus erwünschten Zielverhalten inkompatible Reaktion nahelegen. So besteht die inkongruente Bedingung der Stroop-Aufgabe aus Farbwörtern, deren Druckfarbe von ihrer semantischen Bedeutung abweicht. Bei der Simon-Aufgabe besteht die inkongruente Bedingung aus einer akustisch über einen Kopfhörer dargebotenen Seiteninformation (rechts oder links), die auf das zur Seiteninformation entgegengesetzte Ohr gespielt wird. Bei der Flanker-Aufgabe besteht die inkongruente Bedingung darin, dass ein zentral dargebotener Pfeil, der nach rechts oder links zeigt, von Pfeilen flankiert wird, die in die zum zentralen Pfeil entgegengesetzte Richtung zeigen. Zur Verdeutlichung werden Items der inkongruenten Bedingung der Stroop-, Simon- und Flanker-Aufgabe in der rechten Spalte von Tabelle 1 exemplarisch dargestellt.


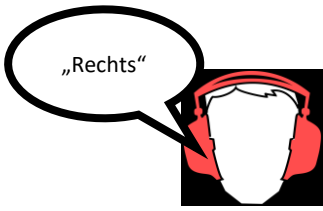



In der inkongruenten Testbedingung kommt zu Verarbeitungskonflikten und Interferenzkontrolle wird benötigt, um die Testaufgabe zu lösen. Die Testleistung der Probanden in der inkongruenten Bedingung ist damit nicht nur von ihrer basalen Informationsverarbeitungskapazität, sondern zusätzlich von ihrer Interferenzkontrollleistung abhängig. Die Folge ist, dass die Probanden in der inkongruenten Testbedingung, verglichen mit der kongruenten Testbedingung, längere Reaktionszeiten und eine höhere Anzahl an Fehlern zeigen.

Als Maß für die Interferenzkontrollleistung der Probanden werden ihre Testleistungen (Bearbeitungszeit und Anzahl der Fehler) in der neutralen/kongruenten Bedingung mit ihren entsprechenden Testleistungen in der inkongruenten Bedingung ins Verhältnis gesetzt. Das ermöglicht, die Interferenzkontrollleistung von der basalen Informationsverarbeitungskapazität der Probanden zu isolieren (Eriksen & Eriksen, 1974; Golden, 1978; Simon & Rudell, 1967; Simon, Proctor, & Reeve, 1990; Stroop, 1935). Zum genauen arithmetischen Vorgehen zu diesem Zweck existieren verschiedene Ansätze. Die verbreitetste Methode ist die simple Subtraktion der Testleistung in der neutralen/kongruenten Testbedingung von der Testleistung in der inkongruenten Testbedingung (van Mourik, Oosterlaan, & Sergeant, 2005).

Eine zusammenfassende Übersicht zu Stroop-, Flanker- und Simon-Aufgabe ist in Tabelle 1 dargestellt. Weniger verbreitete Testverfahren zur Messung von Interferenzkontrollleistungen, wie das Antisaccade-Paradigma können bspw. bei Cieslik und Kollegen oder Hallett (Cieslik et al., 2015; Hallett, 1978) nachgelesen werden.

Die Zielvariablen von Stroop-, Simon- oder Flanker-Aufgabe sind Bearbeitungszeit und Anzahl der Fehler. Diese können als mittlere Reaktionszeit oder Gesamtbearbeitungsdauer bei einer definierten Anzahl von Items bzw. als Fehlerquote, Quote richtiger Items, Anzahl an Fehlern oder Anzahl an Richtigen bei definierter Item-Anzahl berichtet werden. Es konnte gezeigt werden, dass junge, gesunde Erwachsene kaum Fehler bei Stroop-, Simon- oder Flanker-Aufgaben machen. Man spricht dabei von einem Deckeneffekt (Wöstmann et al., 2013). Die geringe Fehlerrate reduziert dabei die Varianz zwischen den Probanden und damit die Diskriminierungsleistung der Tests zwischen den Versuchsgruppen. Die Fehlerrate ist daher zur Verwendung als Endpunkt mit jungen, gesunden Erwachsenen nicht geeignet.

Tabelle 1 Aufgabenstellung, jeweils ein Beispiel-Item und die angesprochenen kognitiven Leistungen der neutralen/kongruenten sowie der inkongruenten Testbedingung von Stroop-, Simon- und Flanker-Aufgabe.

	Neutrale/Kongruente Testbedingung	Inkongruente Testbedingung
Stroop-Aufgabe:	<p>Aufgabenstellung: Die Druckfarbe der Objekte so schnell und so fehlerfrei wie möglich zu benennen</p> 	<p>Blau Grün Rot Grün Gelb Blau</p>
Simon Aufgabe:	<p>Aufgabenstellung: Eine linke/rechte Taste entsprechend der akustischen Aufforderung drücken</p> 	
Flanker-Aufgabe:	<p>Aufgabenstellung: Eine linke/rechte Taste entsprechend der der Ausrichtung es zentralen Pfeils drücken</p> 	
Angesprochene kognitive Leistungen:	<ul style="list-style-type: none"> • Basale Informationsverarbeitungs-kapazität 	<ul style="list-style-type: none"> • Basale Informationsverarbeitungs-kapazität • Interferenzkontrollleistung

2.2 Forschungsstand und Erklärungsmodelle der Wirkung akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen

Im folgenden Abschnitt dieser Arbeit wird zunächst eine Übersicht des aktuellen Forschungsstands zur Wirkung akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen dargestellt. Anschließend werden die verbreitetsten Erklärungsmodelle ausdauerbelastungsinduzierter kognitiver Benefits erläutert.

2.2.1 Aktueller Forschungsstand

Existierende Meta-Analysen zu den Effekten akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen zeigen kleine bis mittelgroße positive Effekte (Chang et al., 2012; Ludyga et al., 2016). Diese meta-analytischen Effektschätzer bleiben jedoch hinsichtlich des Alters der Probanden undifferenziert. Dabei ist bekannt, dass die Entwicklung der Interferenzkontrolle über die Lebensspanne hinweg einen umgekehrt U-förmigen Verlauf nimmt. Die Leistungsfähigkeit der Interferenzkontrolle entwickelt sich im Kindes- und Jugendalter, erreicht ihren Höhepunkt im jungen Erwachsenenalter und nimmt dann im Alter wieder zunehmend ab (Brydges, Anderson, Reid, & Fox, 2013; Pettigrew & Martin, 2014). Gleichzeitig weisen Studienergebnisse darauf hin, dass gerade solche Probanden hinsichtlich kognitiver Leistungszuwächse von akuten Ausdauerbelastungen profitieren, die geringere Baseline-Werte aufweisen (Dimitrova et al., 2017; Drollette et al., 2014; Sibley & Beilock, 2007). Vor diesem Hintergrund erscheint es fraglich, ob Verbesserungen von Interferenzkontrollleistungen durch vorausgehende Ausdauerbelastungen auch bei Stichproben gezeigt werden können, die ausschließlich aus jungen gesunden Erwachsenen zusammengesetzt sind (Stillman et al., 2016; Whitley et al., 2016).

Primär-Untersuchungen zur Wirkung akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen zeigen inkonsistente Ergebnisse. Einige Studien zeigen Verbesserungen (vgl. bspw. Byun et al., 2014; Chang et al., 2015; Kamijo, Nishihira, Higashiura, & Kuroiwa, 2007; Lowe, Hall, Vincent, & Luu, 2014). Es existieren aber auch Studien, die keine positiven Effekte oder sogar leicht abträgliche Wirkungen zeigen (vgl. bspw. Gothe et al., 2013; Weng, Pierce, Darling, & Voss, 2015). Bezogen auf die Wirkungen akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Leistungen exekutiver Funktionen insgesamt zeigt eine kürzlich erschienene Meta-Analyse, dass auch junge, gesunde Erwachsene profitieren. Die Verbesserungen fallen jedoch erheblich geringer aus als bei Kindern und älteren Erwachsenen (Ludyga et al., 2016). Meta-Analysen, die gezielt die Wirkung akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen ausschließlich bei jungen, gesunden Erwachsenen untersuchen, fehlen bis heute.

Neben dem Alter kommen einige weitere Faktoren in Frage, die den Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen moderieren könnten. Dies betrifft zum einen die weiter unten beschriebenen methodischen Aspekte (vgl. Kapitel 2.3). Zum anderen scheinen aber auch Aspekte der Dosierung der Belastung eine Rolle zu spielen. Chang und Kollegen liefern in ihrer Meta-Analyse diesbezüglich einen sehr umfassenden Überblick. Dieser gilt allerdings nicht speziell für Interferenzkontrollleistungen, sondern für sämtliche kognitive Leistungen (Chang et al., 2012). Sie zeigen, dass akute Ausdauerbelastungen nur dann einen positiven Effekt auf nachfolgende kognitive Testleistungen zu haben scheinen, wenn sie mindestens von zehn Minuten Dauer sind. Extensive Ausdauerbelastungen von mehr als 60 Minuten Dauer scheinen hingegen nachfolgende kognitive Leistungen sogar zu verschlechtern (Cian, Barraud, Melin, & Raphel, 2001; Moore, Romine, O'Connor, & Tomporowski, 2012). Bezüglich der Intensität der vorausgehenden Ausdauerbelastungen konnten Chang und Kollegen sowohl für leichte, mittlere und hohe Intensitäten positive Effekte auf nachfolgende kognitive Leistungen zeigen.

Meta-analytische Untersuchungen, die einen möglicherweise moderierenden Einfluss von Aspekten der Belastungsdosierung speziell auf ausdauerbelastungsinduzierte Veränderungen der Interferenzkontrollleistung bei jungen, gesunden Erwachsenen untersuchen, fehlen bis heute. Einzelbefunde deuten jedoch an, dass moderierende Einflüsse von Dauer und Intensität der Ausdauerbelastung den berichteten Ergebnissen für kognitive Testleistungen insgesamt sehr nahekommen. Sehr kurze Belastungen, unter fünf Minuten Dauer, führten zu keinen Verbesserungen in der Stroop-Aufgabe bei jungen, gesunden Erwachsenen (Brown & Bray, 2015). Für akute Ausdauerbelastungen über zehn Minuten finden sich hingegen zahlreiche Studien, die positive Effekte auf nachfolgende Leistungen in der Stroop- oder der Flanker-Aufgabe bei jungen, gesunden Erwachsenen zeigen (vgl. bspw. Chang et al., 2015; Endo et al., 2013; Lowe et al., 2014). Dabei scheint es auch hier mit längeren Ausdauerbelastungen zu einer Abnahme der positiven Wirkung zu kommen (Y. K. Chang et al., 2015). Positive Effekte auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen konnten für geringintensive (Byun et al., 2014; Sibley, Etnier, & Le Masurier, 2006), moderate (Kamijo et al., 2007; O'Leary, Pontifex, Scudder, Brown, & Hillman, 2011) und hochintensive Ausdauerbelastungen (Basso, Shang, Elman, Karmouta, & Suzuki, 2015; Kamijo et al., 2007) gezeigt werden.

Ein weiterer potentiell moderierender Faktor könnte der Abstand zwischen Beendigung der Belastung und Beginn der kognitiven Testung sein. In ihrer Meta-Analyse zeigen Chang und Kollegen für kognitive Leistungen insgesamt, dass Studien mit Testungen unmittelbar bis zehn Minuten nach Belastung im Mittel keine signifikanten Effekte erzielen. Die größten Effekte zeigen sich in ihrer Meta-Analyse, wenn zwischen Beendigung der Belastung und kognitiver Testung 10-20 Minuten Pause gewährt werden. Jedoch auch bei längeren Pausen über 20 Minuten zeigen sich noch positive und signifikante Effekte. Auch zur Frage eines moderierenden Einflusses der Pause zwischen Beendigung der Belastung und Beginn der Testung speziell bezogen auf Interferenzkontrollleistungen bei jungen gesunden Erwachsenen fehlen bis heute meta-analytische Untersuchungen. Einzelbefunde hierzu sind uneinheitlich. Es finden sich Studien, die ausgeprägte Effekte akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen Erwachsenen unabhängig vom

Zeitpunkt der Testung nach der Belastung zeigen (Byun et al., 2014; O'Leary et al., 2011). Genauso finden sich Null- und sogar negative Effekte unabhängig vom Zeitpunkt der Testung nach der Belastung (Gothe et al., 2013; Hillman, Snook, & Jerome, 2003).

2.2.2 Erklärungsmodelle ausdauerbelastungsinduzierter Verbesserungen kognitiver Leistungen

In der gegenwärtigen Forschung werden positive Wirkungen akuter körperlicher Belastungen auf nachfolgende kognitive Leistungen anhand kognitionspsychologischer und/oder neurobiologischer Modelle erklärt. Diese sollen im Folgenden kurz skizziert werden.

Kognitionspsychologische Erklärungsmodelle

Kognitionspsychologische Modelle, die zur Erklärung kognitiver Benefits nach akuten körperlichen Belastungen herangezogen werden, postulieren Veränderungen der Konzentrations- bzw. Verarbeitungsressourcen infolge belastungsinduzierter körperlicher Erregung. Bereits Yerkes und Dodson (1908, zitiert nach McMorris, 2008) stellten das Ausmaß kognitiver Leistungen in einen direkten Zusammenhang mit dem Ausmaß der körperlichen Erregung des Individuums. Sie postulierten einen umgekehrt U-förmigen Zusammenhang. Demnach sollten bei geringer und starker Erregung schlechtere, bei mittlerer innerer Erregung hingegen optimale Leistungen erzielt werden können.

Easterbrook (1959) entwickelte den Gedanken von Yerkes und Dodson weiter. Nach seiner Hypothese ist der Aufmerksamkeitsfokus des Individuums im Zustand geringer Erregung so weit, dass er neben aufgabenrelevanten zu einem großen Teil auch aufgabenirrelevante Reize umfasst. Entsprechend wird eine geringe kognitive Leistung vorhergesagt. Mit ansteigender Erregung soll sich der Aufmerksamkeitsfokus des Individuums zunehmend auf die

aufgabenrelevanten Reize einengen. In Folge dessen soll es zu einer zunehmenden Verbesserung der kognitiven Leistung bis hin zu einem Optimum kommen. Steigt die Erregungsintensität jedoch noch weiter an, engt sich der Aufmerksamkeitsfokus so stark ein, dass nun auch aufgabenrelevante Reize aus dem Fokus herausfallen und die kognitive Leistung wieder abnimmt.

Kahnemann (1973) stellt die zentralnervösen Verarbeitungsressourcen in den Fokus seiner Theorie. Diese versteht er als von der Erregung des Individuums abhängig. Er sieht hier jedoch eher ein lineares als ein umgekehrt U-förmiges Verhältnis. Darüber hinaus versteht er die Verfügbarkeit zentralnervöser Ressourcen jedoch noch von einem weiteren Faktor abhängig, der sogenannten Verteilungsinstanz. Zwar steigen die Ressourcen mit zunehmender Erregung des Individuums an, es ist aber letztlich die Verteilungsinstanz, die entscheidet, ob und in welchem Ausmaß der anstehenden Aufgabe Ressourcen zugeteilt werden.

Neurobiologische Erklärungsmodelle

Neurobiologische Erklärungsmodelle positiver Wirkungen akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende kognitive Leistungen sehen nachklingende, neurobiologische Anpassungsreaktionen an die akute Ausdauerbelastung als ursächlich. Es lassen sich drei Bedingungen an neurobiologische Prozesse formulieren, damit diese als Erklärung für aktivitätsinduzierte kognitive Leistungssteigerungen in Frage kommen:

- Bedingung 1: Es muss bekannt sein bzw. ein begründeter Verdacht bestehen, dass der betreffende neurobiologische Prozess auf akute körperliche Belastungen reagiert
- Bedingung 2: Der betreffende neurobiologische Prozess muss das zentrale Nervensystem miteinschließen bzw. nicht nur in der Peripherie stattfinden
- Bedingung 3: Es muss bekannt sein bzw. ein begründeter Verdacht bestehen, dass der betreffende neurobiologische Prozess die Hirnfunktion kurzfristig positiv beeinflusst

Als neurobiologische Mediatoren werden vor allem eine gesteigerte zerebrale Durchblutung (vgl. bspw. Hollmann, Strüder, & Tagarakis, 2003; Hollmann & Strüder, 2003; Ide & Secher, 2000), eine vermehrte zerebrale Ausschüttung von Neurotrophinen (vgl. bspw. Griffin et al., 2011; Hwang et al., 2016; Zimmer et al., 2015) und/oder eine gesteigerte Laktatkonzentration (Dalsgaard et al., 2004; Ide, Schmalbruch, Quistorff, Horn, & Secher, 2000; Skriver et al., 2014) infolge der akuten Ausdauerbelastung diskutiert. Eine Übersicht hierzu findet sich bei Zimmer, Oberste und Bloch (Zimmer et al., 2015).

2.3 Kritik der methodischen Qualität existierender Studien

Ein beträchtlicher Teil der existierenden Studien zum Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen weist methodische Schwachpunkte auf. Kritisiert werden die Wahl der Kontrollgruppenbehandlungen, gegen die die akuten Ausdauerbelastungen getestet werden. Außerdem werden Lerneffekte bei der Bearbeitung der kognitionspsychologischen Testverfahren oft nicht ausreichend berücksichtigt. Darüber hinaus ist fraglich, ob die berichteten Test-Variablen tatsächlich die Interferenzkontrollleistung der Probanden messen (Pontifex et al., 2019). Diese methodischen Schwachpunkte stellen potentielle Gefahren der internen Validität bzw. der Konstruktvalidität der Studien dar.

Die möglichen Auswirkungen, die diese methodischen Mängel bei Untersuchungen zum Effekt einmaliger Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen haben können, stehen im Mittelpunkt dieser Arbeit. Handlungsleitend ist dabei die Vermutung, dass in der Literatur berichtete, positive Effekte möglicherweise durch methodische Schwächen überschätzt sein könnten. Im Folgenden werden die oben genannten und in der existierenden Forschung zu diesem Thema weit verbreiteten methodischen Schwachpunkte deshalb ausführlich dargestellt. Um die Bedeutung methodischer Schwachpunkte dabei in den Kontext der internen Validität im experimentellen Design

einordnen zu können, sind allgemeinere Erläuterungen zur Bedeutung der internen Validität vorangestellt.

2.3.1 Die Bedeutung der internen Validität im experimentellen Design

Der Grad der internen Validität einer Studie beschreibt das Ausmaß der Gültigkeit von Rückschlüssen auf einen kausalen Zusammenhang zwischen unabhängiger Variabler (bspw. Sport vs. Kontrollgruppe) und abhängiger Variable (bspw. Interferenzkontrollleistung). Die interne Validität einer Studie ist gering, wenn neben der Variation der unabhängigen Variable alternative Erklärungen für Veränderungen der abhängigen Variable nicht ausgeschlossen werden können (Srinagesh, 2006). Für die interne Validität einer Studie ist die Einhaltung der sogenannten „Ceteris-Paribus-Klausel“ zentral. Diese besagt, dass sich Experimental- und Kontrollgruppe nur hinsichtlich der Variation der unabhängigen Variable unterscheiden sollen. Hinsichtlich aller anderen möglichen Wirkfaktoren (Störvariablen) sollen sie sich hingegen nicht systematisch unterscheiden (Persky, 1990).

In experimentellen Designs ermöglicht die Randomisierung der Probanden in die Versuchsgruppen die Kontrolle des Großteils an Störvariablen. Durch die Randomisierung werden Störvariablen, bei ausreichend großer Stichprobengröße, mit hoher Wahrscheinlichkeit vergleichbar auf Experimental- und Kontrollgruppe verteilt. Die Randomisierung ermöglicht jedoch keine Kontrolle von Störvariablen, die systematisch mit der unabhängigen Variable kovariieren (man spricht von konfundierenden Variablen). Beispiele hierfür sind Erwartungen der Probanden an die Wirkung der Versuchsbehandlung, die je nach Stufe der unabhängigen Variable unterschiedlich ausfallen. Die Kontrolle solcher Störvariablen kann nur mithilfe entsprechender Anpassungen im Versuchsdesign erfolgen. Die folgenden Ausführungen verdeutlichen dies in Bezug auf methodische Schwachpunkte in der

Erforschung der Wirkung von akuten Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen.

2.3.2 Die Art der Kontrollgruppe als Determinante interner Validität

Der Großteil existierender Studien vergleicht die Effekte akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen mit den Wirkungen passiver Kontrollgruppenbehandlungen. Für eine vergleichbare Dauer, die die Probanden der Experimentalgruppe körperlich aktiv sind, sitzen die Probanden der Kontrollgruppe in einem Zimmer und warten (vgl. bspw. Byun et al., 2014; Endo et al., 2013; Van Rensburg & Taylor, 2008; Yanagisawa et al., 2010), lesen (vgl. bspw. Chang et al., 2015; O'Leary et al., 2011; Sibley et al., 2006; Themanson & Hillman, 2006) oder schauen einen Film an (vgl. bspw. Basso et al., 2015). Anschließend bearbeiten beide Gruppen einen Test, der die Interferenzkontrollleistung der Probanden misst.

Die Bewertung der internen Validität solcher Versuchsdesigns ist abhängig von der á priori formulierten Hypothese der Studie. Wird angenommen, dass die Interferenzkontrollleistung nach einmaligem Ausdauersport besser ist als nach Warten, Lesen oder Fernsehen, kann die interne Validität der Studien als solide bewertet werden. Im Falle signifikant besserer Interferenzkontrollleistungen nach einmaligem Ausdauersport ist die Aussage gültig, dass dieser hinsichtlich nachfolgender Interferenzkontrollleistungen gegenüber Warten, Lesen oder Fernsehen im Vorteil ist. Die existierenden Studien zur Wirkung akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen formulieren jedoch spezifischere Hypothesen. Es wird angenommen, dass die aktivitätsinduzierte psychophysische Erregung nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen verbessert. Ob die Versuchsdesigns, die die Wirkung von

akutem Ausdauersport auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen gegen Warten, Lesen oder Filmschauen testen, diese Hypothese gültig untersuchen können, ist jedoch fraglich.

Szabo bezweifelt, dass die Probanden der Experimental- und der Kontrollgruppe in Versuchsdesigns mit passiver Kontrollgruppe vergleichbare Erwartungen hinsichtlich kognitiver Verbesserungen haben (Szabo, 2013). Es wird angenommen, dass sich Probanden von einer aktiven Betätigung mehr Einfluss auf ihre kognitive Leistungsfähigkeit erwarten, als vom schlichten Nichts-tun, Lesen oder Ansehen eines Videos (Stothart, Simons, Boot, & Kramer, 2014). Höhere Erwartungen an körperliche Aktivität im Vergleich zu Warten, Lesen oder Filmschauen hinsichtlich kognitiver Benefits scheinen umso plausibler, wenn man sich die populärwissenschaftliche Berichterstattung zu diesem Thema vor Augen führt. Dort werden Sport und Bewegung geradezu euphorisch als Mittel zur kognitiven Leistungssteigerung propagiert (vgl. Abbildung 1). Unterschiedliche Erwartungen der Probanden hinsichtlich der Wirkungen ihrer Versuchsbehandlung auf ihre anschließenden kognitiven Leistungen wären eine Verletzung der Ceteris-Paribus-Klausel. Die interne Validität der Studien wäre entsprechend ernsthaft gefährdet.

Unterschiedliche Erwartungen der Probanden, je nach zugewiesener Versuchsgruppe, gewinnen vor allem dadurch an Brisanz, dass Erwartungen eine entscheidende Rolle im Rahmen der Entstehung von Placebo-Effekten spielen (Brown, 2015). Unter Placebo-Effekten versteht man positive Wirkungen einer Behandlung, die nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft nicht auf die im Fokus stehende Variable zurückzuführen sind (vgl. bspw. Stewart-Williams & Podd, 2004). Wenn akute Ausdauerbelastungen und Warten, Lesen oder Filmschauen unterschiedliche Erwartungen an nachfolgende Interferenzkontrollleistungen induzieren, werden Rückschlüsse von signifikanten Vorteilen zugunsten der Ausdauerbelastung auf die psychophysische Erregung unzulässig. Es bliebe unklar, ob die Vorteile durch Placebo-Effekte oder tatsächlich durch die psychophysische Erregung entstanden sind.

Neben der Unklarheit der Einhaltung der Ceteris-Paribus-Klausel bezüglich Erwartungen weisen Belastungs- und passive Kontrollgruppen in den betreffenden Versuchsdesigns einen

unterschiedlichen Grad sozialer Zuwendung durch das Versuchspersonal auf. Die Probanden der Belastungsgruppe erhalten ein angeleitetes Ausdauertraining, während die Probanden der Kontrollgruppen auf sich alleine gestellt im Wartezimmer sitzen, nichts tun, lesen oder einen Film schauen. In diesem Zusammenhang stellt der sogenannte Hawthorne-Effekt eine oft beschriebene Gefahr der internen Validität dar (vgl. bspw. McCambridge, Witton, & Elbourne, 2014). Der Hawthorne-Effekt beschreibt das Phänomen, dass Probanden alleine durch die Anwesenheit der Forscher ihr Verhalten verändern.

Die Gefahr von Placebo- und Hawthorne-Effekten in der Akutbelastungs-Kognitionsforschung könnte durch die Tatsache potenziert werden, dass fast alle Untersuchungen in diesem Bereich als offene Studien durchgeführt wurden. Die Probanden werden direkt über die Hypothese der Forscher, dass akute Belastungen zu kognitiven Verbesserungen führen, informiert (vgl. bspw. Griffin et al., 2011; Janse Van Rensburg & Taylor, 2008; Skriver et al., 2014; Winter et al., 2007; Yanagisawa et al., 2010) oder sie können es durch den Kontext des Versuchsaufbaus einfach ableiten, dass sie der Kontrollgruppe zugeordnet wurden (vgl. bspw. Audiffren, Tomporowski, & Zagrodnik, 2009; Coles & Tomporowski, 2008; Joyce, Graydon, McMorris, & Davranche, 2009; Lowe, Hall, Vincent, & Luu, 2014; Murray & Russoniello, 2012).

Vor dem Hintergrund der obigen Ausführungen wird der Bedarf an Studien deutlich, die sich um die Einhaltung der Ceteris-Paribus-Klausel hinsichtlich der Erwartungen der Teilnehmer bemühen und den Grad der sozialen Zuwendung zwischen Belastungs- und Kontrollgruppe vergleichbar halten. Die Probanden sollten dabei hinsichtlich der Hypothese verblindet werden. Zur Bewertung der existierenden Studien sollten die Erwartungen der Probanden an Ausdauersport und passiven Kontrollgruppenbehandlungen hinsichtlich Verbesserungen der Interferenzkontrollleistung explizit untersucht werden. Darüber hinaus können die Effekte aus Studien, die eine Kontrollgruppenbehandlung mit vergleichbarer psychosozialer Stimulation anwenden, mit Effekten aus Studien meta-analytische vergleichen werden, die eine passive Kontrollgruppenbehandlung anwenden. In der vorliegenden Arbeit wird diesen Forderungen nachgekommen.



Abbildung 1 Beispiele der populärwissenschaftlichen Berichterstattung zum Thema Sport, Gehirn und Kognition der vergangenen Jahre

2.3.2 Lerneffekte als Determinante interner Validität

Neuropsychologische Tests setzen die Probanden einer neuen und ungewohnten Situation aus. Sie werden mit artifiziellen, sehr spezifischen Anforderungen konfrontiert. Entsprechend müssen die Probanden die Aufgabenstellung zunächst verstehen. Sie müssen verinnerlichen, worauf es bei dem Test ankommt und in welcher Form die Antworteingabe zu erfolgen hat. Gerade bei computergestützten Verfahren kann die Antworteingabe ein gewisses motorisches Geschick erfordern. Durch Gewöhnung, Übung und Lernen kommt es im Laufe der Testbearbeitung zu Verbesserungen der Testleistung von Probanden unabhängig von Veränderungen der eigentlichen Zielvariable des Tests. Man spricht dabei von Lerneffekten (Davidson, Zacks, Williams, & Lansing, 2007; Lin, 2010; Welch & Seitz, 2013).

Lerneffekte im Rahmen der Anwendung kognitionspsychologischer Testverfahren stellen eine Gefährdung der internen Validität von Untersuchungen dar. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Versuchsbehandlungen unterschiedliche Auswirkungen auf den Lerneffekt der Probanden haben (Srinagesh, 2006). So bleibt es letztlich unklar, ob Vorteile akuter Ausdauerbelastungen gegenüber Kontrollgruppenbehandlungen hinsichtlich kognitiver Testleistungen tatsächlich auf eine belastungsinduzierte Verbesserung der kognitiven Leistung zurückzuführen sind. Das Vorliegen von Lerneffekten lässt eine Alternativerklärung zu. Möglicherweise steigern akute Ausdauerbelastungen im Vergleich zur Kontrollgruppenbehandlung die Effektivität der Gewöhnung an die Testsituation und/oder das Erlernen der Testbedienung und führen so zu einem besseren Abschneiden der körperlich aktiv gewesenen Probanden.

Um sicher zu gehen, dass keine Konfundierung mit Lerneffekten eintritt, sollten Studien ihre Probanden im Vorfeld der eigentlichen Untersuchung an die eingesetzten Tests gewöhnen. Eine solche Gewöhnungsbehandlung bzw. Habituation an die Testverfahren wird üblicherweise durch Übungsdurchläufe mit dem Testverfahren vor Beginn der eigentlichen Untersuchung durchgeführt. Im Idealfall wird dabei gezeigt, dass die lernbedingte Zunahme der Testleistungen vor Beginn der eigentlichen Untersuchung ein Plateau erreicht hat.

Ob Lerneffekte in bestehenden Studien einen konfundierenden Einfluss genommen haben, kann durch eine meta-analytische Subgruppenanalyse untersucht werden. Dabei werden die Effekte aus Studien, die ihre Probanden im Vorfeld an die Tests habituieren und die Effekte aus Studien, die dies nicht unternommen haben, miteinander vergleichen. In der vorliegenden Arbeit wird sowohl eine Primär-Studie durchgeführt, die die Probanden im Vorfeld an die eingesetzten Testverfahren gewöhnt, als auch eine meta-analytische Subgruppenanalyse zu Lerneffekten in bestehenden Studien durchgeführt.

2.3.2 Die Messung der Interferenzkontrollleistung als Determinante der Konstruktvalidität

Während die interne Validität die Gültigkeit von Rückschlüssen aus den Studienergebnissen auf einen kausalen Zusammenhang zwischen unabhängiger und abhängiger Variable in den Blick nimmt, beschreibt die Konstruktvalidität die Gültigkeit der eingesetzten Messverfahren. Sie gibt das Ausmaß an, in dem ein eingesetztes Messverfahren in einer Studie tatsächlich das Konstrukt erfasst, das es zu erfassen vorgibt. Die Konstruktvalidität eines kognitionspsychologischen Testverfahrens repräsentiert also, inwieweit der Test Größe und Richtung einer repräsentativen Auswahl der Konstrukteigenschaften abbildet und die Messung nicht durch Elemente anderer Konstrukte oder systematische Messfehler verfälscht wird (Peter, 1981).

Existierende Studien zum Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen setzen die Stroop-, Flanker- und/oder Simon-Aufgabe als Verfahren zur Messung der Interferenzkontrollleistung ein. Diese kognitionspsychologischen Testverfahren funktionieren nach dem gleichen Prinzip. In einer inkongruenten Bedingung (bspw. Stroop-Aufgabe: Benennen der Druckfarbe eines Farbwortes, das semantisch eine abweichende Farbe ausdrückt) ist die Testleistung der

Probanden von ihrer Interferenzkontrollleistung und ihrer basalen Informationsverarbeitungskapazität abhängig. In einer neutralen/kongruenten Bedingung (bspw. Stroop-Aufgabe: Benennen der Druckfarbe eines Farbwortes, das semantisch die identische Farbe ausdrückt) ist die Testleistung der Probanden nur von ihrer basalen Informationsverarbeitungskapazität abhängig. Die Interferenzkontrollleistung der Probanden in der inkongruenten Bedingung wird von ihrer basalen Informationsverarbeitungskapazität isoliert, indem die Testleistungen der inkongruenten und der neutralen/kongruenten Bedingung miteinander verrechnet werden (vgl. Kapitel 2.1.2) (für einen Überblick zur neutralen/kongruenten und inkongruenten Testbedingung von Stroop-, Simon- und Flanker-Aufgabe sei auch auf Tabelle 3 verwiesen).

In vielen Studien, die den Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen untersuchen, wird lediglich die Testleistung in der inkongruenten Testbedingung von Stroop-, Flanker- und/oder Simon-Aufgabe berichtet. Dabei wird diese als valides Maß der Interferenzkontrollleistung der Probanden interpretiert (Chang et al., 2015; Endo et al., 2013; Gothe et al., 2013; Kamijo et al., 2009, 2007). Dieses Vorgehen stellt eine ernsthafte Gefährdung der Konstruktvalidität der eingesetzten Messverfahren dar. Werden die Testleistungen der Probanden in der inkongruenten und der neutralen/kongruenten Bedingung nicht miteinander verrechnet, spiegelt das Ergebnis nicht nur die Interferenzkontrollleistung der Probanden, sondern auch ihre basale Informationsverarbeitungskapazität wider. Die Messung der Interferenzkontrollleistung wird damit durch die gleichzeitige Messung der basalen Informationsverarbeitungskapazität verfälscht.

Stellen die Testleistungen der Probanden in der inkongruenten Testbedingung die Zielvariable dar, so müssen etwaige Vorteile nach Ausdauerbelastung im Vergleich zur Kontrollbehandlung nicht notwendigerweise Verbesserungen der Interferenzkontrollleistung bedeuten. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die besseren Testleistungen nach Ausdauersport durch Verbesserungen der basalen Informationsverarbeitungskapazität der Probanden entstanden sind und eben nicht die Folge von Verbesserungen ihrer Interferenzkontrollleistung sind.

Dieser Zweifel erscheint umso plausibler, vergegenwärtigt man sich, dass Verbesserungen basaler Informationsverarbeitungskapazität nach akuten Ausdauerbelastungen seit langem bekannt sind (Allard, Brawley, & Deakin, 1989; Brisswalter, Arcelin, Audiffren, & Delignières, 1997; Collardeau, Brisswalter, & Audiffren, 2001; Tomporowski, 2003).

Um die Konstruktvalidität der eingesetzten Messverfahren sicher zu stellen, sollten Studien, entsprechend der Manuale der Tests, inkongruente und neutrale/kongruente Bedingung anwenden und die Testergebnisse der Probanden miteinander verrechnen. Inwieweit die beschriebenen Probleme der Konstruktvalidität die existierende Evidenz verfälschen, kann bspw. durch meta-analytische Subgruppenvergleiche ermittelt werden. Die Effekte aus Studien, die nur die Testleistung der inkongruenten Bedingung berichten, können dabei mit den Effekten aus Studien, die die Testleistungen beider Bedingungen verrechnen, verglichen werden. Zeigen sich Abweichungen, spricht dies für eine Verfälschung der Ergebnisse aufgrund fehlerhafter Anwendung der Testverfahren bzw. mangelnder Konstruktvalidität. In der vorliegenden Arbeit wird sowohl eine entsprechende Primär-Studie, als auch eine entsprechende meta-analytische Subgruppenanalyse präsentiert.

Die oben aufgeführten Kritikpunkte der methodischen Qualität existierender Studien verdeutlichen den Zweifel an der Verlässlichkeit der Befunde. Es verbleiben Zweifel, ob sich die Interferenzkontrollleistung von jungen, gesunden Erwachsenen tatsächlich als Folge der vorausgegangenen, akuten Ausdauerbelastung verbessert. Möglicherweise sind die berichteten Effekte, zumindest zum Teil, überschätzt durch verzerrende methodische Schwachpunkte der existierenden Studien, die einen Effekt verstärken (oder vortäuschen). Diesen Zweifel greift die vorliegende Arbeit auf. Es werden im Folgenden entsprechende Forschungsfragen formuliert und von Untersuchungen berichtet, die zu diesem Zweifel Daten generiert haben.

3. Fragestellungen

Basierend auf dem oben dargestellten Forschungsstand wurden die folgenden Fragestellungen formuliert:

1. Verbessern akute Ausdauerbelastungen nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen?
2. Führt die Anwendung einer passiven Kontrollgruppenbehandlung dazu, dass Studien den Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen überschätzen?
3. Führt das Fehlen einer Gewöhnungsbehandlung der Probanden an die kognitionspsychologischen Testverfahren dazu, dass Studien den Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen überschätzen?
4. Führt die Verwendung der Testleistung der Probanden in der inkongruenten Testbedingung als abhängige Variable dazu, dass Studien den Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen überschätzen?

4. Methoden und Ergebnisse

Dieser Teil der Arbeit wird durch die aufgeführten Veröffentlichungen ersetzt. Um den Bezug auf die einzelnen Veröffentlichungen im Rahmen der auf diesen Teil folgenden Diskussion zu erleichtern, werden die Veröffentlichungen entsprechend ihrer chronologischen Entstehung als „Studie 1“, „Studie 2“ und „Studie 3“ bezeichnet. Die Vollversionen der Artikel finden sich im Anhang dieser Arbeit:

Studie 1:

Oberste M, Bloch W, Hübner ST, Zimmer, P (2016). Do reported effects of acute aerobic exercise on subsequent higher cognitive performances remain if tested against an instructed self-myofascial release training control group? A randomized controlled trial. *PLoS One*, 11(12), e0167818. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167818>

Kurzfassung des Artikels:

Das primäre Ziel dieser Studie war, die Replizierbarkeit berichteter positiver Effekte akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende höhere kognitive Leistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen zu untersuchen. Methodische Schwachpunkte existierender Untersuchungen wurden dabei jedoch vermieden. Es wurde die Wirkung akuter Ausdauerbelastungen auf verschiedene Testleistungen untersucht. Die eingesetzte kognitive Testbatterie umfasste auch die Stroop-Aufgabe als Maß der Interferenzkontrollleistung der Probanden. Es wurden ausschließlich Probanden im Alter zwischen 18 und 30 Jahren rekrutiert.

Die Wirkung akuter Ausdauerbelastungen wurde gegen eine Kontrollbehandlung getestet, die der Einhaltung der Ceteris-Paribus-Klausel möglichst nahekommen sollte. Dazu wurden 121 gesunde Versuchspersonen per Zufall einer von 3 Ausdauerbelastungsgruppen (35 Min. Fahrradergometertraining bei 45-50%; bei 65-70%, bei 85-90% der individuellen maximalen Herzfrequenz) oder einer myofaszialen Selbstmassagegruppe zugeordnet. Während die Versuchspersonen der Ausdauerbelastungsgruppen und der myofaszialen Selbstmassagegruppe ein vergleichbares Maß an psychosozialer Aufmerksamkeit erhielten, unterschieden sich beide Gruppen hinsichtlich der belastungsinduzierten körperlichen Erregung. Des Weiteren wurde die Studie verblindet durchgeführt. Die Existenz anderer Versuchsgruppen als der ihnen zugeordneten sowie die explizite Hypothese des Experiments wurde den Versuchspersonen nicht offengelegt. Die Probanden wurden vor Beginn der Untersuchung an die computerisierte Testdurchführung gewöhnt.

Die empirischen Ergebnisse zeigten minimale Vorteile der leichten und der intensiven akuten Ausdauerbelastung gegenüber der Kontrollbedingung hinsichtlich der Interferenzkontrollleistung der Probanden. Diese Unterschiede waren jedoch nicht statistisch signifikant ($p=1$). Die post-hoc Power Analyse konnte zeigen, dass die Studie einen mittelgroßen positiven Effekt der akuten Ausdauerbelastungen verglichen mit der Kontrollgruppe mit einer Wahrscheinlichkeit von 97% gezeigt hätte, wenn dieser in Wirklichkeit existiert. Einen real existierenden kleinen bis mittleren positiven Effekt hätte die Studie mit einer Wahrscheinlichkeit von 80% gezeigt. Die Power der Studie einen kleinen Effekt noch zu zeigen, vorausgesetzt dieser existiert in Wirklichkeit, lag hingegen nur noch bei 40%.

Studie 2:

Oberste M, Hartig P, Bloch W, Elsner B, Predel HG, Ernst B, Zimmer P (2017). Control group paradigms in studies investigating acute effects of exercise on cognitive performance-An experiment on expectation-driven placebo effects. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00600>

Kurzfassung des Artikels:

Ziel der Studie war es, mögliche Unterschiede zwischen den Erwartungen junger, gesunder Erwachsener an die Wirkungen akuter Ausdauerbelastungen und passiver sowie aktiver Kontrollparadigmen auf nachfolgende kognitive Testleistungen zu identifizieren. Zweihundertsiebenundvierzig Probanden im Alter zwischen 18 und 35 Jahren wurden zufällig einer von acht Versuchsgruppen zugeordnet. Den Probanden wurde dann zunächst schriftlich und filmisch, je nach Versuchsgruppe, eine der folgenden Versuchsbehandlungen vorgestellt: 30-minütige moderate Ausdauerbelastung, 30-minütige intensive Ausdauerbelastung, 30 Minuten Warten, 30 Minuten Lesen, 30 Minuten Filmschauen, 30 Minuten angeleitetes Stretching, 30 Minuten angeleitete myofasziale Selbstmassage, 30 Minuten sehr leichtes Ausdauertraining. Anschließend wurde den Probanden das Prozedere und die Auswertung verschiedener kognitiver Tests erklärt und der Testablauf ebenfalls filmisch dargestellt. Einer dieser Tests war die Stroop-Aufgabe. Nach dem Vorstellen eines jeden Testverfahrens gaben die Probanden auf einer 11-stufigen Likert-Skala (-5,0,5) an, welchen Effekt sie auf ihre Leistung in diesem Testverfahren erwarten würden, wenn sie vorher die eingangs präsentierte Versuchsbehandlung erfahren hätten.

Die Probanden zeigten im Mittel vergleichbare oder sogar deutlich positivere Erwartungen an die passiven (Warten, Lesen, Filmschauen) und aktiven Kontrollgruppenbehandlungen (Stretching, myofasziale Selbstmassage, leichtes Ausdauertraining) als an die akuten Ausdauerbelastungen hinsichtlich Auswirkungen auf ihre Stroop Leistung. Es konnten keine

signifikanten Unterschiede der Erwartungen an akute moderate Ausdauerbelastung und passive sowie aktive Kontrollgruppenbehandlungen nachgewiesen werden. Dafür erwarteten die Probanden nach akuter intensiver Ausdauerbelastung signifikant schlechtere Leistungen in der Stroop-Aufgabe als nach Warten, Stretching oder leichter Ausdauerbelastung. Die Erwartungen an passive und an aktive Kontrollgruppenbehandlungen hinsichtlich ihres Effekts auf anschließende Stroop-Leistungen zeigten keine signifikanten Unterschiede.

Studie 3:

Oberste M, Javelle F, Sharma S, Joisten N, Walzik D, Bloch W, Zimmer, P (2019). Effects and moderators of acute aerobic exercise on subsequent interference control: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 10. [https://doi.org/ 10.3389/fpsyg.2019.02616](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02616)

Es wurde eine systematische Übersichtsarbeit zur Wirkung akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen durchgeführt. Ein mittlerer Gesamt-Effekt Schätzer sowie die Unterschiedlichkeit der Effekte zwischen den eingeschlossenen Studien (Heterogenität) wurden berechnet. Darüber hinaus wurde eine umfassende meta-analytische Moderatorenanalyse durchgeführt.

Es konnten 50 Studien in die Analyse eingeschlossen werden. Insgesamt wurde ein kleiner bis mittlerer signifikanter, positiver Effekt akuter Ausdauerbelastung festgestellt (Hedges' $g = -0,26$; 95%KI: -0,34 bis -0,18). Die Heterogenität der einbezogenen Effekte war moderat ($I^2 = 38,8\%$; 95%KI: 20,6% bis .52,9%). Die Moderatorenanalyse bestätigte, dass die Effekte bei Studien, die junge, gesunde Erwachsene untersuchen, signifikant geringer ausfallen als bei Studien, die Kinder, adoleszente oder ältere Probanden untersuchen. Der Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen war jedoch auch innerhalb der Subgruppe der jungen, gesunden Erwachsenen noch statistisch signifikant (Hedges' $g = -0,18$; 95%KI: -0,28 bis -0,08, $I^2 = 0\%$).

Die meta-analytisch zusammengefassten Ergebnisse von Studien, die eine aktive Kontrollgruppenbehandlung applizierten, erreichten einen geringfügig größeren mittleren Effekt (Hedges' $g = -0,27$; 95%KI: -0,36 bis -0,18, $I^2 = 69,7\%$) als der aus Studien, die eine passive Kontrollgruppe (Hedges' $g = -0,21$; 95%KI: -0,44 bis -0,01, $I^2 = 28,6\%$) verwendeten. Der Unterschied zeigte sich jedoch nicht statistisch signifikant. Studien, die die Testleistung der Probanden in der inkongruenten Testbedingung als Zielvariable nutzten, erzielten im Mittel einen minimal größeren Effekt (Hedges' $g = -0,28$; 95%KI: -0,38 bis -0,17, $I^2 = 40,8\%$) als

Studien, die eine um die basale Informationskapazität der Probanden bereinigte Zielvariable nutzten (Hedges' $g = -0,23$; 95%KI: $-0,37$ bis $-0,09$, $I^2 = 35,7\%$). Dieser Unterschied erreichte jedoch keine statistische Signifikanz. Eine signifikante Moderation des Effekts akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen zeigte sich durch die Variable Durchführung bzw. nicht-Durchführung einer Gewöhnung an das Testprozedere vor der eigentlichen Untersuchung. Entgegen der ursprünglichen Erwartung zeigten jedoch Studien, die eine Gewöhnung im Vorfeld durchführten, einen signifikant ausgeprägteren Effekt (Hedges' $g = -0,36$; 95%KI: $-0,46$ bis $-0,26$, $I^2 = 46,2\%$) als Studien, die keine Gewöhnung im Vorfeld der Untersuchung durchführten (Hedges' $g = -0,10$; 95%KI: $-0,22$ bis $0,03$, $I^2 = 0\%$).

5. Diskussion

Im folgenden Teil dieser Arbeit erfolgt eine kritische Auseinandersetzung mit den Ergebnissen und der Methodik der oben vorgestellten Studien. Im Sinne einer Ergebnisdiskussion steht dabei zunächst die Frage im Fokus, inwieweit die erzielten Ergebnisse dazu beitragen, die Fragestellungen dieser Arbeit zu beantworten. Anschließend wird kritisch beleuchtet, inwieweit die eingesetzten Methoden und das Vorgehen adäquat waren und an welchen Stellen mögliche Optimierungspotentiale für zukünftige Studien bestehen.

5.1 Ergebnisdiskussion

Zur besseren Übersichtlichkeit orientiert sich die Ergebnisdiskussion direkt an den Fragestellungen dieser Arbeit. Diese werden nacheinander abgearbeitet:

1. Verbessern akute Ausdauerbelastungen nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen?

Zum Zeitpunkt der Planung und Durchführung von Studie 1, im Jahr 2016, wurde in der Literatur zu diesem Thema zum Teil von ausgeprägten, positiven Effekte berichtet (vgl. bspw. Byun et al., 2014; Chang et al., 2015; Kamijo, Nishihira, Higashiura, & Kuroiwa, 2007; Lowe, Hall, Vincent, & Luu, 2014). So wurde im Rahmen der Fallzahlberechnung für Studie 1 ein mindestens klein bis mittelgroßer Effekt erwartet.

Dass in Studie 1 keine signifikanten, positiven Effekte repliziert werden konnten, war vor allem vor dem Hintergrund der oben genannten Berichte über zum Teil sehr ausgeprägte Effekte überraschend. Dies galt umso mehr, da Studie 1, nach den bis dato vorliegenden Erkenntnissen zum Effekt akuter körperlicher Belastungen auf nachfolgende kognitive Leistungen, „effekt-maximierend“ gestaltet wurde. Das bedeutet, dass potentielle

Moderatorvariablen so variiert wurden, dass ein möglichst großer Effekt von akuten Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen hätte erwartet werden können. So wurde, den Erkenntnissen von Chang und Kollegen (Chang et al., 2012) folgend, die Dauer der Belastung mit 35 Minuten und der Abstand zwischen Beendigung der Belastung und Beginn der Testung mit 10 Minuten gewählt. Darüber hinaus wurde mit einer leichten, moderaten und intensiven Ausdauerbelastung ein breites Spektrum an Belastungsintensitäten realisiert (vgl. Kapitel 2.2.1).

Nicht signifikante Ergebnisse, wie in Studie 1, stellen bekanntermaßen nicht unmittelbar einen Beweis für das nicht-Existieren eines Effekts in der Population dar. Fehlende statistische Signifikanz drückt lediglich aus, dass die Alternativhypothese (\rightarrow es existiert ein Effekt in der Population) nicht bewiesen werden konnte und die Nullhypothese (\rightarrow es existiert kein Effekt in der Population) beibehalten wird. Um die Aussagekraft nicht-signifikanter Ergebnisse hinsichtlich der nicht-Existenz eines Effekts interpretieren zu können, muss die statistische Power der betreffenden Untersuchung mit in Betracht gezogen werden. Die statistische Power ($1-\beta$) gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Studie einen Effekt definierter Größe, falls dieser tatsächlich (in der Population) existieren sollte, überhaupt hätte zeigen können. Sie entspricht der Komplementärwahrscheinlichkeit zu der Wahrscheinlichkeit (β), mit der die betreffende Untersuchung einen real (in der Population) existierenden Effekt definierter Größe irrtümlicherweise nicht zeigen würde (Cohen, 2013).

Studie 1 weist eine statistische Power von etwa 80% auf, einen kleinen bis mittelgroßen positiven Effekt akuter Ausdauerbelastungen zu zeigen (diese und die folgenden Größenbezeichnungen von Effekten orientieren sich an der gängigen Klassifikation von Cohen: Kleiner Effekt: $d=0,2$; mittlerer Effekt: $d=0,5$; großer Effekt: $d=0,8$ (Cohen, 2013)). Das bedeutet, dass, bei Existenz eines kleinen bis mittelgroßen positiven Effekts in der Population, 80 % der Untersuchungen mit identischem Design wie Studie 1 einen signifikanten, positiven Effekt zeigen würden. Im Umkehrschluss lässt sich daraus schließen, dass, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von etwa 20 % kein kleiner bis mittelgroßer Effekt der in Studie 1

applizierten, akuten Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen existiert. Die statistische Power von Studie 1, einen kleinen, positiven Effekt akuter Ausdauerbelastungen zu zeigen, liegt hingegen nur noch bei etwa 40%. Geht man also davon aus, dass der Effekt in der Population nur klein ist, würden weniger als jede zweite Untersuchung mit identischem Design wie Studie 1 zu signifikanten Ergebnissen kommen. Studie 1 ist daher nicht geeignet, um einen kleinen, positiven Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen auszuschließen. Damit Studie 1 einen tatsächlich (in der Population) existierenden kleinen Effekt mit einer Wahrscheinlichkeit von 80% hätte zeigen können, hätten 280 Probanden in Studie 1 miteingeschlossen werden müssen. Da aber ursprünglich, wie oben berichtet, im Rahmen der á priori Fallzahlberechnung von Studie 1 von einem größeren Effekt ausgegangen wurde, wurden nur 121 Probanden für die Studie rekrutiert.

Die Meta-Analyse in Studie 3 zeigte, dass ein Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen existiert, dieser aber klein ist. Fehlende statistische Power von Studie 1 kommt damit als Erklärung der nicht-Replikation signifikanter, positiver Effekte in Studie 1 in Betracht.

Die Meta-Analyse in Studie 3 der vorliegenden Arbeit zeigt Heterogenität der in Studien erzielten Effekte. Tatsächlich existieren Studien, die von ausgeprägten, positiven Effekten (vgl. bspw. Byun et al., 2014; Chang et al., 2015; Kamijo, Nishihira, Higashiura, & Kuroiwa, 2007; Lowe, Hall, Vincent, & Luu, 2014) berichten. Es existieren aber auch Studien, die keine positiven Effekte oder sogar leicht abträgliche Wirkungen zeigen (vgl. bspw. Gothe et al., 2013; Weng, Pierce, Darling, & Voss, 2015). Offensichtlich existieren Moderatoren, die die Größe des Effekts in Studien beeinflussen. Die Fragestellungen zwei bis vier dieser Arbeit greifen die Unterschiedlichkeit der Effekte in Studien zum Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen auf. Genauer

betrachtet, gehen sie Vermutungen nach, dass methodische Schwächen zu ausgeprägteren Effekten und damit zu einer Überschätzung der Effekte führen.

2. Führt die Anwendung einer passiven Kontrollgruppenbehandlung dazu, dass Studien den Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen überschätzen?

Bei der zweiten Fragestellung dieser Arbeit stand die Frage im Raum, ob die Verwendung einer passiven Kontrollgruppe zu einer Überschätzung der Effekte führen könnte. Diese Vermutung stützte sich auf die in Kapitel 2.3.2 dargelegten Überlegungen, dass Sportinterventionen höhere Erwartungen bei den Probanden an kognitive Benefits wecken könnten als passive Kontrollgruppen, wie bspw. Warten, Lesen oder Fernsehen. Ein verschiedenes Ausmaß an Erwartungen könnte einen verzerrenden Einfluss passiver Kontrollgruppen vermitteln, weil Erwartungen eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Placebo-Effekten spielen (Brown, 2015). Hohe Erwartungen an die Wirksamkeit einer Intervention können zu positiven Effekten führen, ohne dass dies unmittelbar durch die eigentliche Intervention erklärbar wäre (vgl. bspw. Stewart-Williams & Podd, 2004). Wenn nun die Erwartungen der Probanden an akute Ausdauerbelastungen hinsichtlich nachfolgender kognitiver Benefits höher ausfallen würden als an passive Kontrollgruppen, könnte dies ein Hinweis auf Verzerrungen zugunsten positiver Effekte sein.

In Studie 2 wurden die Erwartungen junger, gesunder Erwachsener an passive- und aktive Kontrollgruppenbehandlungen mit ihren Erwartungen an akute Ausdauerbelastungen hinsichtlich Verbesserungen der Interferenzkontrollleistung bei der Stroop-Aufgabe verglichen. Die Ergebnisse von Studie 2 stützen die These von Überschätzungen des Effekts aufgrund erwartungsinduzierter Placebo-Effekte in Versuchsdesigns mit passiver Kontrollgruppe nicht. Die Probanden zeigten vergleichbare oder sogar deutlich positivere Erwartungen an passive Kontrollgruppenbehandlungen als an akute Ausdauerbelastungen hinsichtlich ihrer Leistung bei der Stroop-Aufgabe. Es konnten auch keine Unterschiede in den Erwartungsmustern zwischen passiven und aktiven Kontrollgruppenbehandlungen festgestellt werden. Die

Ergebnisse der meta-analytischen Moderatoranalyse in Studie 3 bekräftigen den Befund von Studie 2. Studien, die eine aktive Kontrollgruppenbehandlung verwendeten, zeigen im Mittel sogar einen größeren Effekt als Studien, die eine passive Kontrollgruppe verwendeten. Käme es zu erwartungsinduzierten Placebo-Effekten würde man von ausgeprägteren Effekten in Studien mit passiver Kontrollintervention ausgehen müssen.

Dass in Studie 3 kein Vorteil für Studien mit einer passiven Kontrollgruppe gezeigt werden konnte, ist auch ein starkes Indiz gegen Hawthorne Effekte. Die Experimental- und Kontrollgruppen in Versuchsdesigns mit passiver Kontrollgruppe unterschieden sich zwar offensichtlich durch den Grad der sozialen Zuwendung. Die Probanden der Belastungsgruppe erhalten ein angeleitetes Ausdauertraining, während die Probanden der Kontrollgruppen auf sich alleine gestellt im Wartezimmer sitzen, nichts tun, lesen oder einen Film schauen. Dieses Mehr an sozialer Zuwendung für die Probanden der Ausdauerbelastungsgruppen in Versuchsdesigns mit passiver Kontrollgruppe scheint die Interferenzkontrollleistung der jungen, gesunden Erwachsenen, jedoch nicht zusätzlich positiv zu beeinflussen.

Insgesamt liefern die Ergebnisse aus Studie 2 und Studie 3 der vorliegenden Arbeit sogar eher Hinweise darauf, dass die Effekte akuter Ausdauerbelastungen unterschätzt werden könnten. Die Ergebnisse von Studie 2 zeigen, dass junge gesunde Probanden positivere Erwartungen an zahlreiche, verbreitet eingesetzte, passive und aktive Kontrollgruppenbehandlungen, im Vergleich zu akuten Ausdauerbelastungen, hinsichtlich kognitiver Benefits haben. Dieser Befund lässt sich so lesen, dass eine Gefahr der Validität von Studienergebnissen nicht, wie ursprünglich vermutet, durch Placebo-Effekte, sondern vielmehr durch Nocebo-Effekte bestehen könnte. Nocebo-Effekte stellen gewissermaßen negative Placebo-Effekte dar. Nocebo-Effekte liegen vor, wenn negative Erwartungen an die Wirkung einer Intervention (Erwartungen einer abträglichen Wirkung) den eigentlichen unmittelbaren Effekt einer Intervention reduzieren oder zu einer Verschlechterung der Symptomatik führen (Hauser, Hansen, & Enck, 2012). Im Gegensatz zu einem Placebo-Effekt verringern Nocebo-Effekte also eine tatsächlich bestehende Wirkung einer Intervention bzw. täuschen eine negative

Wirkung bei Wirkungslosigkeit vor. Da nun negativere Erwartungen an akute Ausdauerbelastungen als an aktive und passive Kontrollgruppenbehandlungen gezeigt werden konnten, stellt sich also Frage, ob bisher publizierte Effekte den wahren Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen gesunden Erwachsenen nicht vielleicht sogar unterschätzen könnten.

Die Ergebnisse von Studie 2 zeigen besonders ausgeprägte Differenzen der Erwartungen der Probanden hinsichtlich Benefits in der Stroop-Aufgabe zwischen intensiven Ausdauerbelastungen und passiven sowie aktiven Kontrollgruppenbehandlungen. Von intensiven Ausdauerbelastungen versprechen sich die Probanden deutlich geringere Benefits bezüglich ihrer Leistung in einer anschließenden Stroop-Aufgabe als von passiven oder aktiven Kontrollgruppenbehandlungen. Dieser Befund hat Konsequenzen für die Interpretation von Befunden zur Dosis-Wirkungs-Beziehung akuter Ausdauerbelastungen und nachfolgender kognitiver Benefits. Bis heute wird von vielen Autoren ein umgekehrt U-förmiger Verlauf kognitiver Benefits mit zunehmender Intensität vorausgegangener Ausdauerbelastung postuliert (McMorris, 2015). Die Ergebnisse von Studie 2 legen den Verdacht nahe, dass die Abnahme kognitiver Benefits nach intensiven Ausdauerbelastungen, zumindest zum Teil, durch negativere Erwartungen der Probanden erklärbar sein könnte.

3. Führt das Fehlen einer Gewöhnungsbehandlung der Probanden an die kognitionspsychologischen Testverfahren dazu, dass Studien den Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen überschätzen?

Im Rahmen dritten Fragestellung dieser Arbeit wurde vermutet, dass akute Ausdauerbelastungen die Gewöhnungs- und Lernprozesse bei den Probanden an die Testsituation fördern und somit der Effekt auf Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen überschätzt wird. Der mögliche validitätsgefährdende Einfluss von Lerneffekten im experimentellen Design kann nur durch Gewöhnung bzw. Habituation der Probanden an die Testsituation und die Testverfahren im Vorfeld der eigentlichen

Untersuchung effektiv kontrolliert werden (vgl. Kapitel 2.3.2). Im Rahmen von Studie 3 wurden publizierte Studien hinsichtlich durchgeführter bzw. nicht durchgeführter Habituationsbehandlungen differenziert und die berichteten Effekte der beiden Gruppen miteinander verglichen. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Studien mit und ohne Habituationsbehandlung. Der mittlere Effekt aus Studien mit Habituationsbehandlung zeigte sich dem mittleren Effekt aus Studien ohne Habituationsbehandlung sogar leicht im Vorteil. Dieser Befund widerspricht der in der dritten Fragestellung dieser Arbeit zum Ausdruck gebrachten Vermutung. Offensichtlich findet keine Interaktion zwischen Versuchsbehandlungen und Lerneffekten statt. Es gibt keine Anhaltspunkte, dass der Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen durch das Fehlen einer Habituationsbehandlung vor der Untersuchung überschätzt wird.

4. Führt die Verwendung der Testleistung der Probanden in der inkongruenten Testbedingung als abhängige Variable dazu, dass Studien den Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen überschätzen?

Im Rahmen der vierten Fragestellung dieser Arbeit wurde vermutet, dass die ausschließliche Verwendung der Testleistung der Probanden in der inkongruenten Testbedingung als Zielvariable zu einer Überschätzung der tatsächlichen Effekte akuter Ausdauerbelastungen führt. Diese Vermutung basierte auf der Tatsache, dass die Testleistung der Probanden in der inkongruenten Testbedingung, um die ihre Testleistung in der kongruenten/neutralen Bedingung bereinigt werden sollte. Nur dieses Vorgehen ermöglicht die Trennung der Interferenzkontrollleistung der Probanden von ihrer basalen Informationsverarbeitungskapazität (vgl. Kapitel 2.3.2). Am Beispiel der Stroop-Aufgabe sollten also die mittleren Reaktionszeiten eines Probanden in der inkongruenten Bedingung (Benennen der Druckfarbe eines Farbwortes, das semantisch eine abweichende Farbe ausdrückt) von seiner Testleistung in der kongruenten Bedingung (Benennen der Druckfarbe

eines Farbwortes, das semantisch die identische Farbe ausdrückt) bereinigt werden. Dies kann unter anderem durch Subtraktion geschehen. Wird nur die Testleistung der Probanden in der inkongruenten Bedingung verwendet, kann eine ausdauerbelastungsinduzierte Veränderung der Testleistung durch eine Veränderung der Interferenzkontrollleistung aber auch durch eine Veränderung der basalen Informationsverarbeitungskapazität (oder beidem) bedingt sein. Eine Gefahr, dass die ausschließliche Verwendung der Testleistung der Probanden in der inkongruenten Testbedingung als Zielvariable zu einer Überschätzung der tatsächlichen Effekte akuter Ausdauerbelastungen führt, erscheint wahrscheinlich, da Verbesserungen basaler Informationsverarbeitungskapazität nach akuten Ausdauerbelastungen seit langem bekannt sind (Allard, Brawley, & Deakin, 1989; Brisswalter, Arcelin, Audiffren, & Delignières, 1997; Collardeau, Brisswalter, & Audiffren, 2001; Tomporowski, 2003).

In Studie 3 der vorliegenden Arbeit wurden die international publizierten Studien zum Effekt akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen hinsichtlich der in diesen verwendeten Zielvariablen differenziert. Studien, die ausschließlich die Testleistung der Probanden in der inkongruenten Testbedingung als Zielvariable nutzten, zeigten einen minimalen empirischen Vorteil gegenüber Studien, die eine um die basale Informationskapazität der Probanden bereinigte Zielvariable nutzten ($g=-.28$ vs. $g=-.23$). Trotz der hohen statistischen Power der Meta-Analyse in Studie 3 erreichte der Unterschied jedoch keine statistische Signifikanz und kann damit nicht als systematisch bezeichnet werden.

Die vorliegende Arbeit liefert damit keine belastbaren Hinweise dafür, dass die Wahl der Testleistung der Probanden in der inkongruenten Testbedingung zu einer Überschätzung der Effekte führt. Der Befund, dass die Wahl der Zielvariable keinen systematischen Einfluss auf die Höhe des Effekts hat, hat jedoch Konsequenzen für die bisherige Sichtweise auf die Effekte akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende basale Informationsverarbeitungsleistungen. Die Tatsache, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen inkongruenter Testleistung und um die basale Informationsverarbeitungsleistung der Probanden bereinigter Testleistung

gefunden wurden, rührt Zweifel an ausdauerbelastungsinduzierten Benefits der basalen Informationsverarbeitungsleistung. Wenn sowohl die basale Informationsverarbeitungskapazität der Probanden als auch ihre Interferenzkontrollleistung von der vorausgegangenen akuten Belastung profitiert hätten, wären stärkere, weil aufsummierte, Effekte für die inkongruente Testleistung als Zielvariable erwartbar gewesen.

5.2 Methodendiskussion

Bei der Erforschung der Wirkung von Sport und Bewegung auf kognitive Leistungen muss besonders genau auf unzulässige Verallgemeinerungen geachtet werden. Diese Notwendigkeit ergibt sich aus der Tatsache, dass sowohl Sport und Bewegung als auch Kognition übergeordnete Begriffe für weite Phänomen-Bereiche darstellen. So lassen sich bspw. positive Effekte, die nach Ausdauersport festgestellt werden, nicht ohne weiteres auf Krafttraining übertragen. Ähnliches gilt für wiederholte und einmalige Belastungen, Effekte auf die verschiedenen kognitiven Subdomänen sowie Untersuchungen bei verschiedenen Zielgruppen. Die vorliegende Arbeit hat sich bemüht, diesem Anspruch der Spezifität gerecht zu werden. Mit dem Effekt von Ausdauersport auf Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen wurde das Untersuchungsfeld eng gefasst. Dieser Ansatz wurde jedoch an einer Stelle nicht konsequent aufrechterhalten. So wurden die Moderatorenanalysen in Studie 3 der vorliegenden Arbeit über alle Altersgruppen hinweg durchgeführt. Damit kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich die untersuchten methodischen Schwachstellen bei jungen, gesunden Erwachsenen anders niederschlagen als bei älteren Erwachsenen, Adoleszenten oder präadoleszenten Kindern. Eine detailliertere, nur auf junge, gesunde Erwachsene bezogene Moderatorenanalyse wäre zur weiteren Abklärung der Befunde wünschenswert.

Die Moderatorenanalyse in Studie 3 der vorliegenden Arbeit hat den Einfluss methodischer Schwächen einzeln, nicht jedoch den Einfluss ihrer Interaktionen untersucht. So können

Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Moderator Stufen nicht ausgeschlossen werden. Beispielsweise könnten sich fehlende Habituation an die kognitiven Testverfahren nur bei bestimmten Altersgruppen verzerrend auswirken, bei anderen Altersgruppen hingegen keinen Einfluss nehmen. Solche Untersuchungen sind grundsätzlich auf Ebene meta-analytischer Verfahren möglich, scheitern jedoch meistens an einer zu geringen Anzahl vorhandener Studien. Im Bereich von Akuteffekten von Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen könnte die stetig wachsende Anzahl an Studien solche Untersuchungen in Zukunft jedoch möglich machen.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass meta-analytische Subgruppenanalysen grundsätzlich keine experimentellen Gruppenvergleiche darstellen. In Experimenten werden die Probanden zufällig den Versuchsgruppen zugeordnet. Für meta-analytische Subgruppenanalysen werden Studien aufgrund von bestimmten Merkmalen (und damit nicht zufällig) post-hoc Subgruppen zugeordnet. Damit findet keine Kontrolle möglicher Störvariablen statt. Es kann also nicht ausgeschlossen werden, dass Faktoren, die sich auf die Interferenzkontrolle auswirken und systematisch mit den getesteten Moderatorvariablen kovariieren, die Ergebnisse verfälschen (Borenstein, Hedges, Higgins, & Rothstein, 2009).

Der in dieser Arbeit vorgestellte Forschungsverlauf entspricht nicht dem klassischen Ablauf empirischer Forschungsarbeit. Klassischerweise steht die systematische Literaturübersicht samt meta-analytischer Auswertung am Beginn und nicht am Ende von Untersuchungen zu einer leitenden Fragestellung. Auf der Grundlage der Ergebnisse der Literatuarbeit werden dann eigene empirische Studien realisiert, die das Forschungsgebiet weiter ausbauen.

In dieser Arbeit steht eine große Primärstudie, Studie 1, am Beginn der Beschäftigung mit diesem Thema. Ursprünglich sollte sie den Auftakt zur Erforschung der physiologischen Mediatoren positiver Effekte akuter Ausdauerbelastungen auf kognitive Leistungen darstellen. Die nicht-signifikanten Ergebnisse von Studie 1 zwangen uns jedoch zur Umplanung. Die

Existenz positiver Effekte musste zunächst noch einmal insgesamt in Frage gestellt werden. Dabei stand die Rolle methodischer Schwachpunkte existierender Studien im Zentrum der Aufmerksamkeit, da Studie 1 eine Vielzahl verbreiteter methodischer Fehler vermied.

Ganz besonders die Rolle passiver Kontrollgruppen stand unter dem Verdacht, zu Überschätzungen des Effekts akuter Ausdauerbelastungen zu führen. Es wurde erwartet, dass Studie 2 dies würde zeigen können. Als sich dies nicht bewahrheitete, wurden weitere methodische Schwachpunkte der in der Literatur veröffentlichten Studien als Moderatoren in Erwägung gezogen. Es wurde erst dann auf die Methoden der systematischen Literaturrecherche und Meta-Analyse zurückgegriffen.

Die vorliegende Arbeit kann sich damit nicht der Kritik eines unsystematischen Forschungsansatzes entziehen. Wenn die systematische Literaturrecherche am Beginn gestanden hätte, hätten Ressourcen sinnvoller genutzt werden können. Die Befunde der Meta-Analyse in Studie 3 liefert Antworten auf alle in dieser Arbeit behandelten Fragen. Die Studien 1 und 2 dieser Arbeit als eigene experimentelle Studien reichern diese Befunde jedoch zusätzlich an und bekräftigen die Ergebnisse des systematischen Reviews.

6. Schlussfolgerung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass akute Ausdauerbelastungen nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen verbessern. Gleichzeitig macht sie deutlich, dass diese Effekte klein sind. Methodische Schwächen in Gestalt passiver Kontrollgruppen, fehlender Gewöhnungsbehandlung bzw. Habituation an die Testverfahren und die Verwendung der inkongruenten Testleistung als abhängige Variable führen nicht zu einer Überschätzung der Effekte.

Welche praktische Relevanz kleine Verbesserungen der Interferenzkontrollleistung bei jungen, gesunden Erwachsenen haben können, kann nicht allgemeingültig beantwortet werden. Der jeweilige Kontext der betreffenden Personen muss dazu mitberücksichtigt werden. So dürften kleine Effekte bei alltäglichen Anforderungen, wie sie in Studium oder Beruf auftreten, kaum spürbar werden. In Situationen mit extremen Anforderungen an schnelle und akkurate Reaktionen auf bestimmte Reize, während ablenkende Reize ausgeblendet werden müssen (bspw. im eSport Bereich), könnten kleine Vorteile jedoch einen entscheidenden Unterschied bedeuten. Studien hierzu stehen noch aus. Studie 3 dieser Arbeit macht deutlich, dass andere Altersgruppen stärker profitieren als junge, gesunde Erwachsene. Dieser Effekt könnte im Bereich von Menschen mit kognitiven Einschränkungen bzw. Erkrankung des zentralen Nervensystems noch ausgeprägter sein. Es ist denkbar, dass die akute Wirkung von Ausdauerbelastungen bei Menschen, die bspw. an Multipler Sklerose, Depressionen, Schizophrenie oder Chemobrain erkrankt sind, außerordentlich profitieren. Zukünftige Studien sollten dem nachgehen.

Zukünftige Arbeiten können auf den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit aufbauen. Zum einen kann die Gültigkeit der Befunde weiter untersucht werden. Hier bleibt etwa die Frage offen, ob ein Publikationsbias im Bereich der Erforschung von Effekten akuter Ausdauerbelastungen auf nachfolgende Interferenzkontrollleistungen bei jungen, gesunden Erwachsenen vorliegt. Zum anderen sollte sich der Frage der Mediatoren der Effekte

zugewandt werden. Welche psychologischen und/oder neurobiologischen Mechanismen vermitteln selbst bei jungen, gesunden Erwachsenen die kognitive Verbesserung durch die belastungsinduzierte Erregung? In dieser Frage steckt die eigentliche Rationale für die Forschung an Akutbelastungs-induzierten Effekten körperlicher Aktivität.

In Kapitel 2.2.2 dieser Arbeit werden kognitionspsychologische und neurobiologische Erklärungsansätze dargestellt. Zukünftige Forschung sollte sich dem Anspruch stellen die nachgewiesenen Effekte körperlicher Aktivität auf psychologische und neurobiologische Faktoren, die die Kognition und das zentrale Nervensystem beeinflussen könnten, mit kognitiven Testleistungen unmittelbar in Verbindung zu bringen. Aus dem psychologischen Bereich stellen die Selbstwirksamkeit und die Motivation sicher vielversprechende, potentielle Mediatoren der Akutwirkung körperlicher Belastung auf kognitive Prozesse da. Aus dem Bereich der neurobiologischen Forschung stellt die belastungsinduziert gesteigerte zerebrale Durchblutung, eine vermehrte zerebrale Neurotrophinexpression und/oder eine gesteigerte Laktatkonzentration vielversprechende Mediatoren da. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten sich dabei jedoch nicht nur auf bivariate Korrelationen zwischen Ausmaß der Veränderung des psychologischen/neurobiologischen Faktors und der kognitiven Testleistung beschränken, Es sollten adäquate regressionsbasierte, multivariate Pfadanalysen durchgeführt werden.

Eine weiterführende Forschungsfrage, die sich unmittelbar aus den Erkenntnissen zu Akuteffekten von Ausdauerbelastungen auf nachfolgende kognitive Leistungen ableiten lässt, ist die nach Verbesserungen kognitiver Regenerationsprozesse durch Ausdauerbelastungen. Können akute Ausdauerbelastungen, die auf starke kognitive Anstrengungen folgen, eine Wiederherstellung des Ausgangswertes der kognitiven Leistungsfähigkeit beschleunigen? Eine solche Vertiefung der Forschung zu Akuteffekten körperlicher Belastungen auf nachfolgende kognitive Leistungen hätte zahlreiche denkbare Anwendungsfelder. Diese reichen von aktiven Pausen bei kognitiv stark beanspruchten Berufsgruppen wie bspw. Fluglotsen) bis hin zu einer Sequenzierung von Sportunterricht und Sachunterricht in der Schule. Auch im therapeutischen Kontext ließe sich über effektive Wechsel zwischen

Psychotherapie und Sporttherapie spekulieren, sollten sich Verbesserungen der kognitiven Regeneration durch Ausdauersport zeigen.

7. Literaturverzeichnis

- Alexander, W. H., & Brown, J. W. (2010). Computational models of performance monitoring and cognitive control. *Topics in Cognitive Science*, 2(4), 658–677. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2010.01085.x>
- Allard, F., Brawley, L. R., & Deakin, J. (1989). The effect of exercise on visual attention performance. *Human Performance*, 2(2), 131–145.
- Alves, C. R. R., Tessaro, V. H., Teixeira, L. A. C., Murakava, K., Roschel, H., Gualano, B., & Takito, M. Y. (2014). Influence of acute high-intensity aerobic interval exercise bout on selective attention and short-term memory tasks. *Perceptual And Motor Skills*, 118(1), 63–72. Retrieved from <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cmedm&AN=24724513&site=ehost-live>
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D., & Zagrodnik, J. (2009). Acute aerobic exercise and information processing: Modulation of executive control in a Random Number Generation task. *Acta Psychologica*, 132(1), 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2009.06.008>
- Basso, J. C., Shang, A., Elman, M., Karmouta, R., & Suzuki, W. A. (2015). Acute Exercise Improves Prefrontal Cortex but not Hippocampal Function in Healthy Adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 21(10), 791–801. <https://doi.org/10.1017/S135561771500106X>
- Borenstein, M., Hedges, L. V, Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to Meta-Analysis*. West Sussex: Wiley & Sons.
- Brisswalter, J., Arcelin, R., Audiffren, M., & Delignières, D. (1997). Influence of Physical Exercise on Simple Reaction Time: Effect of Physical Fitness. *Perceptual and Motor Skills*, 85(3), 1019–1027. <https://doi.org/10.2466/pms.1997.85.3.1019>
- Brown, D. M. Y., & Bray, S. R. (2015). Isometric exercise and cognitive function: an

investigation of acute dose–response effects during submaximal fatiguing contractions. *Journal of Sports Sciences*, 33(5), 487–497. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=sph&AN=100696739&site=ehost-live>

Brown, W. A. (2015). Expectation, the placebo effect and the response to treatment. *Rhode Island Medical Journal* (2013), 98(5), 19–21.

Brydges, C. R., Anderson, M., Reid, C. L., & Fox, A. M. (2013). Maturation of cognitive control: delineating response inhibition and interference suppression. *PloS One*, 8(7), e69826–e69826. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069826>

Byun, K., Hyodo, K., Suwabe, K., Ochi, G., Sakairi, Y., Kato, M., ... Soya, H. (2014). Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: an fNIRS study. *NeuroImage*, 98, 336–345. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.04.067>

Cai, W., & Leung, H.-C. (2011). Rule-Guided Executive Control of Response Inhibition: Functional Topography of the Inferior Frontal Cortex. *PLoS ONE*, 6(6), e20840. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020840>

Chang, Y.-K., Chu, C.-H., Wang, C.-C., Wang, Y.-C., Song, T.-F., Tsai, C.-L., & Etnier, J. L. (2015). Dose-response relation between exercise duration and cognition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(1), 159–165. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000383>

Chang, Y. K., Alderman, B. L., Chu, C., Wang, C., Song, T., & Chen, F. (2017). Acute exercise has a general facilitative effect on cognitive function: A combined ERP temporal dynamics and BDNF study. *Psychophysiology*, 54(2), 289–300. Retrieved from yukaichangnew@gmail.com

Chang, Y. K., Chu, C.-H., Wang, C.-C., Wang, Y.-C., Song, T.-F., Tsai, C.-L., & Etnier, J. L.

- (2015). Dose-response relation between exercise duration and cognition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(1), 159–165.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000383>
- 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.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- Cian, C., Barraud, P. A., Melin, B., & Raphel, C. (2001). Effects of fluid ingestion on cognitive function after heat stress or exercise-induced dehydration. *International Journal of Psychophysiology*, 42(3), 243–251. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(01\)00142-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(01)00142-8)
- Cieslik, E. C., Mueller, V. I., Eickhoff, C. R., Langner, R., & Eickhoff, S. B. (2015). Three key regions for supervisory attentional control: evidence from neuroimaging meta-analyses. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 48, 22–34.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.11.003>
- Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Hoboken: Taylor and Francis. Retrieved from <http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1192162>
- Coles, K., & Tomporowski, P. D. (2008). Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *Journal of Sports Sciences*, 26(3), 333–344.
<https://doi.org/10.1080/02640410701591417>
- Collardeau, M., Brisswalter, J., & Audiffren, M. (2001). Effects of a Prolonged Run on Simple Reaction Time of Well Trained Runners. *Perceptual and Motor Skills*, 93(3), 679–689.
<https://doi.org/10.2466/pms.2001.93.3.679>
- Cooper, S. B., Bandelow, S., Nute, M. L., Dring, K. J., Stannard, R. L., Morris, J. G., & Nevill, M. E. (2016). Sprint-based exercise and cognitive function in adolescents. *Preventive Medicine Reports*, 4, 155–161. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2016.06.004>

- Cragg, L. (2016). The development of stimulus and response interference control in midchildhood. *Developmental Psychology*, 52(2), 242–252. <https://doi.org/10.1037/dev0000074>
- Cummings, J. L. (1995). Anatomic and behavioral aspects of frontal-subcortical circuits. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769, 1–13.
- Dalsgaard, M. K., Quistorff, B., Danielsen, E. R., Selmer, C., Vogelsang, T., & Secher, N. H. (2004). A reduced cerebral metabolic ratio in exercise reflects metabolism and not accumulation of lactate within the human brain. *The Journal of Physiology*, 554(Pt 2), 571–578. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.055053>
- Davidson, D. J., Zacks, R. T., Williams, C. C., & Lansing, E. (2007). Stroop Interference, Practice, and Aging. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn.*, 10(2), 85–98.
- Derrfuss, J., Brass, M., Neumann, J., & von Cramon, D. Y. (2005). Involvement of the inferior frontal junction in cognitive control: meta-analyses of switching and Stroop studies. *Human Brain Mapping*, 25(1), 22–34. <https://doi.org/10.1002/hbm.20127>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Dimitrova, J., Hogan, M., Khader, P., O’Hora, D., Kilmartin, L., Walsh, J. C., ... Anderson-Hanley, C. (2017). Comparing the effects of an acute bout of physical exercise with an acute bout of interactive mental and physical exercise on electrophysiology and executive functioning in younger and older adults. *Aging Clinical And Experimental Research*, 29(5), 959–967. <https://doi.org/10.1007/s40520-016-0683-6>
- Douris, P. C., Handrakis, J. P., Apergis, D., Mangus, R. B., Patel, R., Limtao, J., ... Luty, E. (2018). The Effects of Aerobic Exercise and Gaming on Cognitive Performance. *Journal of Human Kinetics*, 61(1), 73–83. Retrieved from

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=sph&AN=128823842&site=ehost-live>

Drollette, E. S., Scudder, M. R., Raine, L. B., Moore, R. D., Saliba, B. J., Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (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. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2013.11.001>

Easterbrook, J. A. (1959). The effect of emotion on cue utilization and the organization of behavior. *Psychological Review*. US: American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/h0047707>

Endo, K., Matsukawa, K., Liang, N., Nakatsuka, C., Tsuchimochi, H., Okamura, H., & Hamaoka, T. (2013). Dynamic exercise improves cognitive function in association with increased prefrontal oxygenation. *The Journal Of Physiological Sciences: JPS*, 63(4), 287–298. <https://doi.org/10.1007/s12576-013-0267-6>

Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16, 143–149. <https://doi.org/10.3758/BF03203267>

Friedenberg, J., & Silverman, G. (2012). *Cognitive Science: An Introduction to the Study of Mind* (2nd editio). London: SAGE Publications. Retrieved from <https://books.google.de/books?id=M31ZDwAAQBAJ>

Fuster, J. M. (2001). The prefrontal cortex--an update: time is of the essence. *Neuron*, 30(2), 319–333.

Gläscher, J., Adolphs, R., Damasio, H., Bechara, A., Rudrauf, D., Calamia, M., ... Tranel, D. (2012). Lesion mapping of cognitive control and value-based decision making in the prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*

of America, 109(36), 14681–14686. <https://doi.org/10.1073/pnas.1206608109>

Golden, C. J. (1978). *Stroop Color and Word Test A Manual for Clinical and Experimental Uses*. Wood Dale, Illinois: Stoelting Company.

Gothe, N., Pontifex, M. B., Hillman, C., & McAuley, E. (2013). The Acute Effects of Yoga on Executive Function. *Journal of Physical Activity and Health*, 10(4), 488–495. <https://doi.org/10.1123/jpah.10.4.488>

Griffin, E. W., Mullally, S., Foley, C., Warmington, S. A., O'Mara, S. M., & Kelly, A. M. (2011). Aerobic exercise improves hippocampal function and increases BDNF in the serum of young adult males. *Physiology & Behavior*, 104(5), 934–941. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.06.005>

Häcker, H. (2014). Interferenzneigung. In M. A. Wirtz (Ed.), *Dorsch - Lexikon der Psychologie* (18. Auflag, p. 772). Bern: Hogrefe Verlag.

Hallett, P. E. (1978). Primary and secondary saccades to goals defined by instructions. *Vision Research*, 18(10), 1279–1296.

Hart, H., Radua, J., Nakao, T., Mataix-Cols, D., & Rubia, K. (2013). Meta-analysis of functional magnetic resonance imaging studies of inhibition and attention in attention-deficit/hyperactivity disorder: exploring task-specific, stimulant medication, and age effects. *JAMA Psychiatry*, 70(2), 185–198. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2013.277>

Hartshorne, J. K., & Germine, L. T. (2015). When Does Cognitive Functioning Peak? The Asynchronous Rise and Fall of Different Cognitive Abilities Across the Life Span. *Psychological Science*, 26(4), 433–443. <https://doi.org/10.1177/0956797614567339>

Hauser, W., Hansen, E., & Enck, P. (2012). Nocebo phenomena in medicine: their relevance in everyday clinical practice. *Deutsches Arzteblatt International*, 109(26), 459–465. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0459>

- Hillman, C. H., Snook, E. M., & Jerome, G. J. (2003). Acute cardiovascular exercise and executive control function. *Int. J. Psychophysiol.*, *48*(03), 307–314. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(03\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(03)00080-1)
- Hollmann, W., & Strüder, H. (2003). Gehirngesundheit, -leistungs-fähigkeit und körperliche Aktivität. *Deutsche Zeitschrift Für Sportmedizin*, *54*(9), 265–266.
- Hollmann, W., Strüder, H. K., & Tagarakis, C. (2003). Körperliche Aktivität fördert Gehirngesundheit und -leistungsfähigkeit. Übersicht und eigene Befunde. *Nervenheilkunde : Zeitschrift für interdisziplinäre Fortbildung*, *22*(9), S. 467-474.
- Hwang, J., Brothers, R. M., Castelli, D. M., Glowacki, E. M., Chen, Y. T., Salinas, M. M., ... Calvert, H. G. (2016). Acute high-intensity exercise-induced cognitive enhancement and brain-derived neurotrophic factor in young, healthy adults. *Neuroscience Letters*, *630*, 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.07.033>
- Ide, K., Schmalbruch, I. K., Quistorff, B., Horn, A., & Secher, N. H. (2000). Lactate, glucose and O₂ uptake in human brain during recovery from maximal exercise. *The Journal of Physiology*, *522 Pt 1*, 159–164.
- Ide, K., & Secher, N. H. (2000). Cerebral blood flow and metabolism during exercise. *Progress in Neurobiology*, *61*(4), 397–414.
- Janse Van Rensburg, K., & Taylor, A. H. (2008). The effects of acute exercise on cognitive functioning and cigarette cravings during temporary abstinence from smoking. *Human Psychopharmacology*, *23*(3), 193–199. <https://doi.org/10.1002/hup.925>
- Joyce, J., Graydon, J., McMorris, T., & Davranche, K. (2009). The time course effect of moderate intensity exercise on response execution and response inhibition. *Brain and Cognition*, *71*(1), 14–19. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2009.03.004>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Michigan: Prentice-Hall. Retrieved from <https://books.google.de/books?id=7kvuAAAAMAAJ>

- Kamijo, K., Hayashi, Y., Sakai, T., Yahiro, T., Tanaka, K., & Nishihira, Y. (2009). Acute effects of aerobic exercise on cognitive function in older adults. *The Journals of Gerontology: Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 64(3), 356–363. Retrieved from kkamijo@aoni.waseda.jp
- Kamijo, K., Nishihira, Y., Higashiura, T., & Kuroiwa, K. (2007). The interactive effect of exercise intensity and task difficulty on human cognitive processing. *International Journal of Psychophysiology*, 65(2), 114–121. Retrieved from k.kamijo@aist.go.jp
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Bigler, E. D., & Tranel, D. (2012). *Neuropsychological Assessment* (5th editio). Oxford: Oxford University Press. Retrieved from <https://books.google.de/books?id=hryvBAAAQBAJ>
- Lin, Y. L. (2010). *Flanker Interference in Younger and Older Adults: Does Training Influence Focusing of Attention?* University of Waterloo. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/998c/b6025b1f379acb213bd8ce3369535484c822.pdf>
- Lowe, C. J., Hall, P. A., Vincent, C. M., & Luu, K. (2014). The effects of acute aerobic activity on cognition and cross-domain transfer to eating behavior. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 267. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00267>
- Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., & Pühse, U. (2016). Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis. *Psychophysiology*, 53(11), 1611–1626. <https://doi.org/10.1111/psyp.12736>
- McCambridge, J., Witton, J., & Elbourne, D. R. (2014). Systematic review of the Hawthorne effect: New concepts are needed to study research participation effects. *Journal of Clinical Epidemiology*, 67(3), 267–277. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2013.08.015>
- McMorris, T. (2015). *Exercise-Cognition Interaction: Neuroscience Perspectives*. London: Elsevier Ltd. Retrieved from

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=109329>

1

- Miller, B. L., & Cummings, J. L. (2007). *The Human Frontal Lobes: Functions and Disorders*. Guilford Publications. Retrieved from <https://books.google.de/books?id=hBcPYvqE19QC>
- Moore, R. D., Romine, M. W., O'connor, P. J., & Tomporowski, P. D. (2012). The influence of exercise-induced fatigue on cognitive function. *Journal Of Sports Sciences*, 30(9), 841–850. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.675083>
- Müller, S. V, Hildebrandt, H., & Münte, T. F. (2004). *Kognitive Therapie bei Störungen der Exekutivfunktionen: ein Therapiemanual*. Göttingen: Hogrefe. Retrieved from <https://books.google.de/books?id=KHD3mgEACAAJ>
- Murray, N. P., & Russoniello, C. (2012). Acute physical activity on cognitive function: a heart rate variability examination. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 37(4), 219–227. <https://doi.org/10.1007/s10484-012-9196-z>
- Norman, D., & Shallice, T. (1980). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and Self-Regulation*. New York: Plenum Press.
- O'Leary, K. C., Pontifex, M. B., Scudder, M. R., Brown, M. L., & Hillman, C. H. (2011). The effects of single bouts of aerobic exercise, exergaming, and videogame play on cognitive control. *Clinical Neurophysiology*, 122(8), 1518–1525. Retrieved from chillma@illinois.edu,
- Park, S. Y., & Etnier, J. L. (2019). Beneficial effects of acute exercise on executive function in adolescents. *Journal of Physical Activity and Health*, 16(6), 423–429. <https://doi.org/10.1123/jpah.2018-0219>
- Passingham, R. E. (1993). *The frontal lobes and voluntary action*. Oxford psychology series, No. 21. Oxford: Oxford University Press.

- Paus, T., Castro-Alamancos, M. A., & Petrides, M. (2001). Cortico-cortical connectivity of the human mid-dorsolateral frontal cortex and its modulation by repetitive transcranial magnetic stimulation. *The European Journal of Neuroscience*, 14(8), 1405–1411.
- Persky, J. (1990). Retrospectives: Ceteris Paribus. *Journal of Economic Perspectives*, 4(2), 187–193. <https://doi.org/10.1257/jep.4.2.187>
- Peter, J. P. (1981). Construct Validity: A Review of Basic Issues and Marketing Practices. *Journal of Marketing Research*, 28, 133–145. <https://doi.org/10.2307/3150948>
- Pettigrew, C., & Martin, R. C. (2014). Cognitive declines in healthy aging: Evidence from multiple aspects of interference resolution. *Psychology and Aging*. Pettigrew, Corinne: Division of Cognitive Neuroscience, Department of Neurology, Johns Hopkins University School of Medicine, 1620 McElderry Street, Reed Hall West – 1, Baltimore, MD, US, 21205, corinne.pettigrew@gmail.com: American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/a0036085>
- Pontifex, M. B., McGowan, A. L., Chandler, M. C., Gwizdala, K. L., Parks, A. C., Fenn, K., & Kamijo, K. (2019). A primer on investigating the after effects of acute bouts of physical activity on cognition. *Psychology of Sport & Exercise*, 40, 1–22. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=sph&AN=133300748&site=ehost-live>
- Prigatano, G. P. (1992). Personality disturbances associated with traumatic brain injury. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*. US: American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.60.3.360>
- Seiferth, N. Y., & Thienel, R. (2013). Exekutive Funktionen. In F. Schneider & F. Gereon (Eds.), *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie* (2nd editio, pp. 359–374). Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal*

Society of London. Series B, Biological Sciences, 298(1089), 199–209.
<https://doi.org/10.1098/rstb.1982.0082>

Sibley, B. A., & Beilock, S. L. (2007). Exercise and working memory: an individual differences investigation. *Journal Of Sport & Exercise Psychology*, 29(6), 783–791. Retrieved from <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psyh&AN=2007-18489-017&site=ehost-live>

Sibley, B. A., Etnier, J. L., & Le Masurier, G. C. (2006). Effects of an Acute Bout of Exercise on Cognitive Aspects of Stroop Performance. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 28(3), 285–299. Retrieved from <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psyh&AN=2006-11698-008&site=ehost-live>

Simon, J. Richard, & Rudell, A. P. (1967). Auditory S-R compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology*, 51, 300–304.
<https://doi.org/10.1037/h0020586>

Simon, J R, Proctor, R. W., & Reeve, T. G. (1990). The Effects of an Irrelevant Directional Cue on Human Information Processing. In R. W. Proctor & T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus-response compatibility: An integrated perspective* (pp. 31–88). North-Holland: Oxford.

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.
<https://doi.org/10.1016/j.nlm.2014.08.004>

Srinagesh, K. (2006). *The Principles of Experimental Research. The Principles of Experimental Research*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7926-8.X5000-6>

Stewart-Williams, S., & Podd, J. (2004). The placebo effect: dissolving the expectancy versus conditioning debate. *Psychological Bulletin*, 130(2), 324–340.

<https://doi.org/10.1037/0033-2909.130.2.324>

Stillman, C. M., Watt, J. C., Grove, G. A. J., Wollam, M. E., Uyar, F., Mataro, M., ... Erickson, K. I. (2016). Physical activity is associated with reduced implicit learning but enhanced relational memory and executive functioning in young adults. *PLoS ONE*, *11*(9). Retrieved from <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psyh&AN=2016-43084-001&site=ehost-live>

Stothart, C. R., Simons, D. J., Boot, W. R., & Kramer, A. F. (2014). Is the effect of aerobic exercise on cognition a placebo effect? *PloS One*, *9*(10), e109557. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109557>

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*, 643–662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>

Swick, D., & Jovanovic, J. (2002). Anterior cingulate cortex and the Stroop task: neuropsychological evidence for topographic specificity. *Neuropsychologia*, *40*(8), 1240–1253.

Szabo, A. (2013). Acute psychological benefits of exercise: reconsideration of the placebo effect. *Journal of Mental Health (Abingdon, England)*, *22*(5), 449–455. <https://doi.org/10.3109/09638237.2012.734657>

Themanson, J. R., & Hillman, C. H. (2006). Cardiorespiratory fitness and acute aerobic exercise effects on neuroelectric and behavioral measures of action monitoring. *Neuroscience*, *141*(2), 757–767. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.04.004>

Thompson, J. J., Blair, M. R., & Henrey, A. J. (2014). Over the Hill at 24: Persistent Age-Related Cognitive-Motor Decline in Reaction Times in an Ecologically Valid Video Game Task Begins in Early Adulthood. *PLOS ONE*, *9*(4), e94215. Retrieved from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094215>

Tomprowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*,

112(3), 297–324.

- Ullsperger, M., & Derrfuß, J. (2012). Funktionen frontaler Strukturen. In H.-O. Karnath & P. Thier (Eds.), *Kognitive Neurowissenschaften* (pp. 586–593). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- van Mourik, R., Oosterlaan, J., & Sergeant, J. A. (2005). The Stroop revisited: A meta-analysis of interference control in AD/HD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 46(2), 150–165. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00345.x>
- Van Rensburg, K. J., & Taylor, A. H. (2008). The effects of acute exercise on cognitive functioning and cigarette cravings during temporary abstinence from smoking. *Human Psychopharmacology: Clinical and Experimental*, 23(3), 193–199. Retrieved from kj214@exeter.ac.uk
- Welch, D. B., & Seitz, A. R. (2013). Processing irrelevant location information: practice and transfer effects in a Simon task. *PloS One*, 8(7), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064993>
- Weng, T. B., Pierce, G. L., Darling, W. G., & Voss, M. W. (2015). Differential Effects of Acute Exercise on Distinct Aspects of Executive Function. *Medicine And Science In Sports And Exercise*, 47(7), 1460–1469. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000542>
- Whitley, E., Deary, I. J., Ritchie, S. J., Batty, G. D., Kumari, M., & Benzeval, M. (2016). Variations in cognitive abilities across the life course: Cross-sectional evidence from Understanding Society: The UK Household Longitudinal Study. *Intelligence*, 59, 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2016.07.001>
- 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(4), 597–609. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2006.11.003>
- Wöstmann, N. M., Aichert, D. S., Costa, A., Rubia, K., Möller, H.-J., & Ettinger, U. (2013).

Reliability and plasticity of response inhibition and interference control. *Brain and Cognition*, 81(1), 82–94. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.09.010>

Yanagisawa, H., Dan, I., Tsuzuki, D., Kato, M., Okamoto, M., Kyutoku, Y., & Soya, H. (2010). Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. *NeuroImage*, 50(4), 1702–1710. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.12.023>

Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit Formation. *Journal of Comparative Neurology & Psychology*, 18, 459–482. <https://doi.org/10.1002/cne.920180503>

Zimmer, P., Oberste, M., & Bloch, W. (2015). Einfluss von Sport auf das zentrale Nervensystem – Molekulare und zelluläre Wirkmechanismen. *Deutsche Zeitschrift Für Sportmedizin*, 66(2), 42–49. <https://doi.org/10.5960/dzsm.2015.164>

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zufällig ausgewählte Beispiele der populärwissenschaftlichen Berichterstattung zum Thema Sport, Gehirn und Kognition der vergangenen Jahre