

**Der Einfluss eines regelmäßigen aeroben  
Ausdauertrainings  
auf die Farb-Wort-Interferenzabwehr**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Bonn

**Michael Decker**

aus Düren

2021

Angefertigt mit der Genehmigung  
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Henning Boecker
2. Gutachter: PD Dr. rer. nat. Dipl.-Psych. Dipl.-Theol. Christian Hugo Hoppe

Tag der Mündlichen Prüfung: 26.10.2021

Aus der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie  
Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. Ulrike Attenberger

Meiner Familie gewidmet.



## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>8</b>
1.1 Exekutivfunktionen.....	9
1.2 Exekutive Kontrolle im Rahmen der Stroop Aufgabe .....	12
1.3 Konzeptionelle Erklärungsmodelle des Stroop Effektes .....	15
1.3.1 Wettlaufmodelle .....	15
1.3.2 Modell der automatisierten Handlungsabläufe .....	17
1.3.3 Modell der parallelen Verarbeitung .....	17
1.4 Modifizierende Faktoren für die Leistung in der Stroop Aufgabe .....	19
1.4.1 Übung .....	19
1.4.2 Alter .....	19
1.4.3 Geschlecht.....	20
1.5 Der Einfluss sportlicher Aktivität auf die Bearbeitung der Stroop Aufgabe .....	20
1.5.1 Akute Trainingseffekte .....	21
1.5.2 Querschnittsstudien .....	23
1.5.3 Effekte von regelmäßigen, langfristigen Trainingsprogrammen.....	24
1.6 Ziel der Studie.....	29
<b>2. Material und Methoden</b> .....	<b>30</b>
2.1 Probandenrekrutierung .....	30
2.2 Ablauf der Studie .....	35
2.3 Leistungsdiagnostik .....	37
2.4 Intervention.....	39
2.5 Neuropsychologie .....	41

2.6 Stroop Aufgabe.....	43
2.7 Datenanalyse.....	45
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>48</b>
3.1 Körperliche Leistungsdiagnostik .....	48
3.1.1 relVO <sub>2</sub> max .....	48
3.1.2 dmax_v .....	50
3.1.3 Ruheherzfrequenz und maximale Herzfrequenz .....	52
3.1.4 Blutdruck.....	53
3.1.5 Gewicht.....	53
3.2 Stroop Aufgabe.....	53
3.2.1 Reaktionszeiten .....	53
3.2.2 Fehlerhäufigkeiten .....	58
3.2.3 Kontraste .....	63
3.2.4 Korrelationen .....	69
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>71</b>
4.1 Methodenkritik .....	77
<b>5. Zusammenfassung .....</b>	<b>78</b>
<b>6. Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>80</b>
<b>7. Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>81</b>
<b>8. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>82</b>
<b>9. Danksagung .....</b>	<b>94</b>

## Abkürzungsverzeichnis

EHI	Edinburgh Handedness Inventory
EKG	Elektrokardiographie
FEV	Forced expiratory volume
FVC	Funktionelle Vitalkapazität
HFmax	Maximale Herzfrequenz
M.I.N.I.	Mini International Neuropsychiatric Interview
MVV	Maximum voluntary ventilation
MRT	Magnetresonanztomografie
PEF	Peak expiratory flow
relVO <sub>2</sub> max	Maximale muskuläre Sauerstoffaufnahme pro Minute pro Kilogramm Körpergewicht
dmax_v	Geschwindigkeit an der Laktatschwelle
WST	Wortschatztest
IPAQ	International Physical Activity Questionnaire
PACER	Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run
BDNF	Brain-derived neurotrophic factor
M	Mittelwert
SD	Standardabweichung

## 1. Einleitung

Wir Menschen sind in der Lage komplexe Handlungen und übergeordnete Ziele zu verfolgen und dabei unsere Aufmerksamkeit bewusst zu steuern. Dabei ist es erforderlich, sich gezielt auf eine Tätigkeit zu konzentrieren und sich nicht durch äußere Reize ablenken zu lassen. Dazu gehört es beispielsweise Ziele zu verfolgen, für welche mehrere Teilschritte notwendig sind, z.B. im Rahmen eines jahrelangen Studiums, welches eine Vielzahl von komplexen Entscheidungen und oftmals Disziplin sowie die Fokussierung auf ein übergeordnetes Ziel erfordert. Um dieses Ziel letztlich zu erreichen, bedarf es der Unterdrückung von Ablenkungen.

Grundlage solcher kognitiven Leistungen sind sogenannte Exekutivfunktionen. Sie bilden die Grundlage für das Formulieren von Zielen, die Planung und die Ausführung unseres Handelns. Intakte Exekutivfunktionen ermöglichen es, trotz sensorischer, motorischer oder kognitiver Defizite, die Aufgaben des alltäglichen Lebens erfolgreich zu bewältigen. Wie Tabelle 1 veranschaulicht, werden verschiedenste Aspekte des alltäglichen Lebens, seien es Bildung, Beruf, Gesundheit oder Partnerschaft, durch Exekutivfunktionen beeinflusst und wurden in zahlreichen Studien erforscht.

Exekutivfunktionen entwickeln sich mit dem Heranwachsen und nehmen erst jenseits des 60. Lebensjahres ab (Comalli et al. 1962). Von besonderer gesellschaftlicher Relevanz ist dies nicht zuletzt aufgrund der demographischen Entwicklung, also dem steigenden Anteil älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung (United Nations, 2019).

Es stellt sich nun die Frage, durch welche Faktoren Exekutivfunktionen beeinflusst werden und ob diese sich gezielt trainieren bzw. verbessern lassen. Die folgende Studie untersucht gezielt die Auswirkungen eines aeroben Lauftrainings auf die exekutive Kontrolle als Teilbereich der Exekutivfunktionen.

Zunächst werden die Exekutivfunktionen und insbesondere die exekutive Kontrolle näher erläutert und ein Testverfahren zur Messung dieser Funktion, die Stroop Aufgabe, vorgestellt. Anschließend erfolgt eine detaillierte Beschreibung des experimentellen Designs der Studie und der Studie selbst. Darauf aufbauend werden die Ergebnisse der Studie präsentiert und mit den Ergebnissen ähnlicher Studien verglichen. Schlussendlich erfolgt eine Methodenkritik und es wird ein Gesamtfazit gezogen.

**Tab. 1:** Übersicht über Relevanz der Exekutivfunktionen in verschiedenen Lebensbereichen (Diamond, 2013)

<b>Aspekt des Lebens</b>	<b>Relevanz der Exekutivfunktionen</b>	<b>Quelle</b>
<b>Psychische Gesundheit</b>	Sucht	Baler und Volkow 2006
	Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Störung (ADHS)	Diamond 2005, Lui und Tannock 2007
	Verhaltensstörungen	Fairchild et al. 2009
	Depression	Taylor-Taveres et al. 2007
	Zwangsstörungen	Penadés et al. 2007
	Schizophrenie	Barch 2005
<b>Körperliche Gesundheit</b>	Übergewicht, Impulsivität, Substanzmissbrauch, Therapieadhärenz	Crescioni et al. 2011, Miller et al. 2011, Riggs et al. 2010
<b>Lebensqualität</b>	Zusammenhang Exekutivfunktionen und Lebensqualität	Brown und Landgraf 2010, Davis et al. 2010
<b>Bildung</b>	Einschulungsvoraussetzung	Blair und Razza 2007, Morrison et al. 2010
	Lese- und Rechenkompetenz	Borella et al. 2010, Duncan et al. 2007, Gathercole et al. 2004
<b>Beruf</b>	Produktivität und Karriere	Bailey, 2007
<b>Beziehungen</b>	Verlässlichkeit, Impulsivität und Harmonie in der Partnerschaft	Eakin et al. 2004
<b>Öffentliche Sicherheit</b>	Schwächere Exekutivfunktionen führen zu sozialen Problemen wie Kriminalität, Gewalt)	Broidy et al. 2003, Denson et al, 2011

### 1.1 Exekutivfunktionen

Unter den Exekutivfunktionen werden alle kognitiven Fähigkeiten zusammengefasst, die die Kontrolle und Selbstregulierung des eigenen Verhaltens ermöglichen. Sie kommen täglich zum Einsatz und bilden die Grundlage jeder Entscheidungsfindung, Aufgabenorganisation und Anpassung an Veränderungen (Lezak, 1982). Handlungen und Absichten können geplant sowie Ziele über mehrere Schritte verfolgt werden. Die Exekutivfunktionen sorgen für die Fokussierung auf handlungsrelevante Informationen

und die Hemmung unangebrachter Reaktionen bei der Handlungsausführung (Robbins et.al., 1998).

Eine allgemein gültige Definition der Exekutivfunktionen, wie auch ein Konsens über die hierunter subsumierten Teilfunktionen, besteht derzeit nicht. Miyake und Kollegen (2000) vertreten in ihrer Arbeit die Ansicht, dass die Exekutivfunktionen aus verschiedenen Teilfunktionen bestehen, welche miteinander in Wechselwirkung treten. In ihrer Arbeit benannten sie die drei statistisch unabhängigen Faktoren:

- „Shifting“: den Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben bzw. den Regeln nach denen Reize bearbeitet werden.
- „Updating“: die Überwachung und Aktualisierung des Arbeitsgedächtnisses.
- „Inhibition“: die Unterdrückung von automatisierten Reaktionen bzw. Antworten.

Miyake et al. (2000) weisen zudem darauf hin, dass unterschiedliche Autoren die gleichen Fähigkeiten mit verschiedenen Begriffen bezeichnen. Zum Beispiel werden die Begriffe „cognitive flexibility“, „attention switching“ und „task switching“ von verschiedenen Autoren für das gleiche Merkmal verwendet. Es kommt also zu begrifflichen Ungenauigkeiten (Miyake et al., 2000).

Eine weit verbreitete Einteilung der Exekutivfunktionen ist die von Muriel D. Lezak aus dem Jahre 1982. Sie unterscheidet in ihrer Einteilung der Exekutivfunktionen vier Kategorien, die das Gerüst der Exekutivfunktionen darstellen (Lezak, 1982):

- Die erste Kategorie ist die Zielorientierung. Es werden Ziele gesetzt und diese werden mithilfe von Motivation und entsprechenden Aktivitäten verfolgt.
- Die zweite Kategorie ist der mentale Entwurf einer Handlung. Durch Entscheidungsfähigkeit, das Kreieren von Zwischenschritten und der Suche nach potenziellen Alternativen wird der reibungslose Ablauf des Planens unterstützt.
- Die dritte Kategorie konzentriert sich auf die Problemlösung. Neben automatisierten Handlungen sind hier unter anderem die bewusste Aufmerksamkeitslenkung, das Abwägen von Konsequenzen und der Entwurf einer Lösungsstrategie angesiedelt.
- Lezaks vierte Kategorie ist die Handlungsausführung, d.h. das Umsetzen der Handlungspläne in die Praxis. Hierzu gehören auch die Fähigkeiten den Vorgang zu initiieren, aufrecht zu erhalten, rechtzeitig zu beenden und eine geordnete Reihenfolge einzuhalten. Aufbauend auf dieser Kategorisierung von Lezak (1982)

wurde die Systematisierung der exekutiven Funktionen in den Folgejahren vielfach aufgegriffen, erweitert und angepasst.

Tabelle 2 veranschaulicht beispielhaft die Systematisierung von Diamond (2013).

**Tab. 2:** Teilbereiche der Exekutivfunktionen (Diamond, 2013)

<b>Fähigkeit</b>	<b>Beschreibung</b>
Kognitive Flexibilität	Anpassung von Gedanken und Verhaltensweisen an unbekannte, fordernde Situationen
Inhibition	Kontrolle impulsiver, automatischer Antworten Durch Aufmerksamkeit und logisches Denken antworten
Aktualisierung	Überprüfung von Verhaltensweisen, Versicherung, dass der Aktionsplan korrekt ausgeführt wird
Planung	Nachdenken über zukünftige Ereignisse, Vorhersehen des richtigen Weges zur Zielverfolgung
Arbeitsgedächtnis	Kurzfristige Speicherung von Informationen und Handeln, um komplexe kognitive Aufgaben durchführen zu können
Entscheidungsfindung	Auswahl einer Option aus verschiedenen Alternativen auf effiziente und bedachte Weise
Problemlösung	Einen logischen Schluss ziehen, wenn über etwas Unbekanntes nachgedacht wird

Störungen der Exekutivfunktionen können massive Beeinträchtigungen in der Selbstversorgung nach sich ziehen. Dies ist besonders deutlich bei Erkrankungen zu beobachten, welche die Exekutivfunktionen beeinträchtigen, wie beispielsweise dem Morbus Parkinson (Lezak, 1979) oder der frontotemporalen Demenz. Bei dieser ist der Verlust der kognitiven Kontrolle, die sogenannte Disinhibition, ein Hauptsymptom (Convery, 2019; Lindau et al., 2000). Auch bei Patienten mit Läsionen des Frontalhirns wurde eine ausgeprägte Apathie und Inaktivität beobachtet (Damasio, 1993; Hebb, 1942, Hécaen und Albert, 1978; Luria, 1966; Luria.,1973).

Die vorgelegte Studie untersucht den Aspekt der exekutiven Kontrolle, auch „Inhibition“ genannt, unter Verwendung des sogenannten Stroop Aufgabe. Exekutive Kontrolle bedeutet eine kontrollierte Verhaltenshemmung und spielt somit eine wichtige Rolle bei kognitiven Prozessen wie Planung, Entscheidungsfindung und dem Unterdrücken von automatisierten Handlungen beziehungsweise der Interferenz durch einen störenden Reiz (Diamond, 2013; Friedman & Miyake, 2017, Miyake et al., 2000, Stahl et al., 2014).

Exekutive Kontrolle ermöglicht eine bewusste Aufmerksamkeitslenkung und verhindert automatisierte Handlungen als Reaktion auf aufmerksamkeitsbindende Reize, die einem gewählten Ziel entgegenstehen. Mithilfe einer guten exekutiven Kontrolle können Störreize besser ausgeblendet werden, wodurch zielgerichtetes Handeln unterstützt wird. Ferner dient die exekutive Kontrolle dazu, sozial unangebrachtes Verhalten in entscheidenden Situationen zu unterdrücken (Diamond, 2013). Als Beispiel sei hier der Wechsel von einem Fahrzeug mit manueller zu einem mit automatischer Schaltung genannt. Die exekutive Kontrolle besteht hier darin nicht fortwährend die Kupplung betätigen zu wollen. Bei einem Fahrzeug mit Automatikschaltung würde dies nämlich bedeuten die Betriebsbremse zu betätigen. Bis diese andere Art der Steuerung automatisiert abläuft, benötigt es eine aktive, bewusste Kontrolle, um der gewohnten Handlung entgegenzuwirken.

## **1.2 Exekutive Kontrolle im Rahmen der Stroop Aufgabe**

In dieser Studie soll die Fähigkeit zur exekutiven Kontrolle als Teil der Exekutivfunktionen im zeitlichen Verlauf für jeden Probanden bestimmt werden. Ein geeigneter Test zur Messung der exekutiven Kontrolle ist die Stroop Aufgabe (Diamond, 2013).

Die Stroop Aufgabe basiert auf der Beobachtung von Cattell, dass Probanden mehr Zeit zur Benennung von Farben, als für das Vorlesen von Farbworten benötigten (Cattell, 1886). Stroop nahm dies als Grundlage für seine 1935 veröffentlichte Studie (Stroop, 1935). Er erforschte in mehreren Experimenten die Wechselwirkungen zwischen Farbreizen und Worten.

In dem ersten Experiment ließ er seine Probanden verschiedene Karten mit Farbworten vorlesen. Hierbei wurden als Kontrollbedingung alle Worte in schwarzer Schrift abgedruckt, wohingegen für die Experimentalbedingung alle Farbworte in einer inkongruenten Farbe gedruckt wurden, das heißt beispielsweise wurde das Wort „rot“ in

grüner Schrift abgedruckt, sodass Farbreiz und Wortinhalt sich widersprachen. Es stellte sich heraus, dass seine Probanden für das reine Vorlesen der Worte unter keiner der Bedingungen signifikant mehr Zeit benötigten als unter der anderen, d.h. das Vorlesen der Farbworte wird nicht durch die inkongruente Druckfarbe gestört (Stroop, 1935).

In einem zweiten Experiment lautete die Aufgabe, die Schriftfarbe von Worten zu benennen, deren Wortinhalt auf eine andere Farbe lautete. Das bedeutete das Wort „blau“ war beispielsweise in grüner Schrift gedruckt und die korrekte Antwort lautete somit grün. In der Kontrollbedingung sollten ebenfalls Farben benannt werden, diesmal jedoch von farbigen Quadraten ohne jeglichen Wortinhalt. Hierbei war für dieses Benennen der Farbreize unter der Experimentalbedingung eine Verlängerung der Reaktionszeit um durchschnittlich 74% im Vergleich zur Kontrollbedingung zu beobachten (Stroop, 1935).

Es zeigte sich somit, dass das Benennen von Farben sich von einem inkongruenten Reiz, dem Wortinhalt, stören lässt. Dies wird als kognitive Interferenz oder auch Stroop Interferenzeffekt bezeichnet. Stroops Experimente zeigen, dass sich bei der Farbbenennung durch Worte als zusätzliche Reize Interferenzeffekte ergeben, dies umgekehrt jedoch nicht der Fall ist. Er begründet dies mit einer stärkeren Assoziation bzw. Automatisierung zwischen Wortstimulus und Wortlesen als zwischen Farbstimulus und Farbbenennung (Stroop, 1935).

Lesen läuft offensichtlich so automatisiert ab, dass es vergleichsweise schwer fällt dieses zu unterdrücken.

Die Stroop Aufgabe wurde auf Stroops Experiment aus 1935 aufbauend vielfach angepasst und für zahlreiche Versuche verwendet. Eine Zusammenschau liefert MacLeod in seinem 1991 erschienenen Artikel. Mittlerweile existieren diverse Versionen der Stroop Aufgabe, wobei inzwischen die separate Einzelreaktionszeiterfassung für jeden Stimulus dominiert. Ein Überblick hierzu findet sich bei Williams et.al. (1996).

In der Stroop Aufgabe existieren drei Bedingungen, beispielhaft in Abbildung 1 zu sehen:



**Abb. 1:** Beispiele von Stroop Aufgaben. Links: kongruente Bedingung, Mitte: inkongruente Bedingung, rechts: neutrale Bedingung

#### Kongruente Bedingung

Für die kongruente Bedingung werden Farbwörter in der jeweiligen Farbe gedruckt, welche dem Inhalt des Wortes entspricht. So ist zum Beispiel das Wort „rot“ in roter Schrift, das Wort „grün“ in grüner Schrift gedruckt.

#### Inkongruente Bedingung

Bei der inkongruenten Bedingung stimmen die Farbe und der jeweilige Inhalt des Wortes nicht miteinander überein. So ist beispielsweise das Wort „rot“ in blauer Farbe gedruckt oder das Wort „grün“ in gelber Schrift abgebildet.

#### Neutrale Bedingung

Während der neutralen Bedingung sollen Farbwörter vorgelesen werden. Hierbei sind diese Wörter jeweils in schwarzer Schrift gedruckt, sodass eine möglichst geringe Ablenkung entsteht.

Während bei der neutralen Bedingung gefordert ist, die Worte lediglich vorzulesen, ist in der kongruenten und inkongruenten Bedingung gefordert, die Farbe der Schrift zu benennen. Ist diese Benennung der Farbe gefordert, so verursacht die Anwesenheit des geschriebenen Wortes eine Interferenz. Im Falle der kongruenten Bedingung, bei welcher beide Reize gleich lauten, ist eine beschleunigte Antwort zu erwarten. Wohingegen unter der inkongruenten Bedingung die beiden Reize miteinander konkurrieren und durch

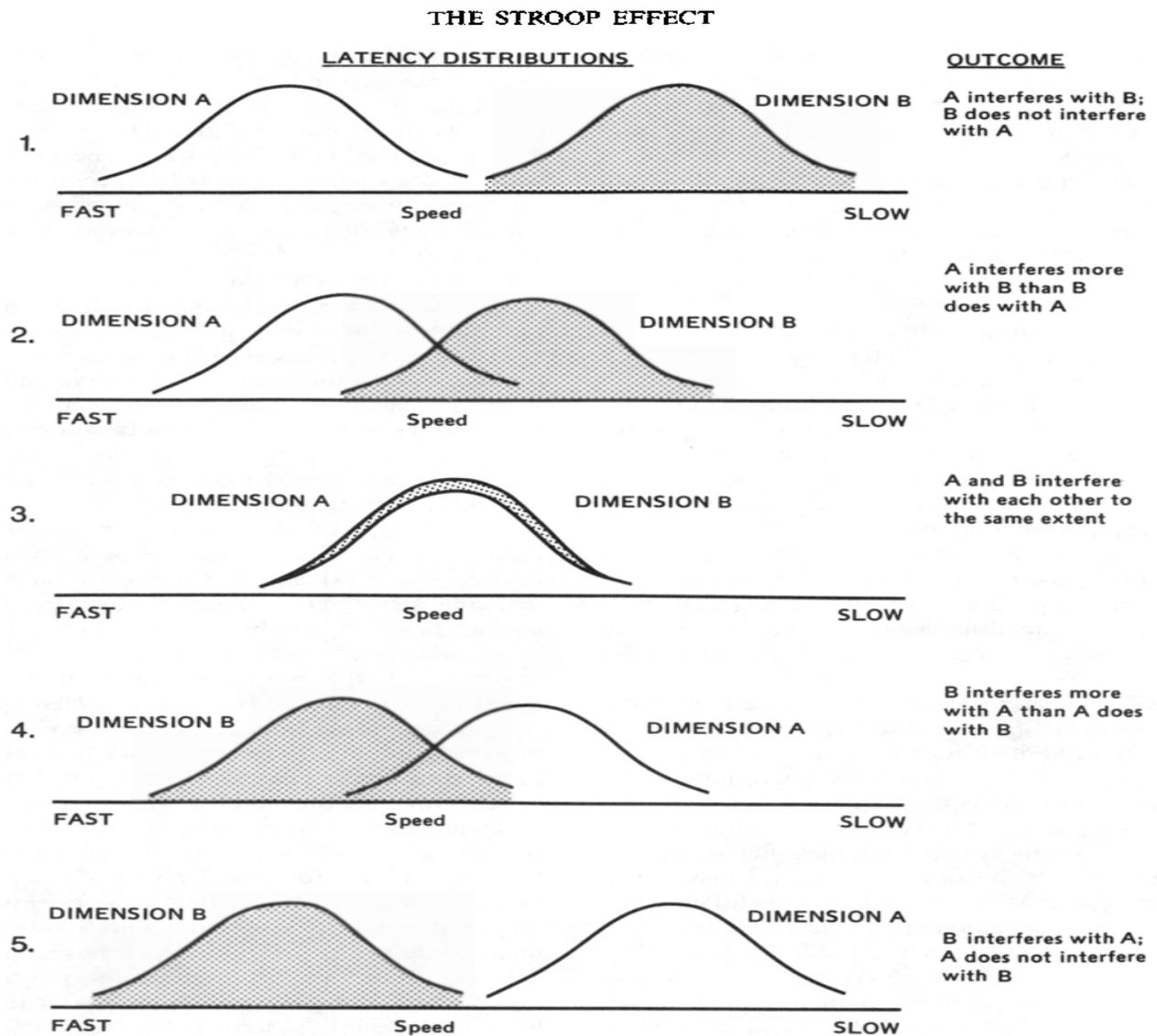
exekutive Kontrolle verhindert wird, dass der stärker automatisierte Prozess, also das Lesen des Wortinhaltes, sich durchsetzt. Je besser die exekutive Kontrolle über den Störreiz des Wortinhaltes funktioniert, desto weniger wird die Benennung der Schriftfarbe verzögert. Die Verlängerung der Reaktionszeit unter der inkongruenten Bedingung im Vergleich zur kongruenten Bedingung ist somit Ausdruck der Kontrollleistung. Je geringer diese Verlängerung ausfällt, desto größer ist die Fähigkeit zur exekutiven Kontrolle.

### **1.3 Konzeptionelle Erklärungsmodelle des Stroop Effektes**

In der Literatur existieren verschiedene konzeptionelle Modelle zur Erklärung des Stroop Effektes:

#### **1.3.1 Wettlaufmodelle**

Wettlaufmodelle sind der einfachste Versuch den Stroop Effekt zu erklären (MacLeod, 1991). Sie postulieren eine parallele Verarbeitung relevanter und irrelevanter Merkmale mit jeweils unterschiedlicher Geschwindigkeit. Beispielsweise gelingt das Lesen von Worten schneller als das Benennen von Farben (Cattell, 1886). Die Differenz dieser beiden Geschwindigkeiten ist dann relevant, wenn beide Merkmale darum konkurrieren, eine Antwort zu formen (MacLeod, 1991). Die zusätzliche Zeit zur Produktion einer Antwort, die durch diese Konkurrenz der Reizverarbeitungen entsteht, wird diesen Modellen zufolge als Interferenz bezeichnet. Da die Bearbeitung des irrelevanten Reizes schneller abläuft, tritt dieser zuerst in das Antwortsystem ein, wo er mit dem später eintretenden Reiz interferiert (Treisman, 1969a und 1969b; Morton, 1969; Morton und Chambers, 1973, Posner und Synder, 1975). Essentieller Bestandteil dieses Modells ist die Annahme, dass der schnellere Reiz mit dem langsameren Reiz interferiert und das Ausmaß der Geschwindigkeitsdifferenz über das Ausmaß der Interferenz bestimmt (MacLeod, 1991). Abbildung 2 aus MacLeods Publikation aus dem Jahre 1991 veranschaulicht dieses Prinzip. Eine Schwäche dieses Modells wurde durch Glaser (1982) sowie durch Glaser und Dünkelhoff (1984) gezeigt: In ihren Versuchen manipulierten sie die relative Verarbeitungsgeschwindigkeit durch eine zeitliche Trennung der Präsentation der Merkmale. Sie präsentierten ihren Probanden die Farbe mit zeitlichem Vorsprung vor der Schrift. Durch diese Stimulus-onset-Asynchronie ließ sich, entgegen der Erwartung, keine Verringerung des Stroop Effektes erreichen.



**Abb. 2:** Schematische Darstellung des Wettlaufmodelles (MacLeod, 1991). Der schnell bearbeitete Stimulus (links) ist in der Lage mit dem langsam bearbeiteten Stimulus (rechts) zu interferieren. Eine Überlappung der Bearbeitung lässt eine bidirektionale Interferenz zu

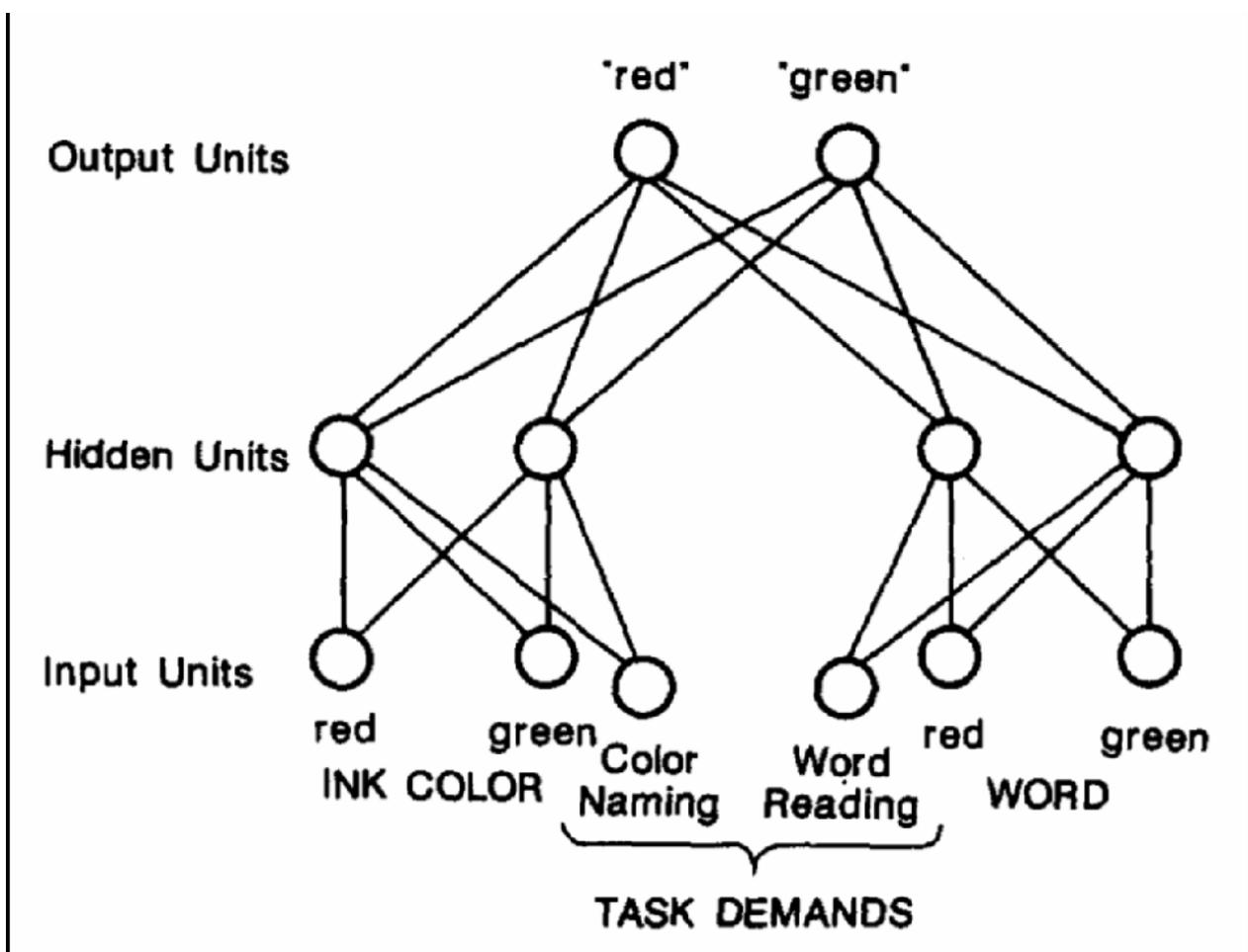
### **1.3.2 Modell der automatisierten Handlungsabläufe**

Ein weiteres mögliches Modell zur Erklärung des Stroop Effektes ist das der automatisierten Handlungsabläufe (Posner und Snyder, 1975). Automatisierte Handlungen werden diesem Modell zufolge ohne großen kognitiven Ressourcenverbrauch durchgeführt. Dem hingegen benötigen Prozesse, welche aufgrund ihres selteneren Gebrauchs nicht automatisiert ablaufen, Aufmerksamkeit, da diese aktiv gesteuert werden müssen und eine aktive Intention voraussetzen (Brown et al., 2002; MacLeod und MacDonald, 2000; Müller und Krummenacher, 2002). Auch nach diesem Modell kann ein stärker automatisierter Prozess einen weniger stark automatisierten beeinflussen, jedoch nicht vice versa (MacLeod, 1991). Zentrale Grundlage für die Entstehung der Interferenz bildet das Priming des Bewusstseins durch die automatisierte Bearbeitung des irrelevanten Merkmals (Posner und Snyder, 1975), welches dann mit dem inkongruenten Merkmal interferiert. Die Vereinfachung durch kongruente Reize erklärt sich sogleich dadurch, dass das Priming bereits auf die korrekte Antwort erfolgt ist. Die Schwäche dieses Modells liegt in der erschwerten Quantifizierung der Automtizität: Während die relative Geschwindigkeit der Bearbeitung durch die zeitliche Präsentation der Merkmale manipuliert werden kann, müsste zunächst ein Maß für die Automtizität verschiedener Prozesse festgelegt werden (MacLeod, 1991). Kahneman und Chajcyk (1983) beobachteten eine gesteigerte Interferenz durch gänzlich irrelevante Worte. Eine Beobachtung welche durch das Priming nicht erklärt werden konnte.

### **1.3.3 Modell der parallelen Verarbeitung**

Cohen, Dunbar und McClelland erarbeiteten 1990 ein neuronales Netzwerkmodell der parallelen Verarbeitung verschiedener Merkmale eines Reizes, welches aktuell die weitgehend akzeptierte Erklärung für den Stroop Effekt darstellt und sämtliche Beobachtungen in vorangegangenen Experimenten zum Stroop Effekt erklären könnte (Cohen et al., 1990; MacLeod, 1991). Es beinhaltet viele Eigenschaften der vorgenannten Modelle, berücksichtigt aber ihre intrinsischen Schwächen. Grundlage dieses Modells ist die Annahme, dass verschiedene Leitungsbahnen beispielsweise im Rahmen der Stroop Aufgabe gleichzeitig aktiviert werden. Hierbei ist jedoch nicht die Geschwindigkeit dieser Bahnen ausschlaggebend, sondern die Stärke, mit welcher diese Bahnen ausgebildet und

aktiviert sind. Zwischen diesen Leitungsbahnen existieren Knotenpunkte, welche auf verschiedene Arten miteinander verbunden sein können und Inputs, wie auch Outputs, von und an mehrere Knotenpunkte senden oder empfangen können (Abbildung 3). Erfahrungen und Training sowie auch Automatizität äußern sich in diesem Modell anhand von Mustern, in welchen die verschiedenen Bahnen besonders stark aktiviert werden. Interferenz oder auch Erleichterung entsteht in diesem Modell dann, wenn an Knotenpunkten verschiedene Inputs eingehen, die entweder in Konflikt oder in Übereinstimmung miteinander stehen können.



**Abb. 3:** Modell der parallelen Verarbeitung nach Cohen, Dunbar und McClelland, 1990. Zwischen der Ebene der Reizwahrnehmung (unten) und der Ausgabe (oben) befinden sich mehrere untereinander auf unterschiedliche Art vernetzte Knotenpunkte. Jede Verbindung kann unterschiedlich stark konfiguriert sein.

## **1.4 Modifizierende Faktoren für die Leistung in der Stroop Aufgabe**

### **1.4.1 Übung**

In Stroops Veröffentlichung führte er einen dritten Versuch durch, in welchem Probanden angewiesen wurden die Stroop Aufgabe, bestehend aus inkongruenter Stroop Bedingung, an acht aufeinander folgenden Tagen zu bearbeiten. Es zeigte sich hierbei eine stetige Abnahme der benötigten Zeit für die Bearbeitung von 50 Aufgaben. Während die Probanden durchschnittlich 49,6 Sekunden zu Beginn brauchten, sank diese Zeit nach acht Tagen auf 32,8 Sekunden (Stroop, 1935). Ein Übungseffekt durch Wiederholung der Stroop Aufgabe ist nicht von der Hand zu weisen.

Doch nicht nur der Wiederholung der Stroop Aufgabe selbst und der merkmalsabhängigen Unterschiede der Probanden, sondern auch dem allgemeinen Training kognitiver Fähigkeiten, wird eine positive Wirkung auf die Leistungen in der Aufgabe zugesprochen (MacLeod, 1991). Durch all diese Faktoren werden die Exekutivfunktionen inkl. der exekutiven Kontrolle gestärkt. Dies wirkt sich wiederum positiv auf die Interferenz aus.

### **1.4.2 Alter**

Comalli, Wapner und Werner 1962 untersuchten das Auftreten des Stroop Effektes indem sie Probanden im Alter zwischen 7 und 80 Jahren Stroop Aufgaben bearbeiteten ließen. Hierbei ließ sich eine deutliche Altersabhängigkeit des Ausmaßes des Stroop Effektes beobachten. Sie beobachteten die größte Stroop Interferenz bei Kindern. Diese beginnt demnach früh in den Schuljahren und erreicht mit der Entwicklung der Lesefähigkeit ihren höchsten Stand in der 2. und 3. Klasse. Mit fortschreitender Entwicklung nimmt sie im Erwachsenenalter bis zu einem Alter von etwa 60 Jahren ab und nimmt dann wieder zu (Rey-Mermet und Gade, 2018). Praktisch jeder, der lesen kann, zeigt schon in jungen Jahren einen robusten Stroop Effekt. Allerdings haben jüngere und ältere Menschen mehr Schwierigkeiten dabei irrelevante Stimuli zu unterdrücken als Menschen im jungen Erwachsenenalter. Die Gründe hierfür sind jedoch in den beiden Altersgruppen unterschiedlich. Junge Menschen müssen erst das Lesen erlernen, um danach mit den beiden Stimuli einer inkongruenten Stroop Aufgabe konfrontiert werden zu können. Die Untersuchungen von Comalli et al. (1962) zeigen diesbezüglich die stärkste Abnahme der Reaktionszeiten in der Stroop Aufgabe bei ihren jüngsten Probanden im Alter von 7-8

Jahren, was dem Grundschulalter entspricht, in welchem sich die Fähigkeit des Lesens entwickelt. Bei älteren Menschen liegt dem größere Stroop Effekt ein allgemeiner kognitiver Abbau zugrunde. Rey-Mermet und Gade (2018) beschreiben in ihrer Metaanalyse insbesondere die Vielzahl an Studien, welche im Vergleich von älteren Probanden mit jungen Erwachsenen Defizite der exekutiven Kontrollfähigkeit zeigen konnten.

### **1.4.3 Geschlecht**

Mit Blick auf das Geschlecht sieht MacLeod (1991) keine spezifischen Unterschiede bezüglich des Stroop Effektes. Verschiedene Studien, wie die von Golden (1974), Sarmanay (1977) oder Sladekova & Daniel (1981) konnten keine Belege für einen größeren Stroop Effekt bei einem der beiden Geschlechter finden. Obwohl Frauen etwas schneller sind, insbesondere bei der Benennung von Farben, bezieht sich dies auf die allgemeine Reaktionsgeschwindigkeit (Jensen, 1965) und nicht auf das abgeleitete Maß für Interferenz (MacLeod, 1991).

### **1.5 Der Einfluss sportlicher Aktivität auf die Bearbeitung der Stroop Aufgabe**

Eine Suche nach den Schlagworten „Stroop“ und „Exercise“ in der Literaturlatenbank PubMed ergab insgesamt 617 Treffer. Herausgesucht wurden prospektive Studien zu unmittelbaren Effekten akuter Belastungen (Tabelle 3) als auch zu chronischem regelmäßigem Training (Tabelle 4). Akute Effekte sind hierbei solche, die nach einzelnen Trainingseinheiten in kurzem zeitlichem Abstand zur Belastung beobachtet worden sind. Chronische Effekte bezeichnen solche, welche losgelöst von akuter Belastung im Rahmen regelmäßiger Trainingsinterventionen beobachtet wurden. Zur Untersuchung eines Einflusses regelmäßiger Aktivität wurde speziell auf prospektive, möglichst randomisiert kontrollierte Studien geachtet, da sich nicht die Frage nach einer Assoziation von sportlicher Leistung und kognitiver Leistung, sondern die Frage nach einer gerichteten Beziehung dieser beiden Merkmale stellt. Weitere wichtige Aspekte der Referenzliteratur sind die Kohortengröße und das Alter der Kohorte. Bei allen hier aufgelisteten Studien wurden gesunde Probanden in ihrem jeweiligem altersentsprechendem Allgemeinzustand ohne nennenswerte psychische

Vorerkrankungen eingeschlossen. Somit unterscheiden sie die Kohorten vorwiegend in ihrer Altersstruktur.

### 1.5.1 Akute Trainingseffekte

**Tab. 3:** Studien zu Effekten akuter körperlicher Belastung auf die Stroop Aufgabe

<b>Autor und Jahr</b>	<b>Titel</b>	<b>Probanden (m/w)</b>	<b>Mittleres Alter der Probanden in Jahren</b>	<b>Sportintervention</b>	<b>Dauer und Häufigkeit des Trainings</b>	<b>Gemessene Effekte auf die Stroop Aufgabe</b>
<b>Chang et al., 2015</b>	<b>Dose-response relation between exercise duration and cognition</b>	26/0	14,77	Fahrradergometer bei 65% der maximalen Herzfrequenz	4 getrennte Messungen im Cross-Over Design: 10, 20, 45 Minuten sowie 30 Minuten lesen als Kontrolle	Verkürzung der Reaktionszeit und höhere Genauigkeit nach 20-minütiger Intervention
<b>Chang et al., 2019</b>	<b>Effects of Acute Exercise Duration on the Inhibition Aspect of Executive Function in Late Middle-Aged Adults</b>	16/24	57,58	Fahrradergometer bei 60-70% der maximalen Herzfrequenz	4 getrennte Messungen im Cross-Over Design: 10, 20, 45 Minuten sowie 30 Minuten lesen als Kontrolle	Kürzere Reaktionszeiten für alle Interventionen im Vergleich zur Kontrolle, maximaler Effekt bei 20 Minuten
<b>Peruyero et al., 2017</b>	<b>The Acute Effects of Exercise Intensity on Inhibitory Cognitive Control in Adolescents</b>	23/21	16,39	Zumba-Tanz, Intensität mittels Beschleunigungssensor am Handgelenk bestimmt	3 getrennte Messungen im Cross-Over Design: je 20 Minuten leicht-moderate und moderat bis anstrengende Intensität sowie Kontrolle ohne Trainingseinheit	Mehr richtige Antworten nach beiden Trainings in 45s Stroop Aufgabe für alle Stroop Bedingungen

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die aktuellen Studien zu Akuteffekten körperlicher Belastung auf die Stroop Aufgabe. Chang et al. führten 2012 eine Metaanalyse zu den Effekten akuten körperlichen Trainings auf die kognitiven Funktionen durch. Unter Zusammenschau von 79 Studien, welche Trainingsinterventionen unterschiedlicher Qualitäten, Dauer und Intensität beinhalteten, fand sich hier ein geringer Effekt akuter Trainingsinterventionen auf die kognitiven Leistungen über alle Altersgruppen hinweg

( $g=0,097$   $n=1034$ ). Bei spezieller Betrachtung der Trainingseffekte auf die Stroop Aufgabe fand sich ebenfalls ein signifikanter schwacher Effekt (Cohens  $d = 0,249$ ). Ferner fanden die Autoren in dieser Metaanalyse die größten Effektstärken nach Trainingsinterventionen von 20-minütiger Dauer, wobei sie vermuteten, dass bei kürzerer Dauer weniger physiologische Prozesse in Gang kommen, welche die Kognition verbessern und bei längerer Dauer Ermüdungseffekte zunehmen. Ferner ließ sich bei geringer Trainingsintensität ein Effekt unmittelbar nach der Belastung zeigen, wohingegen dieser sich bei größerer Intensität erst mit zeitlichem Abstand zum Ende des Trainings ausbildete (Chang et al., 2012).

Chang et al. (2015) untersuchten die Beziehung zwischen der Dauer eines akuten Fahrradergometer-Trainings bei moderater Belastung unter 65% der maximalen Herzfrequenz und dem zu beobachtenden Effekt in einem dafür angelegten Experiment. Sie ließen 26 Jugendliche im Alter von 14,77 (SD 0,91) Jahren in zufälliger Reihenfolge an verschiedenen Tagen Trainings von 10-, 20- und 45-minütiger Dauer inklusive fünfminütigen Warm-ups und Cool-downs sowie eine Kontrollbedingung ohne körperliche Belastung durchlaufen. Unmittelbar vor und nach der Intervention wurde hierbei die Stroop Aufgabe durchgeführt. Nach der 20-minütigen Trainingsintervention zeigte sich eine signifikant bessere Genauigkeit ( $p<0,001$ ) und Reaktionszeit ( $p=0,02$ ) im Vergleich zu den Messungen der Stroop Aufgabe nach 10 und 45 Minuten sowie der 30-minütigen Kontrollbedingung. Nach der 10- und 45-minütigen Intervention ließ sich in dieser Untersuchung kein signifikanter Unterschied zur Kontrollbedingung beobachten (Chang et al., 2015).

Analog untersuchten Chang et al. (2019) in einem gleichartig aufgebauten Experiment die Beziehung von Trainingsdauer und Effekt auf die Exekutivfunktionen bei einer Kohorte aus 40 Männern und Frauen im Alter von 57,58 (SD 4,90) Jahren. Hierbei zeigte sich, analog zum Experiment von 2015, ebenfalls eine maximale Reduktion der Reaktionszeit in der inkongruenten Stroop Bedingung nach 20-minütiger Trainingseinheit im Vergleich zur Dauer von 10 ( $p=0,05$ ) und 45 Minuten ( $p=0,02$ ) wie auch zur Kontrollbedingung ( $p<0,001$ ).

Peruyero et al. (2017) untersuchten die Effekte eines aeroben Trainings bei Jugendlichen sowie den Einfluss der Intensität der Trainingsintervention. Hierfür unterzogen sie 44 Probanden im Alter von 16,39 (SD 0,68) Jahren einem 20-minütigen aeroben Training im

Rahmen ihres Sportunterrichtes an ihrer Schule. Gemäß eines Cross-Over Designs wurde an drei Terminen jeweils ein Training mit hoher, mit niedriger und ein Termin ohne Belastung als Kontrollbedingung durchgeführt. Vor und nach jeder Intervention wurde dabei unmittelbar die Stroop Aufgabe bearbeitet. Die Leistung in der Stroop Aufgabe wurde hier als richtige Antworten - falsche Antworten in 45 Sekunden angegeben. Die Ergebnisse fielen unter beiden Trainingsintensitäten signifikant besser aus als in der Kontrollgruppe, wobei ein starker Effekt zu sehen war (Peruyero et al., 2017).

Insgesamt bekräftigen diese Ergebnisse die, in der Metaanalyse von Chang et al. (2012) beobachtete, optimale Interventionsdauer von 20 Minuten und zeigen, wie stark der Effekt auf die kognitiven Leistungen von den Modalitäten der Intervention abhängig ist. Zudem zeigen sie einen gleichartigen positiven Effekt von körperlichem Training auf die kognitive Inhibition in verschiedenen Altersklassen.

### **1.5.2 Querschnittsstudien**

Bevor die Daten longitudinaler Studien zu Langzeiteffekten zusammengefasst werden, sollen an dieser Stelle Querschnittsstudien genannt werden, welche mögliche Assoziationen zwischen körperlicher Fitness und der exekutiven Kontrolle in verschiedenen Altersgruppen untersuchen:

So fanden Bauermeister und Bunce (2016) eine signifikante Korrelation zwischen der geschätzten maximalen Sauerstoffaufnahme pro Minute ( $VO_2max$ ) der Probanden als Maß der körperlichen Leistungsfähigkeit im Rockport One Mile Walking Test und der Leistung in der Stroop Aufgabe bei 225 gesunden Männern und Frauen im Alter zwischen 50 und 90 Jahren. Sie fanden zudem ein zunehmendes Ausmaß des Einflusses der Variable  $VO_2max$  mit höherem Alter.

Buck und Kollegen (2008) führten eine ähnliche Untersuchung bei 74 Kindern zwischen 7 und 12 Jahren durch. Als Maß für die körperliche Fitness nahmen sie den Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run (PACER) Score, welcher anhand einer 20 Meter messenden Strecke bestimmt wurde. Diese sollten die Kinder mit jeder Minute schneller hin- und zurück laufen. Der PACER Score korrelierte signifikant positiv mit der Anzahl an richtig bearbeiteten Aufgaben in den verschiedenen Bedingungen der Stroop Aufgabe (Buck et al., 2008).

Probanden im jungen Erwachsenenalter von im Mittel 19,55 Jahren wurden von Salas-Gomez et al. (2020) gebeten den International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) auszufüllen. Auch wenn hierdurch die körperliche Fitness nicht direkt gemessen wird, so war die Leistung der Probanden in der Stroop Aufgabe signifikant positiv mit der angegebenen Dauer an regelmäßiger sportlicher Aktivität korreliert.

Diese Querschnittsstudien zeigen, dass vielfach eine Assoziation zwischen körperlicher Leistungsfähigkeit und exekutiver Kontrolle beobachtet werden kann. Sie zeigen lediglich einen Zusammenhang, belegen aber nicht einen kausalen Zusammenhang. Aus diesem Grunde wurden für die Literaturrecherche speziell randomisiert kontrollierte Studien identifiziert, bei welchen die exekutive Kontrolle vor und nach einer Trainingsintervention gemessen wurde. Hierdurch wird die körperliche Aktivität beziehungsweise die Trainingsintervention zu einer unabhängigen Variablen und die exekutive Kontrolle zur abhängigen Variablen.

### **1.5.3 Effekte von regelmäßigen, langfristigen Trainingsprogrammen**

Predovan et al. (2012) führten eine Studie an 50 gesunden älteren Probanden durch, welche sich bisher nur selten sportlich betätigten. Die Probanden erhielten ein 12-wöchiges Trainingsprogramm aus Dehnübungen, schnellem Gehen und Tanz, welches sie an drei Tagen pro Woche für jeweils eine Stunde in Trainingsgruppen unter professioneller Betreuung durchführten. Der Anteil an Herzkreislaufbelastung an den Trainingseinheiten wurde hierbei graduell von 15 Minuten auf 40 Minuten erhöht. Vor und nach dem 12-wöchigen Trainingsprogramm wurde die  $VO_2$ max mithilfe des Rockport One Mile Walking Tests, bei welchem die Probanden eine Meile in möglichst kurzer Zeit fußläufig zurücklegen sollten, geschätzt. Zusätzlich führten die Probanden vor Beginn und nach Ende des 12-wöchigen Trainingsprogrammes eine neuropsychologische Testbatterie durch, welche unter anderem die Stroop Aufgabe beinhaltete. Dabei wurde der Stroop Aufgabe eine vierte Bedingung hinzugefügt: das Inhibition Switching. Hierbei wurden zwischen inkongruente Trials einige Trials eingestreut, bei welchen ein Rechteck um das Wort anzeigte, dass nicht die Farbe, sondern der Wortinhalt zu nennen ist. Die Probanden mussten also wiederholt umdenken und zwischen der Nennung der Farbe und der Nennung des Wortinhaltes wechseln. Es fiel ausschließlich unter dieser Bedingung eine Verbesserung der Reaktionszeit in der Sportgruppe ( $p=0,003$ ) auf, wobei eine

signifikante negative Korrelation zwischen der Reaktionszeit und der Individuellen Fitnessverbesserung beobachtet werden konnte ( $r=-0,54$ ,  $p=0,007$ ).

Vedovelli et al. (2017) untersuchten die Auswirkung eines 3-monatigen gemischten Kraft- und Ausdauertrainings bei 75-85 Prozent der maximalen Herzfrequenz bei 29 Seniorinnen mit einem Alter von mehr als 75 Jahren. Hierbei fanden wöchentlich dreimal 60 Minuten Training statt, wobei die Hälfte aus wiederholten Kraftübungen und die andere Hälfte aus schnellem Gehen bestand. Die Messmethoden der körperlichen Fitness wurde in dieser Studie an das Alter der Probanden angepasst: Es fanden funktionelle Tests, welche die Kraft in den Extremitäten bestimmten, und der 6-Minuten-Gehtest statt, bei dem die maximale Strecke, welcher die Probanden in sechs Minuten zurücklegen können, gemessen wird. Der Interventionsgruppe gelang es nach drei Monaten im Vergleich zur Voruntersuchung signifikant mehr Aufgaben der inkongruenten Bedingung in 45 Sekunden zu bearbeiten ( $p<0,05$ ). Im Rahmen dieser Studie wurde zusätzlich die Konzentration des brain derived neurotrophic factor (BDNF) bestimmt. Dieser Wachstumsfaktor zeigte signifikant höhere Konzentrationen im Blut der Interventionsgruppe bereits nach einem Monat des regelmäßigen Trainings ( $p<0,01$ ). Dies liefert einen Hinweis auf strukturelle Plastizität, die mit regelmäßigem Training in Gang gesetzt werden könnte.

Williamson et al. gelang es 2009 bei 102 zuvor wenig aktiven Senioren ein einjähriges multimodales Trainingsprogramm durchzuführen. Es fanden dreimal wöchentlich je 40-60 Minuten dauernde Trainings mit moderater Intensität statt, welche zu Beginn unter professioneller Betreuung stattfanden und zum Ende der Studie von den Probanden selbstständig zuhause durchgeführt wurden. Die Kontrollgruppe erhielt anstelle von Trainings theoretische Gesundheitskurse. Auch hier wurde die Bestimmung der Fitness an das Alter der Probanden angepasst: Es wurde die short physical performance battery (SPPB) verwendet, welche drei Aufgaben beinhaltet: Diese sind das Halten der Balance, das Aufstehen aus dem Sitzen und das Gehen von vier Metern in der Ebene. Für jede dieser Aufgaben konnten jeweils bis zu vier Punkte erzielt werden. Das Endergebnis konnte somit 0-12 betragen. Die statistische Auswertung zeigte in dieser Studie keine signifikante Veränderung der Leistung in der Stroop Aufgabe im Vergleich der Messungen zu Beginn und nach 12 Monaten sowie auch keine Gruppenunterschiede. Zudem wurden

keine korrelativen Zusammenhänge zwischen den Veränderungen der SPPB und der Leistung in der Stroop Aufgabe beobachtet.

Liu-Ambrose et al. stellten sich 2010 die Frage nach der Bedeutung von Krafttraining in Bezug auf die kognitive Leistung. In ihrer Studie wurden 135 Senioren in drei Gruppen unterteilt. Zwei erhielten jeweils einmal bzw. zweimal wöchentlich je 60 Minuten Krafttraining. Die Kontrollgruppe führte zweimal wöchentlich Übungen für die Balance durch. Lediglich die Gruppe, welche zweimal wöchentlich Krafttraining erhielt, konnte ihre Muskelkraft signifikant messbar steigern. Es zeigte sich, dass beide Gruppen mit Krafttraining nach 12 Monaten signifikant schneller darin waren, 80 inkongruente Stroop Aufgaben zu lösen, als die Kontrollgruppe ( $p < 0,05$ ).

Santos et al. führten 2020 eine Untersuchung an 49 Senioren durch, bei welcher über 12 Wochen dreimal wöchentlich ein Krafttraining von 60 Minuten durchgeführt wurde. Dies führte zu keiner signifikanten Veränderung der Reaktionszeiten in der Stroop Aufgabe. Dies wurde als Hinweis darauf gewertet, dass Krafttraining als Trainingsmodalität eine weniger bedeutende Rolle auf die Verbesserung exekutiver Funktionen hat, als ein aerobes Ausdauertraining.

Fortes et al. untersuchten 2018 eine Gruppe von 36 Männern zwischen 18 und 30 Jahren. Diese übten bereits seit mindestens fünf Jahren Krafttraining aus. Für die Studie wurden sie in unterschiedliche Gruppen eingeteilt, welche ein definiertes Krafttraining einmal, zweimal oder dreimal wöchentlich für 24 Wochen zu vollziehen hatten. In dieser Studie veränderte sich die Leistung bei der Bearbeitung der Stroop Aufgabe nicht signifikant in Abhängigkeit der Frequenz des Kraftsportes. Es lässt sich hierbei jedoch kein Vergleich mit einer inaktiven Kontrollgruppe herstellen, da alle Gruppen ein Training vollzogen haben. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass die Probanden dieser Studie vorher keinen inaktiven Lebensstil verfolgten, wodurch bereits vor Beginn bestehende positive Effekte nicht ausgeschlossen werden können.

Caroline Konijnenberg und Kollegen führten 2018 eine groß angelegte Untersuchung zu den Auswirkungen regelmäßiger körperlicher Aktivität bei Kindern durch: Im Rahmen des Health Orientated Pedagogical Project erhielten insgesamt 1173 Kinder im Alter zwischen 7 und 12 Jahren an jedem Schultag 45 Minuten Unterrichtseinheiten in einer aktiven Form, das heißt, der Unterrichtsstoff wurde durch das speziell geschulte Lehrpersonal während eines Sportprogrammes vermittelt. Es fand sich hier eine signifikante Verbesserung der

Leistung in der Stroop Aufgabe über alle Teilnehmer hinweg im Vergleich zum Beginn der Studie ( $p < 0,001$ ), jedoch konnten keine signifikanten Gruppenunterschiede zwischen Teilnehmern des Programms und Nicht-Teilnehmern beobachtet werden.

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die genannten Studien zu den Effekten langfristigen, regelmäßigen körperlichen Trainings auf die Stroop Aufgabe. Insgesamt spricht die Datenlage zusammengefasst keine eindeutige Sprache. Es existieren sowohl Studien, die einen Effekt messen konnten, als auch solche, die keine signifikante Veränderung in der Geschwindigkeit oder Genauigkeit der Bearbeitung einer Stroop Aufgabe zeigen konnten. Erkennbar ist, dass sich bisher ein großer Teil der Forschung bezüglich der chronischen Effekte regelmäßigen Trainings auf Senioren konzentrierte. Zu jüngeren Populationen existieren weitaus weniger Studien, insbesondere Kohorten aus dem jungen Erwachsenenalter sind bisher nur selten untersucht worden.

**Tab. 4:** Studien zu Effekten chronischer körperlicher Belastung auf die Stroop Aufgabe

Autor und Jahr	Titel	Probanden (m/w)	Mittleres Alter [Jahre]	Sportintervention	Dauer und Häufigkeit des Trainings	Gemessene Effekte in der Stroop Aufgabe
<b>Predovan et al., 2012</b>	The Effect of Three Months of Aerobic Training on Stroop Performance in Older Adults	8/42	67,96	Multimodales Training, zunehmende Herzkreislaufbelastung	3 x 60 Minuten pro Woche über 12 Wochen	Effekt nur auf das Inhibition Switching, kein Effekt auf die klassischen Stroop Bedingungen
<b>Vedovelli et al., 2017</b>	Multimodal physical activity increases brain-derived neurotrophic factor levels and improves cognition in institutionalized older women	0/29	81,23	Krafttraining bei 50-70% der Maximalkraft und Walking bei 75-85% der maximalen Herzfrequenz	3 x 60 Minuten pro Woche über 12 Wochen	Mehr richtige Antworten in 45s bei der Interventionsgruppe nach 3 Monaten im Vergleich zu Beginn und nach einem Monat
<b>Williamson et al., 2009</b>	Changes in cognitive function in a randomized trial of physical activity: results of the lifestyle interventions and independence for elders pilot study	30/72	77,44	Multimodales Training mit Walking als primäres Herzkreislauftraining	3 x 50 Minuten pro Woche über 12 Monate	Kein Effekt
<b>Liu-Ambrose et al., 2010</b>	Resistance training and executive functions: a 12-month randomized controlled trial	0/155	69,6	Krafttraining oder Balance und Körperspannung	1 x pro Woche Krafttraining, 2 x pro Woche Krafttraining oder 2 x pro Woche Yoga je 60 Minuten über 12 Monate	Kürzere Reaktionszeit in inkongruenter Bedingung nach Krafttraining
<b>Dos Santos et al., 2020</b>	Improving cognitive and physical function through 12-weeks of resistance training in older adults: Randomized controlled trial	49, davon 60% Frauen	67	Krafttraining	3 x pro Woche 60 Minuten über 12 Wochen	Kein Effekt
<b>Fortes et al., 2018</b>	Frequency of resistance training does not affect inhibitory control or improve strength in well-trained young adults	36/0	22,1	Krafttraining	1 x 6 Sets, 2 x 3 Sets oder 3 x 2 Sets pro Woche, über 24 Wochen	Kein Effekt
<b>Konijnenberg et al., 2018</b>	The effects of a school-based physical activity intervention programme on children's executive control: The Health Oriented Pedagogical Project (HOPP)	578/595	10,13	Aerobe Aktivität eingebaut in Unterrichtseinheiten	Jeden Schultag 45 Minuten über 6-8 Monate	Effekt über Zeit, kein Effekt durch Sportintervention

## 1.6 Ziel der Studie

Angesichts der Bedeutung der Exekutivfunktionen für die selbstständige Bewältigung alltäglicher Aufgaben, ihrem Potenzial für die kognitive Performanz und ihre Möglichkeiten Alterseffekten entgegenzuwirken, sind Untersuchungen von Probanden im jungen Erwachsenenalter von besonderem wissenschaftlichen Interesse. Zahlreiche Studien zum akuten Effekt einzelner sportlicher Trainingsinterventionen haben bereits kurzfristige Verbesserungen bei Probanden im jungen Erwachsenenalter zeigen können. Jedoch sind die langfristigen Effekte von sportlichem Training bisher nur selten Gegenstand der Forschung gewesen. Fraglich ist, ob dauerhafte, auf regelmäßigem Lauftraining beruhende, Veränderungen, eine langfristige Verbesserung der Exekutivfunktionen hervorrufen. Mit dieser Fragestellung befasst sich die vorliegende Dissertation.

Die RUNSTUD Studie der AG Boecker wurde entworfen um den Einfluss eines regelmäßigen, 6-monatigen Lauftrainings auf verschiedene kognitive Funktionen und Plastizität von Hirnarealen zu messen. Im Rahmen dieser Studie wurden Probanden einem standardisierten Lauftraining in einem kontrollierten randomisierten Studiendesign über einen Zeitraum von sechs Monaten unterzogen und von Doktoranden, welche verschiedene Fragestellungen untersuchten, gemeinsam betreut. Eine computergestützte Version des Stroop Farbworttests, bestehend aus neutraler, kongruenter und inkongruenter Bedingung, wurde im Rahmen einer neuropsychologischen Testbatterie in regelmäßigen Abständen durchgeführt. Diese Testergebnisse wurden anschließend mit denen der Kontrollgruppe verglichen, welche sich für die Dauer der Studie bereit erklärte, einen inaktiven Lebensstil einzuhalten.

Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob sich über die bereits beschriebenen kurzfristigen positiven Trainingseffekte hinaus langfristige kognitive Veränderungen im Sinne einer schnelleren bzw. zuverlässigeren Farb-Wort-Interferenzabwehr gemessen in der Stroop Aufgabe bei Probanden zeigen, die ihre körperliche Leistungsfähigkeit durch regelmäßiges Lauftraining steigern konnten. Die erhobenen Daten sollten auf mögliche Gruppenunterschiede in den Ergebnissen der Stroop Aufgabe sowie auf Korrelationen zwischen körperlicher Leistungsfähigkeit und den Ergebnissen der Stroop Aufgabe untersucht werden.

## **2. Material und Methoden**

Der folgende Methodenteil bis einschließlich Unterpunkt 2.5 enthält überwiegend allgemeine Angaben zur Konzeption und zum Aufbau der „RUNSTUD“, welche verschiedene separate und eigenständige Untersuchungen enthält, die auch in separate Publikationen und eigenständige Promotionen eingehen werden. Dieser Teil des Textes (Unterpunkte 2.1-2.5) wurde von allen beteiligten Doktoranden der AG Funktionelle Neurobiologie (Leitung: Prof. Dr. med. Henning Boecker) gemeinsam erstellt und ist in den entsprechenden Doktorarbeiten identisch, während der in dieser Promotion behandelte spezifische experimentelle Teil der Promotionsarbeit mit dem Titel „Der Einfluss eines regelmäßigen aeroben Ausdauertrainings auf die Farb-Wort-Interferenzabwehr“ ausschließlich in dieser Promotionschrift behandelt wird. Der allgemeine Teil (Unterpunkte 2.1 – 2.5), mit Ausnahme der Angaben zur Gruppengröße in Abschnitt 2.1. in dieser Promotionsarbeit, ist nicht Gegenstand der Beurteilung dieser Promotionschrift, da er von mehreren Doktoranden gemeinsam erstellt wurde. Dies erklärt sich dadurch, dass das darin enthaltene Arbeitsprogramm von allen beteiligten Doktoranden/innen in diesem Projekt maßgeblich realisiert und durch die Mitarbeiter der AG Funktionelle Neurobiologie kontrolliert und überwacht wurde.

Der allgemeine Teil ist somit als solcher transparent als eine Arbeit mehrerer Beteiligter dargelegt und dementsprechend kein Plagiat. Im Vorfeld wurde diese Form der Darstellung mit dem ehemaligen Vorsitzenden der Promotionskommission der Medizinischen Fakultät, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Herrn Prof. Pöttsch, abgesprochen.

### **2.1 Probandenrekrutierung**

Als ProbandInnen für die Studie wurden sportlich inaktive Männer und Frauen im Alter von 18 bis 35 Jahren gesucht, die neurologisch, psychiatrisch und körperlich gesund waren und keine orthopädischen Kontraindikationen aufwiesen, die eine sportliche Betätigung untersagt hätten. Darüber hinaus durften die ProbandInnen in den vergangenen zwei Jahren keinen regelmäßigen Sport ausgeübt haben.

Nachfolgend findet sich in Tabelle 5 eine Auflistung der angewendeten Ein- und Ausschlusskriterien für die Probandenauswahl:

**Tab. 5:** Übersicht über die Einschluss- und Ausschlusskriterien dieser Studie

## Einschlusskriterien:

- Gesunde Männer und Frauen im Alter von 18 bis 35 Jahren (keine psychiatrischen, neurologischen oder kardiovaskulären Erkrankungen)
- Rechtshändigkeit
- Sichere Beherrschung der deutschen Sprache
- Keine Vorgeschichte im Leistungs- oder Profisport
- Keine regelmäßige sportliche Betätigung in den letzten 2 Jahren

## Ausschlusskriterien:

- Implantate aus Metall
- Klaustrophobie
- Nicht-entfernbarer Schmuck sowie Tattoos (über 20cm Durchmesser, Gesamtoberfläche oder mehr als 5% der Körperoberfläche sowie im Kopf-, Hals- oder Genitalbereich, inkl. Permanentmakeup)
- Neurologische oder psychiatrische Erkrankung
- Akute kardiovaskuläre Beschwerden, Zustand nach Herzinfarkt, bestehende koronare Herzkrankheit, Herzinsuffizienz, Herzfehler, schwere Arrhythmien und Erkrankungen oder Fehlanlagen der Herzklappen
- Thrombose oder Gerinnungsstörungen
- Hypertensive Krisen in der Vorgeschichte, unbehandelte Hypertonie mit Werten von  $\geq 160$  mmHg systolisch oder  $\geq 100$  mmHg diastolisch sowie aktuelle antihypertensive Therapie
- Asthma und COPD
- Schlaganfall in der Vorgeschichte
- Häufig wiederkehrender Schwindel
- Diabetes mellitus
- Bekannte orthopädische Erkrankungen, die zu einem Ausschluss der Teilnahme an sportlicher Aktivität führen, wie beispielsweise nicht verheilte Frakturen, Arthritis, Arthrose und andere Gelenkerkrankungen der unteren Extremität und Wirbelsäule
- Akute Infektionen oder Entzündungen
- Alkohol- oder Drogenabhängigkeit, Missbrauch psychotroper Substanzen
- Keine Zustimmung zur Mitteilung von Zufallsbefunden im MRT

Alle ProbandInnen wurden eingangs einer gründlichen kardiologischen Untersuchung unterzogen, um die Sporttauglichkeit vor Beginn der Studie festzustellen. Diese beinhaltete eine Elektrokardiographie in Ruhe (Ruhe-EKG) (Schiller AT-110, Schiller, Schweiz; 12 Kanal EKG, Ableitungen nach Einthoven, Goldberger und Wilson), eine Auskultation des Herzens sowie eine kardiale Anamneseerhebung. Bei bestehenden gesundheitlichen Risikofaktoren oder Kontraindikationen für die Magnetresonanztomographie (MRT) wurden die ProbandInnen von der Studie ausgeschlossen.

Insgesamt wurden 59 Personen in die Studie eingeschlossen. Die ProbandInnen wurden in der Reihenfolge des Studieneinschlusses abwechselnd auf zwei Gruppen aufgeteilt. Schied ein/e TeilnehmerIn aus der Studie aus, so wurde der Platz von der nächsten eingeschlossenen ProbandIn aufgefüllt. Das Verhältnis wurde zugunsten der Sportler gewählt, um eventuelle Dropouts durch mangelnde Compliance zu kompensieren. 27 Teilnehmer schieden aus der Studie aufgrund von Interessenverlust oder Mangel an Zeit aus. Ein Teilnehmer wurde aufgrund einer beginnenden Depression während der laufenden Studie ausgeschlossen, ein weiterer trainierte unregelmäßig und musste deshalb ausgeschlossen werden. Ein dritter Proband beendete die Studie nach vier Monaten und wurde deshalb in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Von dieser Gesamtgruppe der Hauptstudie reduzierte sich die Gruppengröße der vorliegenden Promotionsarbeit somit von 32 auf eine finale Gruppengröße von 29 Personen, davon 14 Männer und 15 Frauen (Alter M 24,3 SD 4,1 Jahre). Die Kontrollgruppe umfasste 10 ProbandInnen (m: 6; w: 4), die Sportgruppe 19 ProbandInnen (m: 8; w: 11).

Zu Studienbeginn wurde eine Reihe von Fragebögen erhoben, mit dem Ziel, die Teilnehmer näher zu charakterisieren (z.B. Alter, Bildungsstand, etc.). Zusätzlich wurde ein psychologisches Profil der ProbandInnen anhand weiterer Fragebögen erstellt (Mini International Neuropsychiatric Interview (MINI, German Version 5.0) (Lecrubier et al. 1997). Anhand des MINI konnten diverse neuropsychologische Erkrankungen ausgeschlossen werden (Tabelle 6). Weiterhin wurde der State Anxiety Inventory (STAI Trait, (Spielberger et al. 1983)), sowie der Beck Depression Inventory (BDI) (Beck et al. 1961; Hautzinger et al. 2006) erhoben. Bei der Erhebung des Beck Depression Inventory

wurden zwei Tests zu Beginn der Studie unvollständig ausgefüllt. Diese Tests wurden jedoch im Laufe der Studie wiederholt. Daher war eine Depression bei den ProbandInnen ausgeschlossen. Ebenso wurde ein STAI Trait bei einem Probanden wiederholt, da der erste Bogen nicht vollständig bearbeitet eingereicht wurde. Keine/r der ProbandInnen wies eine auffälligen M.I.N.I. auf. Laut Edinburgh Handedness Inventory (EHI (Oldfield 1997) waren alle eingeschlossenen ProbandInnen Rechtshänder (mean laterality quotient, Sportler: 74,5 SD 16,8, Kontrollgruppe: 79,5 SD 13,3). Des Weiteren wurde die durchschnittliche verbale Intelligenz mittels Wortschatztest (WST) (Schmidt und Metzler 1992) ermittelt (Sportler: 107 SD 9,6, Kontrollgruppe: 107,3 SD 8,8).

Tabelle 6 zeigt die Charakteristika der Probanden zum Zeitpunkt T0 bei Einschluss in die Studie. Wie in der Tabelle zu sehen ist, ergeben sich im Mann-Whitney-U Test keine signifikanten Gruppenunterschiede.

**Tab. 6:** Probandencharakteristika zum Zeitpunkt T0

	Kontrolle (n=10)	Sport (n=19)	Gesamt (n=29)	Mann-Whitney-U Test p-Wert
Anteil Frauen [%]	40	57,8	1,5 (0,5)	0,450
Grösse [cm]	176,7 (7,8)	172,4 (11,1)	173,9 (10,1)	0,212
Körpergewicht [Kg]	71,2 (14,0)	70,6 (16,5)	79,9 (15,4)	0,501
Bodymass Index	22,7 (3,6)	23,7 (4,3)	23,3 (4,0)	0,579
Alter [Jahre]	23,7 (4,2)	24,7 (4,1)	24,3 (4,1)	0,579
Bildungsjahre	15,8 (3,1)	16,6 (3,2)	16,4 (3,1)	0,677
EHI	79,5 (13,3)	74,5 (16,8)	76,2 (15,6)	0,563
WST	107,3 (8,8)	107,0 (9,6)	107,1 (9,2)	0,776
STAI Trait	31,4 (6,0)	34,2 (9,4)	33,3 (8,5)	0,568
BDI	1,4 (1,5)	2,3 (2,9)	2,0 (2,5)	0,649
relVO <sub>2</sub> max [ml/min/Kg]	41,74 (7,5)	38,9 (4,9)	40,0 (6,0)	0,174
Geschwindigkeit an der Laktatschwelle [km/h]	9,8 (1,4)	9,0 (1,8)	9,3 (1,6)	0,353
Herzfrequenz maximal	200,8 (8,5)	198,5 (7,5)	199,3 (7,8)	0,475
Herzfrequenz in Ruhe	75,6 (10,2)	80,0 (13,8)	78,4 (12,7)	0,502
Ruheblutdruck systolisch	119,5 (13,6)	119,2 (12,2)	119,3 (12,5)	0,919
Ruheblutdruck diastolisch	76,0 (11,5)	75,6 (9,5)	75,8 (10,0)	0,692

**Tab. 7:** M.I.N.I.: Screening der zu untersuchenden Krankheiten durch den Mini International Neuropsychiatric Interview (Tuanama-Schuler 2017)

Episode einer Major Depression	aktuell
Dysthymie	aktuell
Suizidalität	aktuell
(Hypo-)Manische Episode	aktuell
Panikstörung	aktuell + Lebenszeit
Agoraphobie	aktuell
Soziale Phobie (soziale Angststörung)	aktuell
Zwangsstörung	aktuell
Posttraumatische Belastungsstörung	aktuell
Alkoholabhängigkeit/Missbrauch	aktuell
Drogenabhängigkeit/Missbrauch	aktuell
Psychotische Störungen	aktuell + Lebenszeit
Anorexia Nervosa	aktuell
Bulimia Nervosa	aktuell
Generalisierte Angststörung	aktuell
Antisoziale Persönlichkeitsstörung	aktuell

Die Studie entsprach den lokalen Richtlinien und erfüllte sämtliche geltenden Regulationen der Deklaration von Helsinki. Sie wurde durch die Ethikkommission der Universität Bonn eingehend überprüft (Lfd.Nr.370/15).

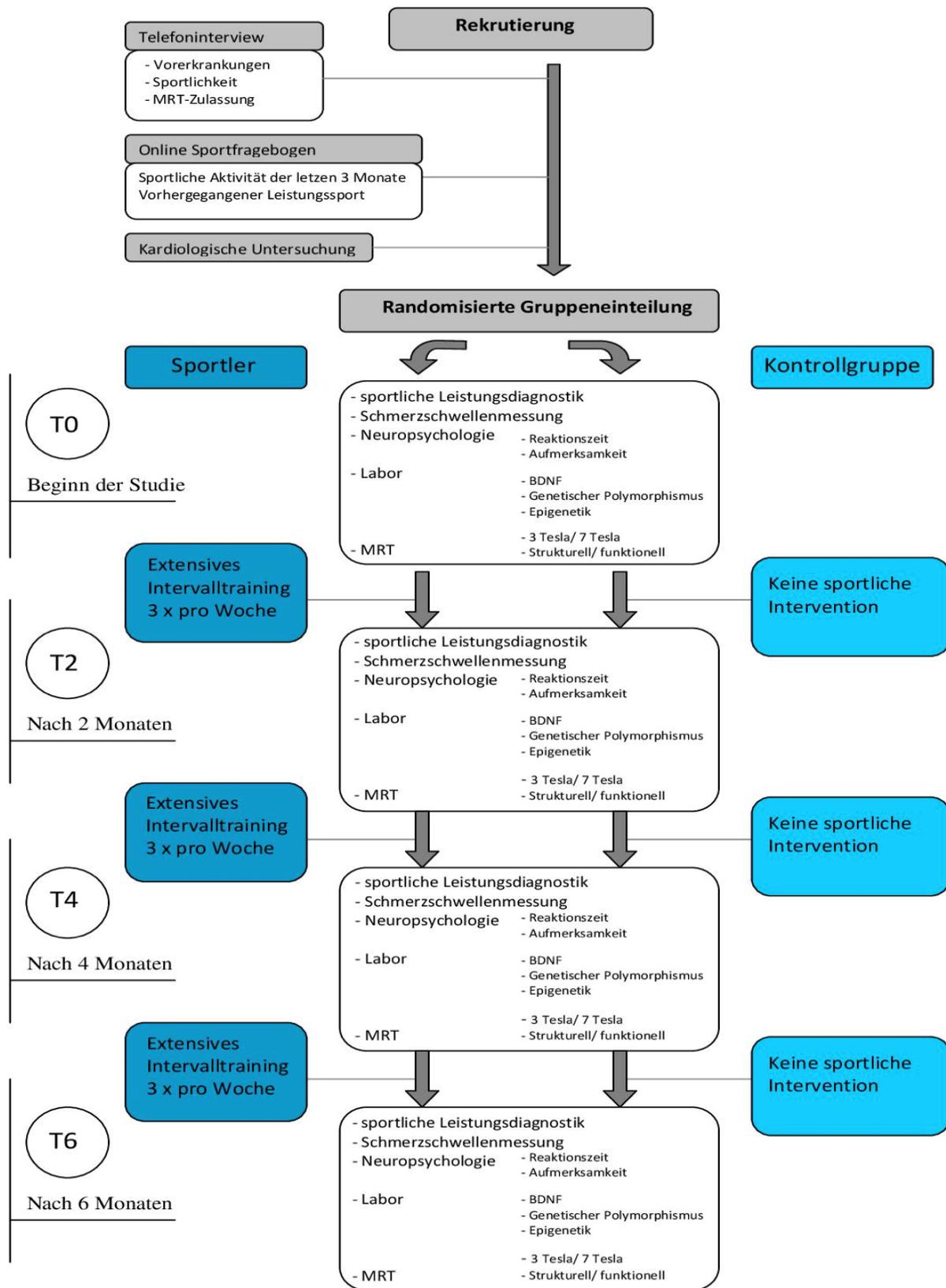
## 2.2 Ablauf der Studie

Nach Einschluss in die Studie erhielt jede/r TeilnehmerIn einen Fitnesstracker (A360, Polar, Kempele, Finnland), der im Zeitraum der Studie täglich getragen werden sollte. Insgesamt durchlief jede/r ProbandIn im 2-Monatsintervall diverse Testungen zu den Zeitpunkten Erstuntersuchung (T0), nach zwei Monaten (T2), nach vier Monaten (T4) und nach sechs Monaten (T6) (Abbildung 4).

Folgende Testungen wurden durchgeführt:

- Leistungsdiagnostik inkl. Laktatstufentest und Spiroergometrie
- Neuropsychologische Testungen (Simple Reaction Time, Choice RT, Stroop, Flanker Task, Task Switching, Visual Search, Trail Making Test A & B, Visual Face Association Task, Spatial Objects Memory Maze)
- Blutentnahmen zur Bestimmung des BDNF Polymorphismus sowie wiederholte epigenetische Untersuchungen und Bestimmungen des BDNF Levels in Ruhe
- MRT (3T und 7T) mit diversen funktionellen und strukturellen Sequenzen
- Funktionelles Task-MRT (3T) zur Emotionswahrnehmung
- Schmerzwahrnehmung und -toleranztestung anhand der Bestimmung von Wärme-, Kälte- und Hitzeschwellen und Bestimmung der Schmerztoleranz im Kältebad (sog. „cold pressor task“) jeweils vor und nach einem Training zur Untersuchung des longitudinalen und akuten Effekts der Sportintervention.

Um einen Bezug zwischen den Untersuchungen herstellen zu können, wurden alle Untersuchungen eines Zeitpunktes in einem Zeitfenster von je zwei Wochen durchgeführt.



**Abb. 4:** Schematische Darstellung des Studienablaufes

### 2.3 Leistungsdiagnostik

Um die individuelle Leistungsfähigkeit der ProbandInnen festzustellen, absolvierten diese zu Beginn der Studie sowie zu den Zeitpunkten T2, T4 und T6 eine Leistungsdiagnostik auf dem Laufband (Woodway, Weil am Rhein, Deutschland).

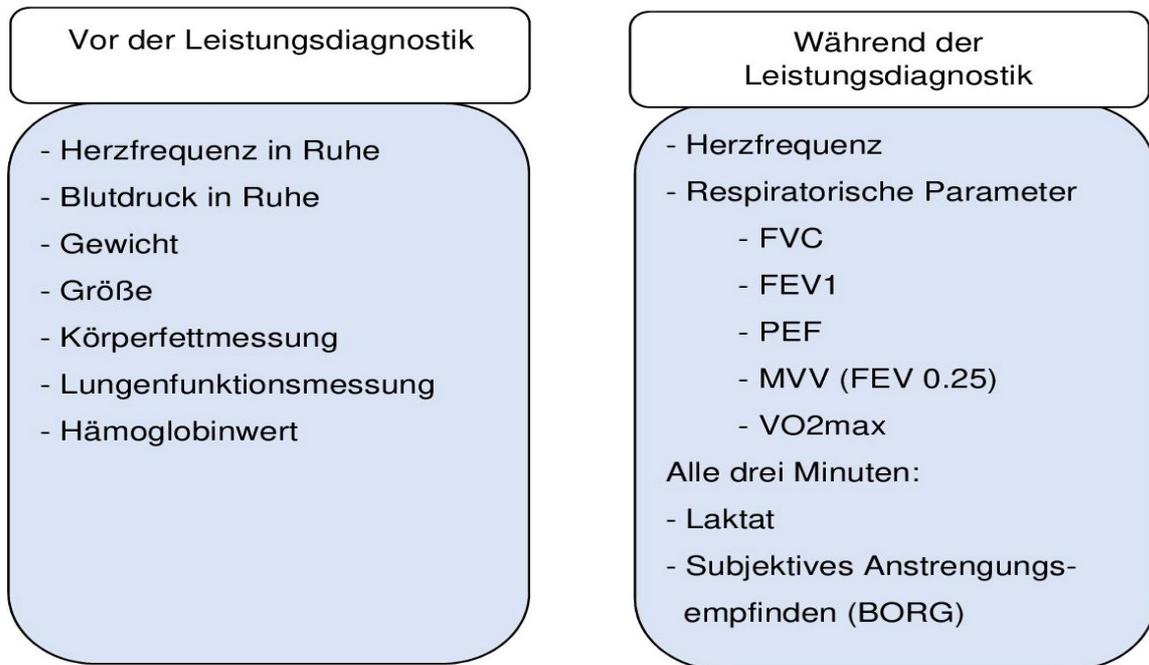
Neben der Aufzeichnung von Gewicht und Größe wurden Ruhepuls und Ruheblutdruck (Riva Rocci) erhoben sowie eine Messung des Hämoglobin Wertes im Blut (DiaSpect Tm Analyser, EKF Diagnostic GmbH, Barleben, DE). Auch eine Körperfettbestimmung (Womersley et al. 1976) wurde durchgeführt. Die Messung des Körperfetts mithilfe einer Harpenden Körperfettzange wurde an sieben Körperstellen durchgeführt: Bizeps, Trizeps, infrascapulär, suprailiacal, paraumbilical, Oberschenkelvorderseite und Wade. Hierfür wurde der Mittelwert aus drei Messungen pro Messpunkt berechnet.

Für die Messung der Herzfrequenz während der Diagnostik wurde ein Brustgurt (Polar, Kempele, Finnland) verwendet. Die Atmung wurde über eine Hans-Rudolph-Gesichtsmaske und einen Spirometer (Cortex, Metalyser 3B, Deutschland) gemessen. Protokolliert wurden die Parameter durch die Software Metastudio (Cortex, Deutschland). Unmittelbar vor Beginn der Leistungsdiagnostik wurde die Spirometrie im Stehen auf dem Laufband durchgeführt.

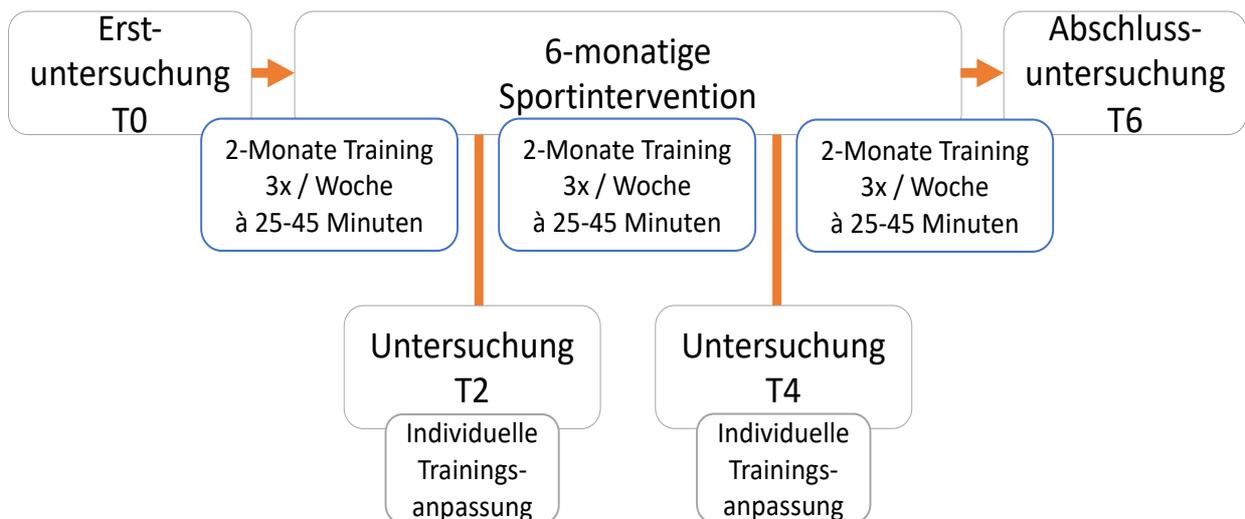
Bestimmt wurden die funktionelle Vitalkapazität (FVC), das forcierte expiratorische Volumen in einer Sekunde (FEV1), Peak Expiratory Flow Rate (PEF) und die maximale freiwillige Ventilation (MVV). Innerhalb dieser Studie wurde der Wert für MVV indirekt aus dem ausgeatmeten Volumen innerhalb der ersten 0,25 Sekunden (FEV0.25) berechnet. Die MVV ist in der Regel etwa 25% höher als die bei maximaler Ausübung beobachtete Belüftung (Eston 2001).

Der Laktat-Stufentest begann mit einer kurzen Ruhephase von zwei Minuten. Anschließend wurden die anfängliche Laufgeschwindigkeit von 6 km/h und eine Steigung von 1% eingestellt (Jones und Doust 1996). Jede Stufe dauerte jeweils drei Minuten. 30 Sekunden vor Beendigung der Stufe wurde die subjektive Beanspruchung mittels BORG-Skala (Borg 1962) abgefragt. Nach jeder Stufe folgte eine 30-sekündige Pause, in der den Probanden aus einem Finger der rechten Hand 20µl Kapillarblut entnommen wurde, das nach Ende der Intervention sofort auf die Vollblut-Laktat-Konzentration (Biosen C-Line, EKF Diagnostic GmbH, Barleben, DE) analysiert wurde (EKF Diagnostic GmbH, Barleben, Deutschland). Zum Start der nächsten Stufe wurde die Geschwindigkeit um 1

km/h erhöht. Dieses Schema wurde bis zum Erreichen der völligen Erschöpfung des Probanden wiederholt. Die völlige Erschöpfung wurde angenommen, wenn der Proband entweder während einer Stufe den Test abbrach oder am Ende einer Stufe auf der BORG-Skala mit dem Wert 20 die maximale Erschöpfung angab.



**Abb. 5:** Leistungsdiagnostik



**Abb. 6:** Trainingsablauf der Studie

Durch eine Qualitätskontrolle wurde überprüft, ob bei allen Probanden eine Ausbelastung erreicht wurde. Die Kriterien stammen aus "Methods for Measurement of Physical Fitness and Training Recommendations in Studies on Humans" (Hollmann et al. 2012). Innerhalb dieser Arbeit wurde der alleinigen Betrachtung des  $VO_2\text{max}$ -Wertes eine nur eingeschränkte Aussagekraft über die Ausbelastung nachgewiesen. Deshalb wurden erweiterte Bedingungen ergänzt, um eine einheitliche Ausbelastung definieren zu können. Dazu zählen:

- Erreichen einer Herzfrequenz von 190 Schlägen pro Minute bzw. 220 Schläge pro Minute minus das Lebensalter des Probanden
- Erreichen eines Respiratorischen Quotienten von ungefähr 30 - 35
- Abbruch des Anstiegs des Sauerstoffpulses durch ein abruptes Abflachen bei einer konstanten Leistung
- Laktat Konzentration im arteriellen Blut von 8 - 10 mmol

Die Laktat- und die anaerobe Schwelle der Probanden wurden durch den "first rise" festgelegt. Dabei entsprach die anaerobe Schwelle der Laktatkonzentration, bei der es zu einem sprunghaften Anstieg von 1 mmol gekommen ist.

In Verbindung mit der interpolierten Geschwindigkeit bzw. Herzfrequenz ließen sich genauere Veränderungen ermitteln, jenseits der rein subjektiven Verbesserung durch z.B. eine höhere Endgeschwindigkeit oder eine spätere Abbruchstufe in der Leistungsdiagnostik. Als respiratorische Parameter wurde der  $VO_2\text{max}$  ( $VO_2\text{peak}$ ) ermittelt. Dieser wurde ebenso wie die Geschwindigkeit an der Laktatschwelle als Bezugsgröße zur Analyse der neuropsychologischen Testergebnisse genutzt.

## **2.4 Intervention**

Die 6-monatige Sportintervention umfasste drei individualisierte Trainingseinheiten pro Woche bestehend aus Läufen unterschiedlicher Dauer und mit unterschiedlich gestaffelten an den individuellen Leistungsstand angepassten Geschwindigkeitsintervallen. Im ersten Monat der Studie wurden alle Trainings auf einem Laufband unter Aufsicht durchgeführt.

Ab dem zweiten Monat stand es den Probanden frei, ein Training pro Woche in eigener Verantwortung, aber weiterhin nach Studienprotokoll auch außerhalb des Labors zu absolvieren („Hometraining“). Das Training mit einer Dauer von 25 bis 45 Minuten wurde

in einem flachen Gelände durchgeführt. Insgesamt absolvierten die Probanden ca.  $64 \pm 9,23$  Trainingseinheiten (Abb.6). Ab dem dritten Monat durften insgesamt zwei Trainings pro Woche als „Hometraining“ durchgeführt werden.

Probanden, die der Kontrollgruppe zugeteilt wurden, wurden dazu angehalten ihr alltägliches Verhalten nicht zu verändern. Alltagsaktivitäten, die schon vor der Studie betrieben wurden, z.B. Arbeitsweg mit dem Fahrrad, Spaziergänge, etc., durften weiterhin wahrgenommen werden.

Das Ausdauertraining der Interventionsgruppe war als umfangreiches Intervalltraining mit drei- bis fünfminütigen Intervallen bei 75-80% der maximalen Herzfrequenz (HFmax) und drei- bis fünfminütiger aktiver Erholung mit sechs bis acht Wiederholungen konzipiert. Um ein gleichmäßiges Fortschreiten der körperlichen Anpassungen zu gewährleisten, wurde die Trainingsintensität gemäß den Ergebnissen der einzelnen Leistungstests (zwei und vier Monate nach Behandlungsbeginn) individuell angepasst.

Die Probanden in der Kontrollgruppe wurden angewiesen, ihren gewohnten Lebensstil beizubehalten, jede Art von Sport zu unterlassen und ihre normalen Ernährungs- und Bewegungspraktiken während der gesamten Studie fortzusetzen.

## 2.5 Neuropsychologie

Diese Arbeit befasst sich schwerpunktmäßig mit der Stroop Aufgabe. Diese wurde ebenfalls zu den Zeitpunkten T0, T2, T4 und T6 bearbeitet und war eingebettet in eine Batterie von neuropsychologischen Tests. Die Reihenfolge der Tests war zu allen Zeitpunkten gleich und sah wie folgt aus:

**Tab. 8:** Aufzählung neuropsychologische Testbatterie

Name des Tests	Datenerhebung
Simple Reaction Time	Aufmerksamkeit
Choice Reaction Time	Aufmerksamkeit
Stroop	Exekutivfunktion
Flanker Task	Verarbeitungs-, Aufmerksamkeits- & Kontrollprozesse
10 min Pause	
Task Switching	Exekutivfunktion
Visual Search	Visuelle Aufmerksamkeit
Trail Making Test A & B	Exekutivfunktion
10 min Pause	
Visual Face Association Task	Assoziatives Gedächtnis

Vorgabe war, dass alle Probanden ausgeruht zur Testung erscheinen und 24 Stunden vorher keinen Alkohol oder Schmerzmittel einnahmen bzw. 72 Stunden vorher keine psychotropen Substanzen (z.B. Cannabis) konsumieren durften. Außerdem wurden die Probanden instruiert, keine physisch oder psychisch anstrengenden Aktivitäten unmittelbar vor der Testung durchzuführen. Dies wurde mithilfe eines angefertigten Vorabfragebogens überprüft (vgl. Abbildung 7).

Alle neuropsychologischen Testungen fanden in einem ruhigen, gut beleuchteten Raum am Computer statt, wobei ständig ein Betreuer anwesend war. Darüber hinaus wurde auf die richtige Positionierung der Probanden geachtet, d.h. auf eine aufrechte Körperhaltung und einen Abstand von 40 cm zum Bildschirm (siehe Abbildung 8).

Studie: \_\_\_\_\_ Probanden-ID: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

### Vorabfragen MRT/Neuropsychologie/Pain-Untersuchung

Bitte nehmen Sie sich vor der Untersuchung einen Moment Zeit, folgende Fragen zu beantworten:

Aktuelle Uhrzeit bei Ausfüllen des Bogens: \_\_\_\_ : \_\_\_\_ Uhr

Haben Sie in den letzten 24 h Kaffee/Schwarztee getrunken?  ja  nein

*Falls Ja:* Wie lange ist das letzte Mal her? \_\_\_\_\_ Stunden

Leiden Sie aktuell unter Schmerzen (z.B. Kopfschmerzen)?  ja  nein

*Falls Ja:* Wie stark?  leicht  mäßig  stark

Haben Sie in den letzten 24 h schmerzstillende Medikamente eingenommen?  ja  nein

*Falls Ja:* Wie lange ist die letzte Einnahme her? \_\_\_\_\_ Stunden

*Falls Ja:* Was haben Sie eingenommen? Welche Dosis?  
\_\_\_\_\_

Haben Sie aktuell Fieber?  ja  nein

Rauchen Sie aktuell?  ja  nein

*Falls Ja:* Wie viele Zigaretten pro Tag? \_\_\_\_\_ Zigaretten

*Falls Ja:* Wie lange ist die letzte Zigarette her? \_\_\_\_\_ Stunden

Haben Sie in den vergangenen 24h Alkohol konsumiert?  ja  nein

*Falls Ja:* Wie lange ist das her? \_\_\_\_\_ Stunden

*Falls Ja:* Welche Menge?  
\_\_\_\_\_

Haben Sie in den vergangenen 72 h andere Rauschmittel konsumiert?  ja  nein

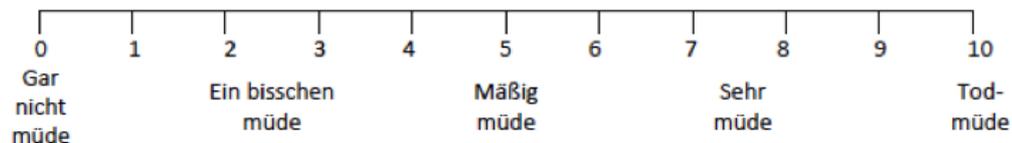
*Falls ja:* Was?  
\_\_\_\_\_

*Falls ja:* Wie lange ist der letzte Konsum her? \_\_\_\_\_ Stunden

Wie viele Stunden haben Sie letzte Nacht geschlafen? \_\_\_\_\_ Stunden

Wie gut haben Sie geschlafen?  Gut  Mäßig  schlecht

Von 0-10: Wie müde fühlen Sie sich jetzt gerade?



Vielen Dank!

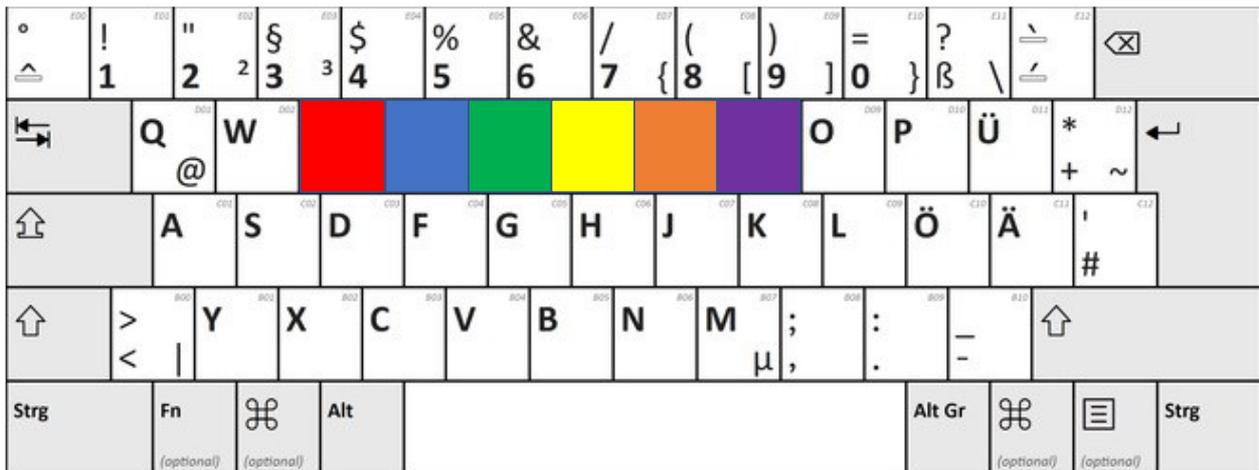
**Abb. 7:** Vorabfragebogen zur Überprüfung der Probanden vor den neuropsychologischen Testungen



**Abb. 8:** Beispielhafte Darstellung eines Probanden bei der Testung

## 2.6 Stroop Aufgabe

Der in dieser Studie verwendete Stroop Aufgabe wurde computergestützt durchgeführt. Die grafische Benutzeroberfläche sowie der Programmablauf und Aufzeichnung der Tastatureingaben wurden hierfür mit dem Computerprogramm Matlab realisiert. Dabei bestand die Stroop Aufgabe aus drei einzelnen Blöcken, im Folgenden als Stroop Aufgabe A, Stroop Aufgabe B und Stroop Aufgabe C bezeichnet. Ziel in allen Blöcken war es, als Antwort eine Farbe anzugeben. Hierfür wurden die sechs nebeneinander liegenden Buchstaben „E,R,T,Z,U und I“ einer QWERTZ-Tastatur, mit Folien aus den Farben Rot, Blau, Grün, Gelb, Orange und Lila beklebt (Abbildung 9).



**Abb. 9:** Schematische Tastatur als Eingabegerät der Stroop Aufgabe. Die für die Aufgabenbearbeitung relevanten Tasten wurden mit farbigem Klebeband deutlich sichtbar markiert

In der Stroop Aufgabe A wurden in zufälliger Aneinanderreihung die Worte „Rot“, „Blau“, „Grün“, „Gelb“, „Orange“ und „Lila“ in schwarzer Schrift präsentiert. Die Probanden wurden hierbei angewiesen, den jeweiligen Inhalt des Wortes über die farblich beklebten Tasten der Tastatur einzugeben. Stroop Aufgabe B unterschied sich von Stroop Aufgabe A dadurch, dass dieselben Worte in übereinstimmender Schriftfarbe angezeigt wurden. Die Probanden waren dabei angewiesen, die Farbe der Schrift zu benennen, in welcher das jeweilige Wort geschrieben war. In der letzten Aufgabe, Stroop Aufgabe C, unterschied sich der Inhalt der Worte von der Farbe der Schrift. Die Anweisung lautete weiterhin, die Farbe der Schrift anzugeben. Zusätzlich enthielt dieser Durchgang einen Anteil an Worten, welche in übereinstimmender Farbe abgedruckt worden sind, wodurch die Interferenz in den inkongruenten Aufgaben maximiert werden sollte (Logan und Zbrodoff, 1979, Lowe und Mitterer, 1982, MacLeod, 1991).

Jedes Wort wurde hierbei einzeln so lange angezeigt, bis die Eingabe einer Antwort über die Tastatur erfolgte. Nach erfolgter Antwort erschien ein leerer Bildschirm mit einem mittig platzierten Fadenkreuz, woraufhin das nächste Wort präsentiert wurde.

Vor der jeweiligen Aufgabe wurden den Probanden die Instruktionen für die adäquate Durchführung der Aufgabe auf dem Bildschirm präsentiert. Im Anschluss erfolgte ein Probedurchlauf aus 20 Aufgaben, welcher den Probanden helfen sollte, die jeweilige Aufgabe zu verinnerlichen. Mögliche auftretende Fragen konnten nach diesem Probedurchlauf beantwortet werden und dieser konnte bei Bedarf wiederholt werden.

Hiernach folgte jeweils der eigentliche Durchgang bestehend aus 240 präsentierten Worten.

Das Programm Matlab (Version 2014 1.2; The MathWorks Inc.; Natick, Massachusetts, USA) zeichnete für jede Tastatureingabe die jeweils verstrichene Zeit nach Beginn der Präsentation des jeweiligen Wortes auf. Bei den so aufgezeichneten Werten wurde für jede Antwort zwischen „gültig“ und „ungültig“ unterschieden. Eine Antwort galt als ungültig, wenn sie entweder mehr als 2,35 Standardabweichungen später als der Mittelwert aller korrekten Antworten erfolgte, innerhalb der ersten 100 ms nach Präsentation des Wortes getätigt wurde oder wenn die jeweilige Antwort nicht korrekt war (Zimmermann und Fimm, 2002). Aus den 240 Antworten der jeweiligen Durchgänge wurde anhand der gültigen Antworten die mittlere Reaktionszeit bestimmt. Zusätzlich wurde die Anzahl der nicht korrekt beantworteten Aufgaben ausgegeben.

Die auf diese Art erstellten mittleren Reaktionszeiten und Fehlerquoten wurden unter folgenden Aspekten untersucht:

1. Welchen Einfluss hat die 6-monatige Trainingsintervention auf die Reaktionszeiten, und die Fehlerquoten der Probanden? Gibt es Gruppenunterschiede zu den verschiedenen Messzeitpunkten oder in der zeitlichen Zu- und Abnahme von Reaktionszeiten oder Fehlerquoten?
2. Existiert ein Unterschied in den Reaktionszeiten, den Fehlerquoten oder den Interferenzeffekten über die vier Messzeitpunkte hinweg?
3. Korrelieren die  $relVO_2max$  Werte bzw. die  $dmax_v$  Werte mit der jeweiligen Reaktionszeit, oder der Fehlerquote?
4. Korrelieren die Veränderungen der  $relVO_2max$  bzw. der  $dmax_v$  Werte mit den jeweiligen Veränderungen der Reaktionszeiten oder der Fehlerquoten?
5. Korrelieren die  $relVO_2max$  bzw.  $dmax_v$  Werte mit dem Ausmaß des Stroop-Interferenzeffektes?

## **2.7 Datenanalyse**

Es mussten insgesamt fünf unvollständige Datensätze teilweise aus der Auswertung der Fitnessparameter ausgeschlossen werden. Grund dafür waren invalide Ergebnisse bei zwei Probanden der Sportgruppe sowie ein Laufbanddefekt, der die Datenerhebung von drei Kontrollen beeinflusste. Die betroffenen Studienteilnehmer erfüllten jedoch weiterhin

alle notwendigen Kriterien zur Auswertung ihrer neuropsychologischen Testdurchläufe. Die Analyse der Stroop Aufgabe erfolgte also anhand der Messungen aller 19 Sportler und der 10 Kontrollen. Aufgrund von zwei Fehlmessungen, welche die Stroop Aufgabe C zum Zeitpunkt T0 bzw. T4 betrafen, deren Ursachen retrospektiv nicht erörtert werden konnten, mussten die zugehörigen Fälle bei der Auswertung mittels Friedman-Test listenweise ausgeschlossen werden, wodurch sich in den betroffenen Friedman Tests eine Gruppengröße von N=9 für die Kontrollgruppe und N=18 für die Sportgruppe ergibt. Da die betroffenen Probanden in allen weiteren Messungen plausible Ergebnisse lieferten, wurden die vorhandenen Messwerte in die Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney U Test einbezogen. Somit liegen bei den Gruppenvergleichen N=10 Kontrollen, mit Ausnahme der Messung Stroop Aufgabe C zum Zeitpunkt T0 und aller zugehörigen Differenzen vor. In der Sportgruppe reduziert sich dadurch analog zum Zeitpunkt T4 in Stroop Aufgabe C und allen zugehörigen Differenzen die Probandenanzahl von 19 auf 18. In die Berechnungen der mittleren Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten flossen die Mittelwerte aller gültigen Antworten der 240 Durchläufe ein. Zusätzlich wurden für alle Probanden aus den Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten die jeweiligen Kontraste wie folgt gebildet:

**Tab. 9:** Gebildete Kontraste aus den verschiedenen Stroop Aufgaben

Gebildeter Kontrast der Stroop Aufgaben	Korrespondierende Stroop Bedingungen	Bedeutung des Kontrastes
C – A	Inkongruent - Neutral	Ausdruck des Interferenzeffektes
C – B	Inkongruent - Kongruent	Größtmöglicher Kontrast zwischen Vereinfachung durch Kongruenz und Erschwernis durch Inkongruenz
B – A	Kongruent - Neutral	Ausdruck der Vereinfachung durch Kongruenz der Reize im Vergleich zur neutralen Bedingung

Die weitere statistische Analyse wurde mit dem Programm „SPSS Statistics 27“ (Version 2020, 27; IBM Corporation; Armonk, New York) durchgeführt. Zusätzlich kam das

Programm G\*Power (Faul et al., 2007, 2009) zur Berechnung der Power zur Verwendung. Für sämtliche Tests wurde ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  zugrunde gelegt. Zunächst wurden die Mittelwerte der Reaktionszeiten und die Fehlerhäufigkeiten mittels Boxplotanalyse auf Ausreißer untersucht. Hierbei wurden bei insgesamt zwei Messungen deutlich erhöhte Fehlerhäufigkeiten festgestellt. Bei beiden Probanden konnten in den weiteren Messungen keine Auffälligkeiten festgestellt werden. Da sich retrospektiv die genaue Ursache für diese, am ehesten systematischen, Fehler feststellen ließ, wurden diese beiden Messungen vollständig von der Analyse ausgeschlossen. Die weiteren Werte wurden aufgrund gegebener Plausibilität belassen. Die abhängigen Variablen Reaktionszeit [s], Fehlerhäufigkeit,  $\text{relVO}_2\text{max}$  [ml/min/kg],  $\text{dmax}_v$  [km/h] wie auch alle gebildeten Kontraste zeigten keine Normalverteilung (Shapiro und Wilk, 1965). Aus diesem Grund wurden für die statistische Auswertung in dieser Studie durchgehend nicht-parametrische Verfahren gewählt, wobei auch die normalverteilten Parameter zur Vereinheitlichung einfließen. Die Gruppen wurden zu sämtlichen Zeitpunkten mittels Mann-Whitney-U-Test verglichen (Mann und Whitney 1947). Die erhobenen Parameter wurden über alle Messzeitpunkte mittels Friedman Test auf signifikante Veränderungen im zeitlichen Verlauf für jede Gruppe getrennt untersucht (Friedman 1937). Signifikante Ergebnisse wurden in einer Post-hoc-Analyse durch den Dunn-Bonferroni Test weiter geprüft (Dunn 1961). Zur Untersuchung auf Korrelationen zwischen den Fitnessparametern und den Parametern der Stroop Aufgabe wurde eine Korrelationsanalyse nach Spearman verwendet (Spearman, 1904). Korreliert wurden hierbei die maximale Sauerstoffaufnahme  $\text{relVO}_2\text{max}$  [ml/min/kg] und die Maximalgeschwindigkeit während der Fitnesstests  $\text{dmax}_v$  [km/h] mit den Parametern Reaktionszeit und Fehlerhäufigkeit der Stroop Aufgaben A, B und C wie auch der jeweiligen Kontraste C-A, C-B und B-A (siehe Tabelle 8). Ferner wurden die individuellen Veränderungen der Fitnessparameter mit den zugehörigen Veränderungen in Fehlerhäufigkeit, Reaktionszeiten und Kontrasten korreliert. Für die signifikanten Ergebnisse der Mann-Whitney-U und Dunn-Bonferroni Tests wurde zusätzlich jeweils die Effektstärke nach Cohen (1992) mit Cohen's  $r = \left| \frac{z}{\sqrt{n}} \right|$  berechnet. Bei den Korrelationsanalysen wurde Spearmans Rho berechnet. In allen in dieser Arbeit aufgeführten Säulendiagrammen sind die Mittelwerte  $\pm$  einfacher Standardfehler als Fehlerindikator angegeben.

### 3. Ergebnisse

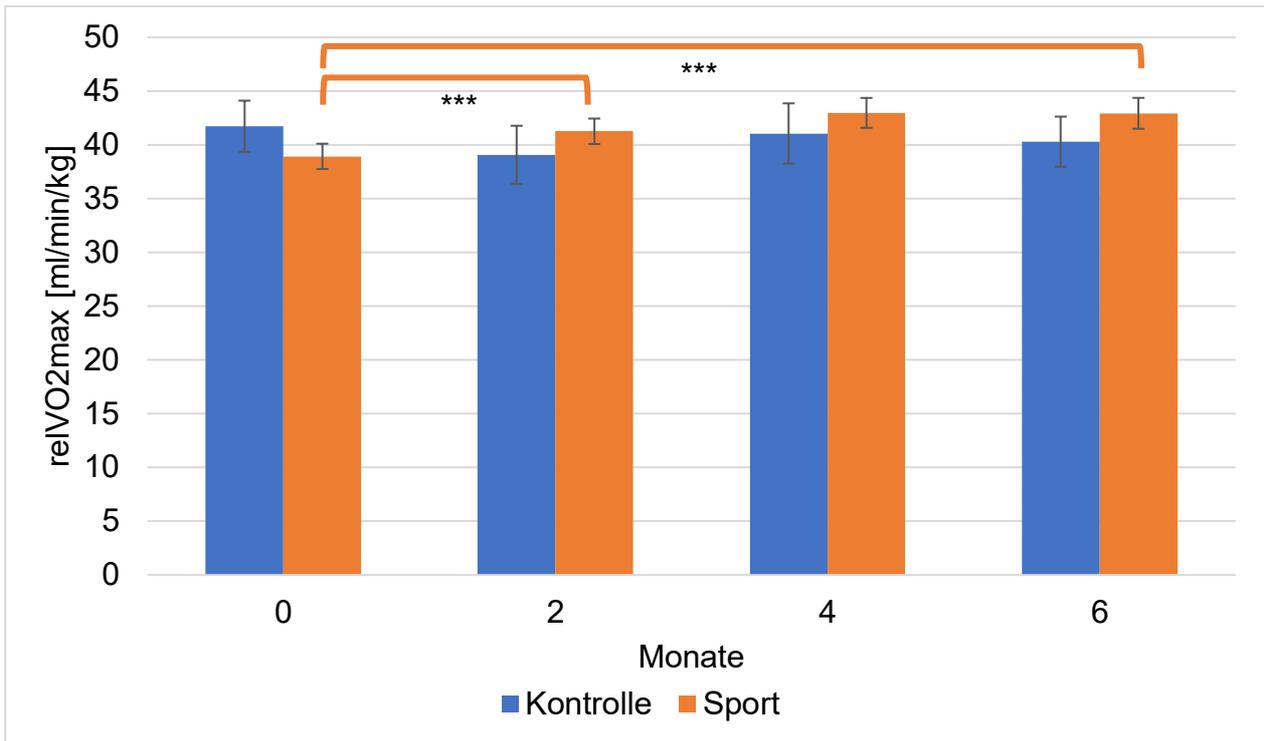
#### 3.1 Körperliche Leistungsdiagnostik

Die zugrundeliegenden Grunddaten zu Herzfrequenz, Blutdruck,  $\text{relVO}_2\text{max}$ ,  $\text{dmax}_v$  und Gewicht sind für alle Dissertationen, welche Teil der RUNSTUD Studie sind, identisch. Für die Auswertung in dieser Dissertation wurden ausschließlich Fitnessdaten verwendet, für welche zugehörige Daten der Stroop Aufgaben erhoben wurden.

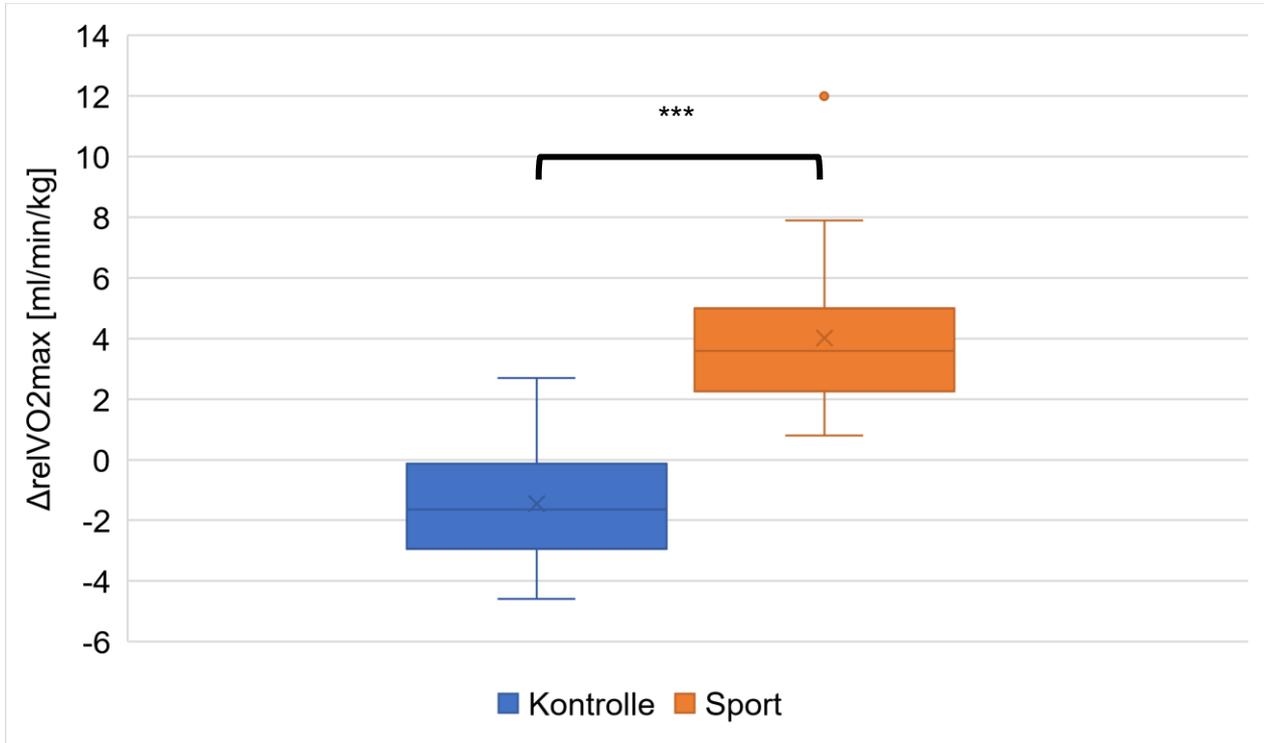
##### 3.1.1 $\text{relVO}_2\text{max}$

Zu Beginn der Studie fand sich zwischen beiden Gruppen kein statistisch signifikanter Unterschied in der  $\text{relVO}_2\text{max}$  (Mann-Whitney-U Test:  $U = 57,500$ ;  $p = 0,170$ ) wobei die Werte der Kontrollgruppe im Mittel  $41,740$  (SD  $7,527$ ) ml/min/kg und der Sportgruppe  $38,936$  (SD  $4,855$ ) ml/min/kg betragen. Abbildung 10 zeigt den zeitlichen Verlauf der  $\text{relVO}_2\text{max}$  über die vier Messpunkte der Studie. In der Sportgruppe ließ sich eine signifikante Steigerung der  $\text{relVO}_2\text{max}$  im zeitlichen Verlauf beobachten (Friedman-Test:  $\chi^2(3) = 29,389$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 17$ ). Anschließend durchgeführte Dunn-Bonferroni Tests zeigten, dass sich die Werte zu den Zeitpunkten T0 und T2 ( $z = -1,588$ ;  $p < 0,001$ ;  $r = 0,386$ ), T0 und T4 ( $z = -1,882$ ;  $p < 0,001$ ;  $r = 0,456$ ) sowie T0 und T6 ( $z = -2,176$ ;  $p < 0,001$ ;  $r = 0,241$ ) voneinander unterscheiden. Wie Abbildung 10 zeigt, werden hierbei zum Zeitpunkt T4 die höchsten Werte für die  $\text{relVO}_2\text{max}$ , im Mittel  $42,982$  (SD  $5,743$ ) ml/min/kg erreicht, wobei eine hohe Effektstärke vorliegt. Die  $\text{relVO}_2\text{max}$  Werte der Kontrollgruppe wiesen keine signifikanten Veränderungen im zeitlichen Verlauf auf (Friedman-Test:  $\chi^2(3) = 5,914$ ;  $p = 0,116$ ;  $n = 7$ ).

Abbildung 11 zeigt die Differenz ( $\Delta$ ) der  $\text{relVO}_2\text{max}$  von Beginn zu Ende der Studie im Vergleich zwischen den Gruppen. Im Mittel konnte die Sportgruppe ihre  $\text{relVO}_2\text{max}$  im Verlauf der Studie um durchschnittlich  $4,005$  (SD  $2,718$ ) ml/min/kg steigern, wohingegen die  $\text{relVO}_2\text{max}$  der Kontrollgruppe um  $1,440$  (SD  $2,019$ ) ml/min/kg geringfügig abnahm. Der Gruppenvergleich dieser Zu- bzw. Abnahme zeigt hier einen signifikanten Unterschied, wobei ein starker Effekt vorliegt (Mann-Whitney-U Test:  $U = 164,500$ ;  $p < 0,001$ ;  $r = 0,768$ ).



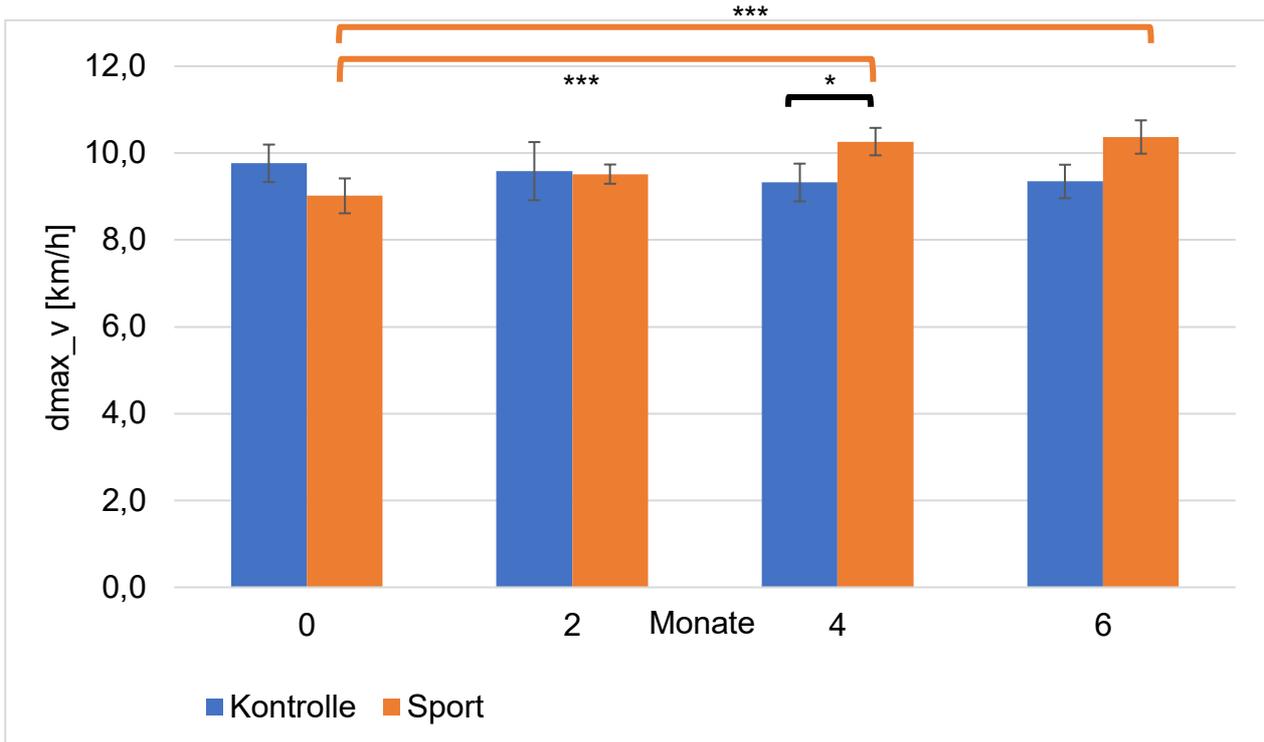
**Abb. 10:** relVO<sub>2</sub>max im zeitlichen Verlauf. Zunahme der relVO<sub>2</sub>max in der Sportgruppe von T0 zu T2 sowie T0 zu T6 \*\*\*p < 0,001



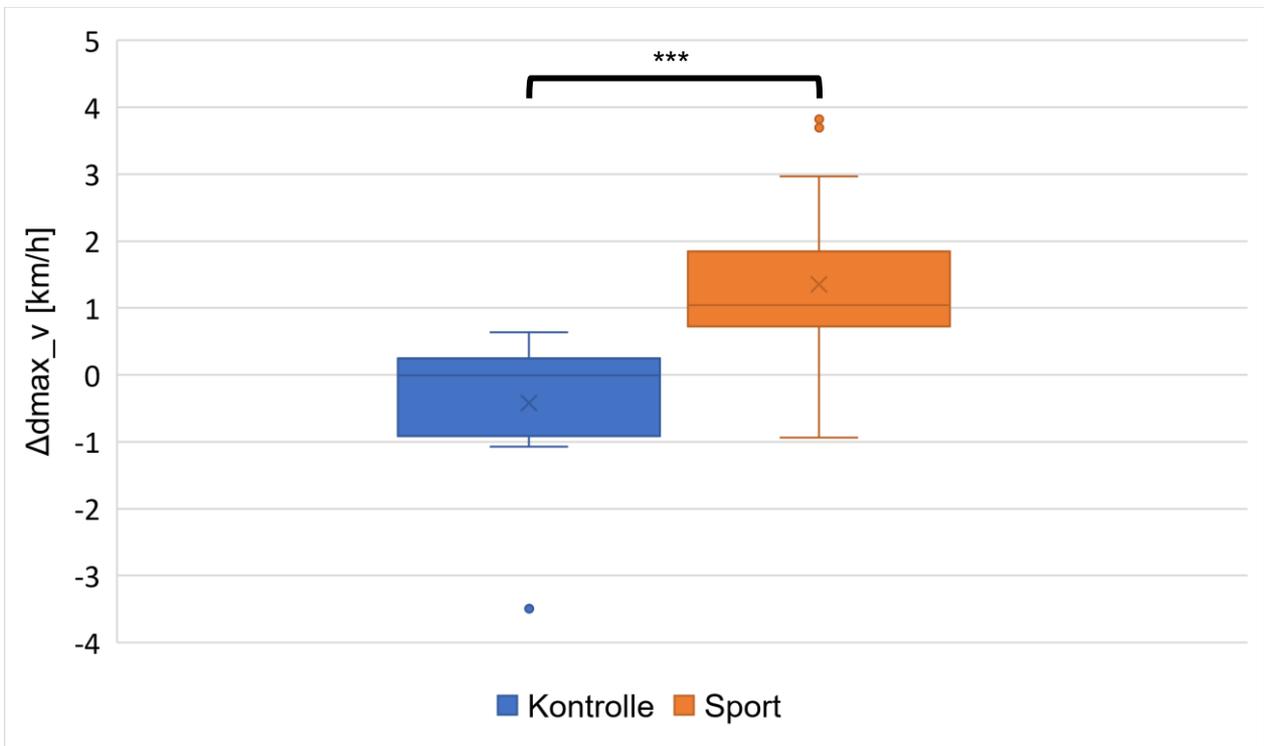
**Abb. 11:** Differenz der relVO<sub>2</sub>max von T0 zu T6. Signifikant Zunahme in der Sportgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe \*\*\*p < 0,001

### 3.1.2 dmax\_v

Die Betrachtung der dmax\_v ergibt ebenfalls keine signifikanten Gruppenunterschiede zum Zeitpunkt T0 mit durchschnittlich 9,764 (SD 1,365) km/h für die Kontrollgruppe und 9,015 (SD 1,750) km/h für die Sportgruppe (Mann-Whitney-U Test:  $U = 74,000$ ;  $p = 0,353$ ). Abbildung 12 zeigt den zeitlichen Verlauf der dmax\_v. Auch für die dmax\_v ließ sich eine signifikante Veränderung im zeitlichen Verlauf für die Sportgruppe feststellen (Friedman-Test:  $\chi^2(3) = 25,295$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 19$ ). Die anschließend durchgeführten Dunn-Bonferroni Tests ergeben signifikante Steigerungen der dmax\_v zwischen den Zeitpunkten T0 und T4 ( $z = -1,895$ ;  $p < 0,001$ ;  $r = 0,435$ ) sowie T0 und T6 ( $z = -1,632$ ;  $p < 0,001$ ;  $r = 0,374$ ). Insgesamt steigen hierbei die dmax\_v Werte bis auf durchschnittlich 10,370 (SD 1,674) km/h zum Zeitpunkt T6 an. Die dmax\_v Werte der Kontrollgruppe weisen keine signifikanten Veränderungen über die vier Messpunkte hinweg auf (Friedman Test:  $z = 2,603$ ;  $p = 0,457$ ;  $n = 7$ ). Die Gruppenvergleiche ergeben zum Zeitpunkt T4 einen signifikanten Unterschied mittlerer Effektstärke (Mann-Whitney-U Test:  $U = 126,000$ ;  $p = 0,048$ ;  $r = 0,376$ ). Abbildung 13 zeigt die Differenz der dmax\_v von Beginn zu Ende der Studie. Während die Sportgruppe ihre dmax\_v um durchschnittlich 1,355 (SD 1,196) km/h steigern konnte nahm diese in der Kontrollgruppe im Studienverlauf um 0,417 (SD 1,212) km/h leicht ab. Der Gruppenvergleich zeigt hierbei einen signifikanten Unterschied, wobei auch hier ein starker Effekt vorliegt (Mann-Whitney-U Test:  $U = 176,000$ ;  $p < 0,001$ ;  $r = 0,690$ ).



**Abb. 12:**  $d_{max\_v}$  im zeitlichen Verlauf. Signifikante Steigerung der  $d_{max\_v}$  für die Sportgruppe zwischen den Zeitpunkten T0 und T4 sowie T0 und T6 \*\*\* $p < 0,001$ . Gruppenunterschied zum Zeitpunkt T4 \* $p < 0,05$

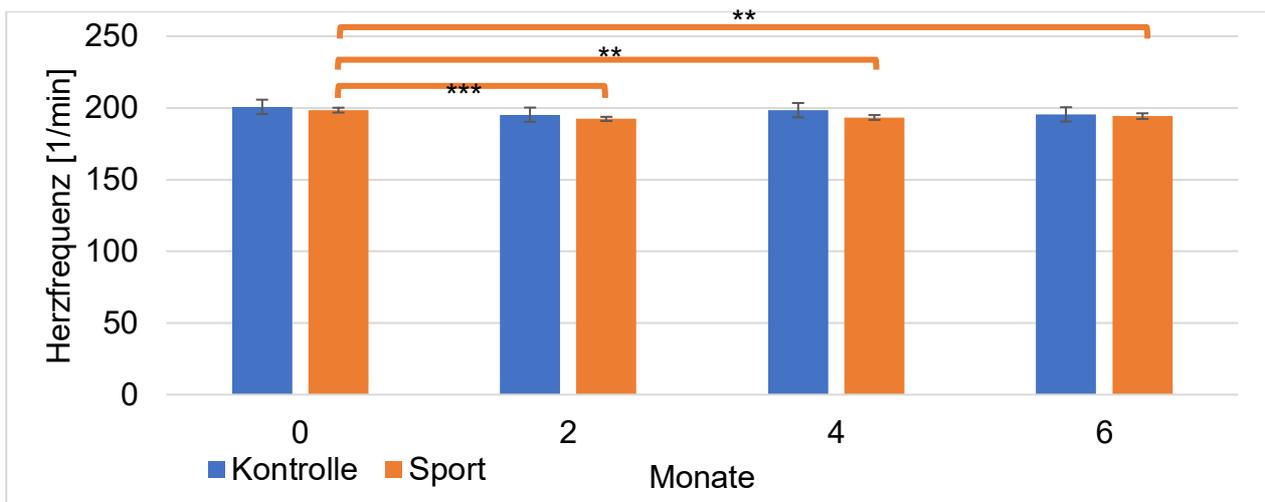


**Abb. 13:** Differenz der  $d_{max\_v}$  von T0 zu T6. Signifikante Zunahme in der Sportgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe \*\*\* $p < 0,001$

### 3.1.3 Ruheherzfrequenz und maximale Herzfrequenz

Die Ruheherzfrequenzen der Kontrollgruppe mit 75,60 (SD 10,19) min<sup>-1</sup> und der Sportgruppe mit 79,95 (SD 13,84) min<sup>-1</sup> zum Zeitpunkt T0 unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Mann-Whitney-U Test: U = 110,000; p = 0,512). Lediglich zum Zeitpunkt T4 findet sich ein signifikanter Gruppenunterschied der Ruheherzfrequenzen (Mann-Whitney-U Test: U = 43,000; p = 0,037; r = 0,397) wobei hier die Kontrollgruppe mit 80,8/min (SD 9,2) höhere Ruhepulse aufweist als die Sportgruppe mit 70,7/min (SD 10,3). Zudem kam es weder in der Sportgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 5,565$ ; p = 0,135; n = 19) noch in der Kontrollgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 2,136$ ; p = 0,545; n = 7) zu einer signifikanten Veränderung im zeitlichen Verlauf.

Die maximalen Herzfrequenzen zeigen bei Studienbeginn ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Mann-Whitney-U Test: U = 79,000; p = 0,484). Auch zu den weiteren Messzeitpunkten ließen sich keine signifikanten Gruppenunterschiede feststellen. Im zeitlichen Verlauf lässt sich eine signifikante Abnahme der maximalen Herzfrequenz in der Sportgruppe beobachten (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 22,638$ ; p < 0,001; n = 19). Die anschließend durchgeführten Dunn-Bonferroni Tests ergaben signifikante Abnahmen zwischen den Zeitpunkten T0 und T2 (z = 1,842; p < 0,001; r = 0,423), T0 und T4 (z = 1,474; p = 0,003; r = 0,338) sowie T0 und T6 (z = 1,316; p = 0,010; r = 0,302). Dagegen konnte keine messbare Veränderung im zeitlichen Verlauf in der Kontrollgruppe beobachtet werden (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 4,500$ ; p = 0,212; n = 7). Die maximalen Herzfrequenzen sind in Abbildung 14 grafisch dargestellt.



**Abb. 14:** Maximale Herzfrequenzen im zeitlichen Verlauf. Signifikante Abnahme in der Sportgruppe zwischen T0 und T2, T0 und T4 sowie T0 und T6 \*\*p < 0,01; \*\*\* p < 0,001

### 3.1.4 Blutdruck

Weder in der Sportgruppe noch in der Kontrollgruppe kam es zu signifikanten Veränderungen von systolischem oder diastolischem Ruheblutdruck im zeitlichen Verlauf. Lediglich zum Zeitpunkt T2 liegt ein signifikanter Gruppenunterschied des diastolischen Blutdruckes vor (Mann-Whitney-U Test:  $U = 108,000$ ;  $p = 0,015$ ;  $r = 0,461$ ), wobei die Kontrollgruppe mit 69,29 (SD 6,07) mmHg zu diesem Zeitpunkt niedrigere diastolische Blutdruckwerte aufweist als die Sportgruppe mit 77,00 (SD 6,81) mmHg.

### 3.1.5 Gewicht

Bezüglich des Gewichts ließen sich zu keinem Zeitpunkt Unterschiede zwischen den beiden Gruppen beobachten. Weder in der Sportgruppe noch in der Kontrollgruppe kam es zu einer signifikanten Veränderung im zeitlichen Verlauf.

## 3.2 Stroop Aufgabe

### 3.2.1 Reaktionszeiten

#### *Stroop Aufgabe A – Neutrale Bedingung*

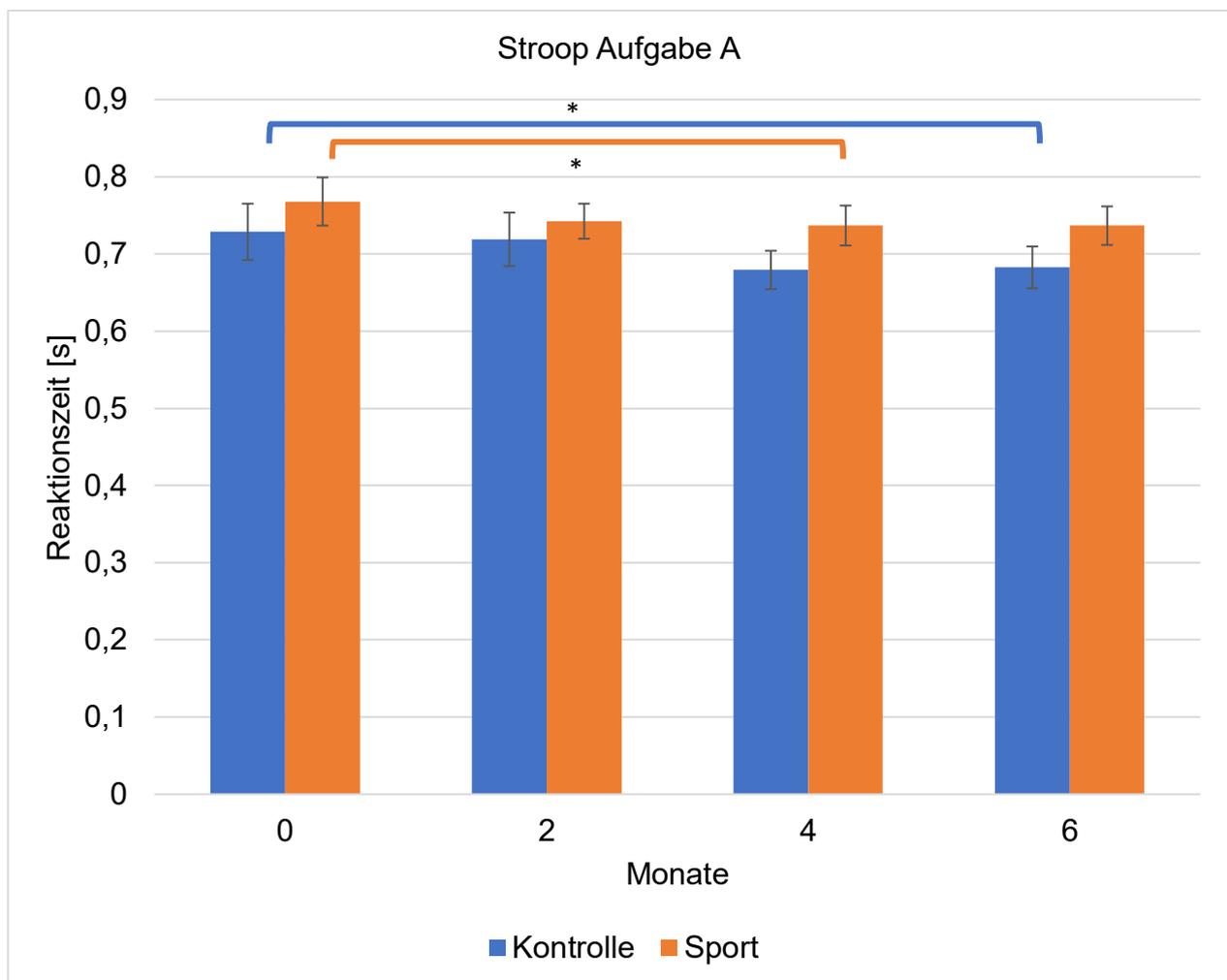
Bei Studienbeginn bestand kein signifikanter Unterschied in den Reaktionszeiten der Stroop Aufgabe A zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U Test:  $U = 117,000$ ;  $p = 0,330$ ). Die mittlere Reaktionszeit liegt in der Sportgruppe mit 0,768 (SD 0,136) s geringfügig höher als in der Kontrollgruppe mit 0,729 (SD 0,116) s.

Abbildung 15 veranschaulicht die Reaktionszeiten im Stroop Aufgabe A über den Verlauf der Studie. Es ließ sich ein signifikanter Unterschied der Reaktionszeiten der Sportgruppe im zeitlichen Verlauf beobachten (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 8,116$ ;  $p = 0,044$ ;  $n = 19$ ). Die anschließenden Dunn-Bonferroni Tests ergaben eine signifikante Abnahme der Reaktionszeit vom Zeitpunkt T0 zu T4 auf 0,737 (SD 0,113) s, wobei dies einem schwachen Effekt entspricht ( $z = 1,105$ ;  $p = 0,050$ ;  $r = 0,254$ ).

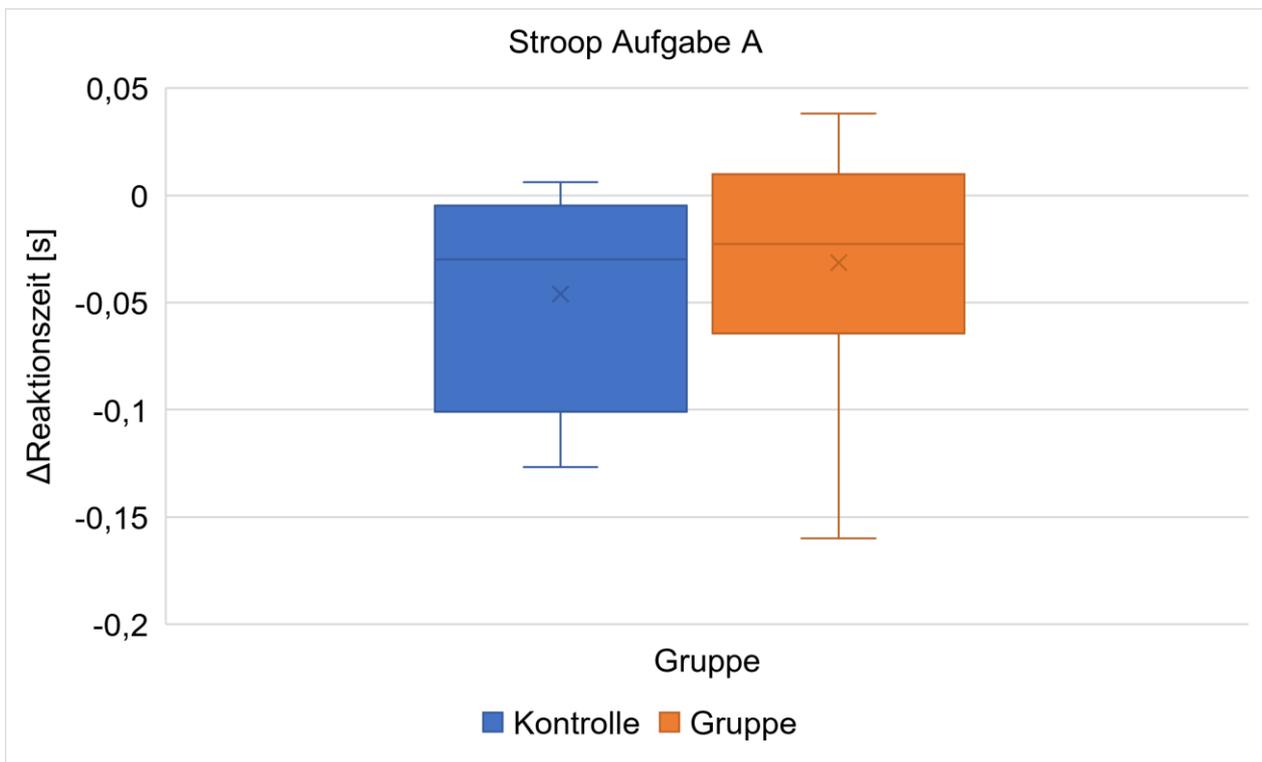
Auch für die Kontrollgruppe lässt sich eine signifikante Veränderung der Reaktionszeiten im zeitlichen Verlauf beobachten (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 8,160$ ;  $p = 0,043$ ;  $n = 10$ ). Hierbei zeigen die Dunn-Bonferroni Tests eine signifikante Abnahme der Reaktionszeiten zwischen den Zeitpunkten T0 und T6 auf 0,683 (SD 0,086) s, was einem starken Effekt entspricht ( $z = 1,600$ ;  $p = 0,034$ ;  $r = 0,506$ ).

Ein statistischer Zusammenhang der Reaktionszeit und der Gruppenzugehörigkeit ließ sich nicht feststellen. Im Gruppenvergleich mittels Mann-Whitney-U Test fand sich zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Gruppenunterschied wobei zu erwähnen ist, dass die Reaktionszeiten der Sportgruppe zu allen Zeitpunkten höher ausfallen als die der Kontrollgruppe.

Abbildung 16 zeigt die Veränderung der Reaktionszeit im Stroop Aufgabe A von Beginn bis zum Ende der Studie. Der Gruppenvergleich dieser Veränderung ergibt eine Abnahme in beiden Gruppen im Studienverlauf, welche sich jedoch nicht signifikant voneinander unterscheidet.



**Abb. 15:** Reaktionszeiten in der Stroop Aufgabe A im zeitlichen Verlauf. Signifikante Abnahme in der Sportgruppe von T0 zu T4 sowie in der Kontrollgruppe von T0 zu T6 \* $p < 0,05$

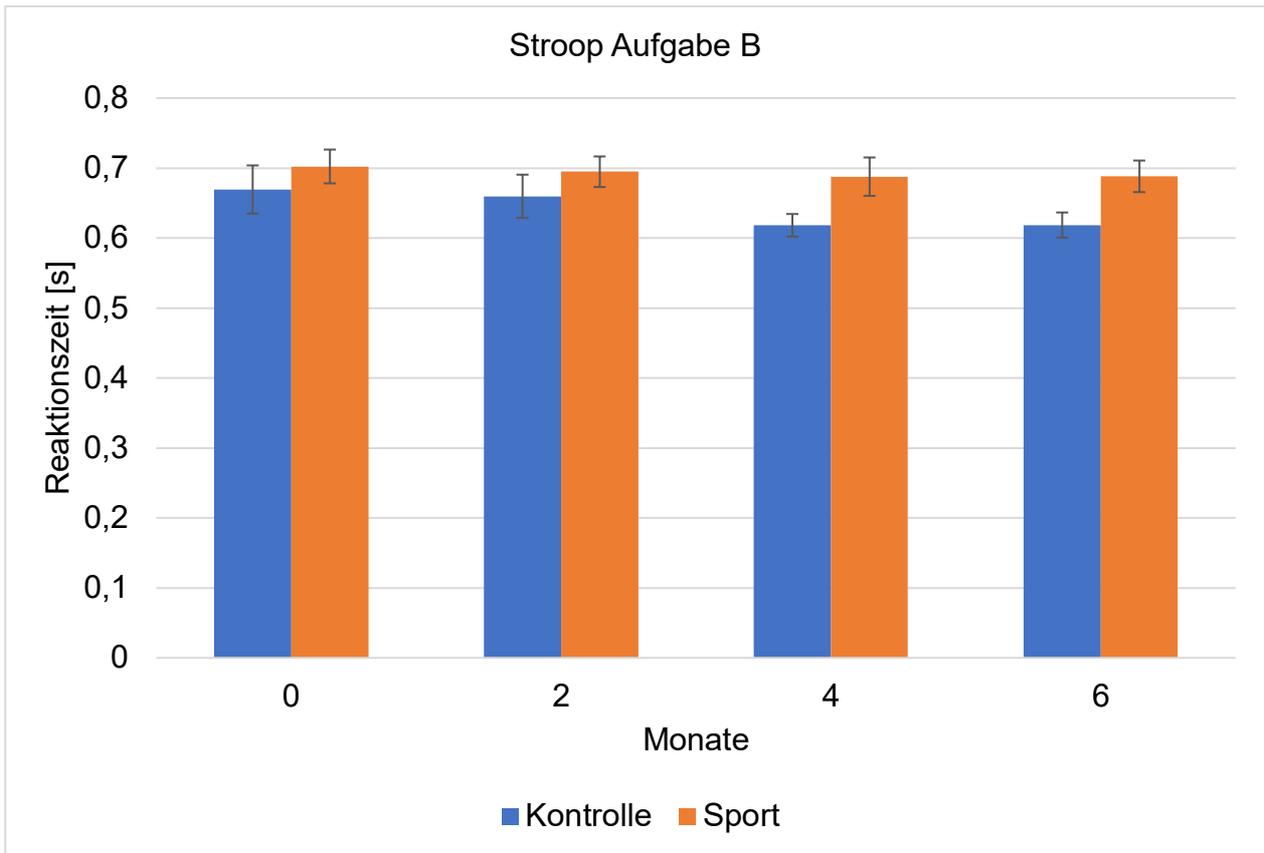


**Abb. 16:** Differenz der Reaktionszeiten im Stroop Aufgabe A von T0 zu T6

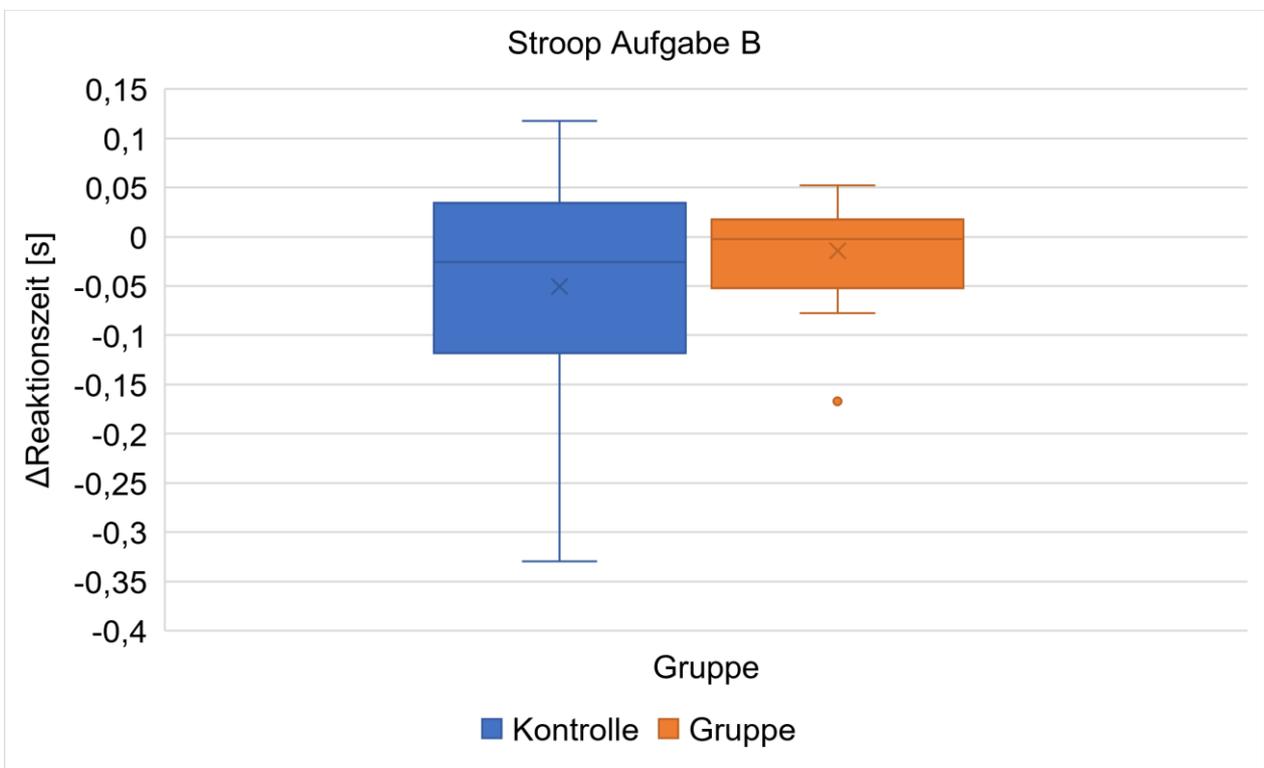
#### *Stroop Aufgabe B – Kongruente Bedingung*

Bei Studienbeginn bestand kein signifikanter Unterschied in den Reaktionszeiten der Stroop Aufgabe B zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U Test:  $U = 117,000$ ,  $p = 0,330$ ). Die mittlere Reaktionszeit betrug für die Sportgruppe  $0,702$  (SD  $0,105$ ) s sowie für die Kontrollgruppe  $0,669$  (SD  $0,109$ ) s zum Zeitpunkt T0.

Im zeitlichen Verlauf konnten weder für die Sportgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 1,105$ ;  $p = 0,776$ ;  $n = 19$ ) noch für die Kontrollgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 3,480$ ;  $p = 0,323$ ;  $n = 10$ ) signifikante Veränderungen der Reaktionszeit festgestellt werden. Die Reaktionszeiten der Stroop Aufgabe B im zeitlichen Verlauf sind in Abbildung 17 dargestellt. Auch in Stroop Aufgabe B sind durchgehend längere Reaktionszeiten in der Sportgruppe zu verzeichnen. Die Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-U Test ergaben zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede. Abbildung 18 zeigt die Differenz der Reaktionszeit in Stroop Aufgabe B von Beginn bis zum Ende der Studie. Auch bezüglich dieser lässt sich kein signifikanter Gruppenunterschied feststellen.



**Abb. 17:** Reaktionszeiten in Stroop Aufgabe B im zeitlichen Verlauf

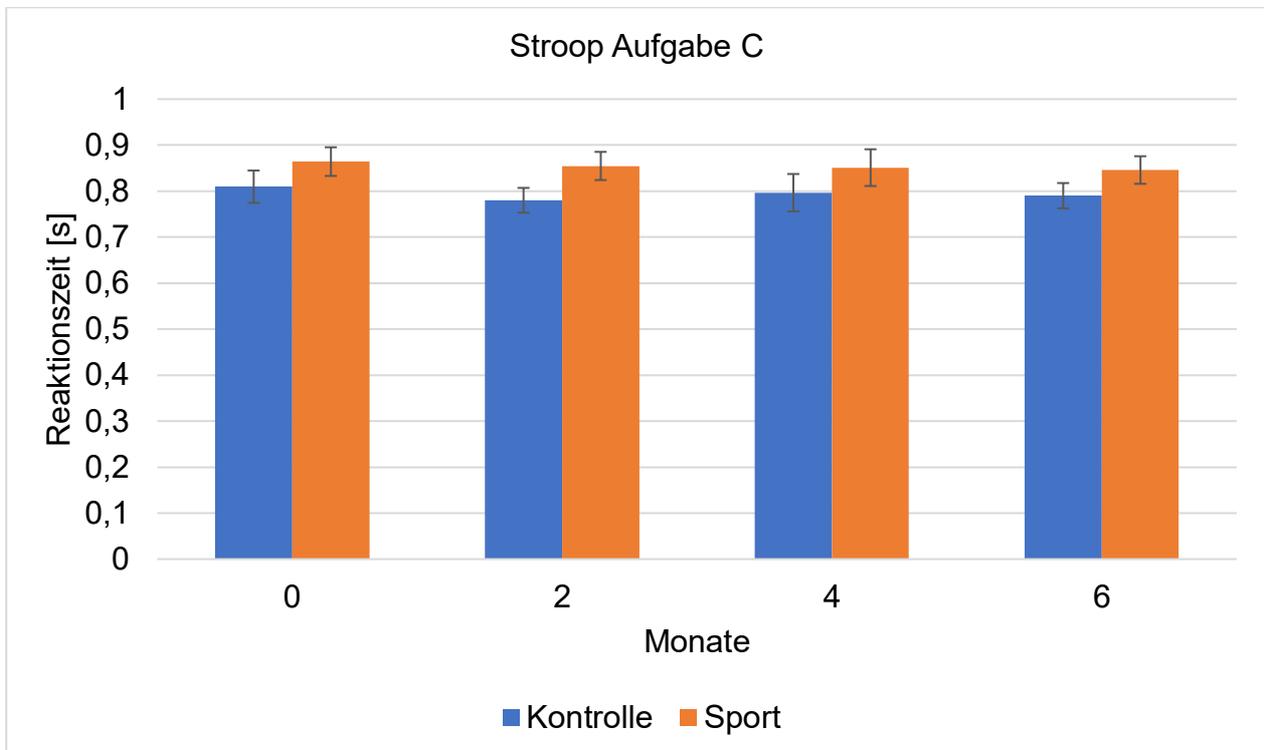


**Abb. 18:** Differenz der Reaktionszeiten in Stroop Aufgabe B von T0 zu T6

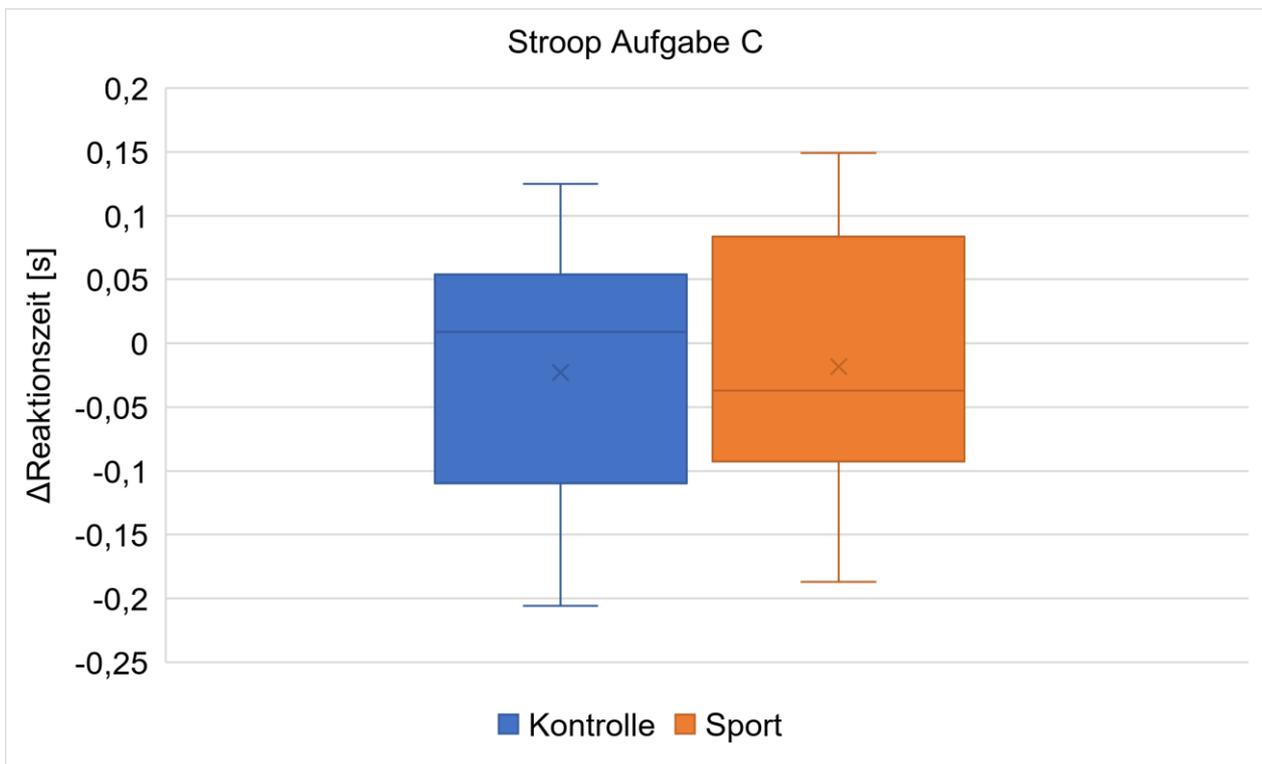
### Stroop Aufgabe C – inkongruente Bedingung

Bei Studienbeginn bestand kein signifikanter Unterschied in den Reaktionszeiten der Stroop Aufgabe C zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U Test:  $U = 113,000$ ;  $p = 0,188$ ). Auch in Stroop Aufgabe C liegt die mittlere Reaktionszeit der Sportgruppe mit  $0,864$  (SD  $0,136$ ) s über der mittleren Reaktionszeit der Kontrollgruppe von  $0,810$  (SD  $0,105$ ) s.

Im zeitlichen Verlauf konnten weder für die Sportgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 2,733$ ;  $p = 0,435$ ;  $n = 18$ ) noch für die Kontrollgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 1,400$ ;  $p = 0,706$ ,  $n = 9$ ) signifikante Veränderungen der Reaktionszeit festgestellt werden. Der zeitliche Verlauf der Reaktionszeiten in Stroop Aufgabe C ist in Abbildung 19 dargestellt. Die Gruppenvergleiche mittels Mann-Whitney-U Test ergaben keine signifikanten Gruppenunterschiede zu den weiteren Messzeitpunkten sowie keinen signifikanten Gruppenunterschied in der Differenz der Reaktionszeiten von T0 zu T6 (vgl. Abbildung 20).



**Abb. 19:** Reaktionszeiten in Stroop Aufgabe C im zeitlichen Verlauf



**Abb. 20:** Differenz der Reaktionszeiten in Stroop Aufgabe C von T0 zu T6

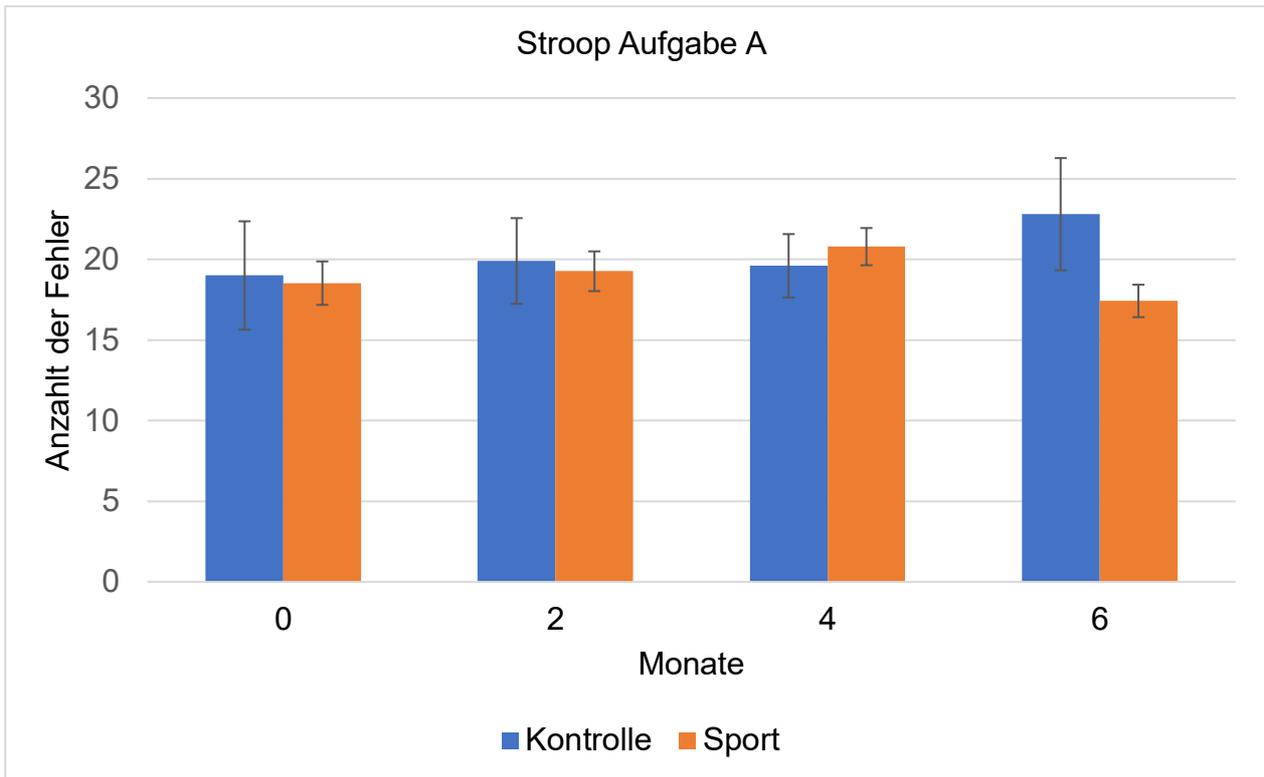
### 3.2.2 Fehlerhäufigkeiten

#### *Stroop Aufgabe A – Neutrale Bedingung*

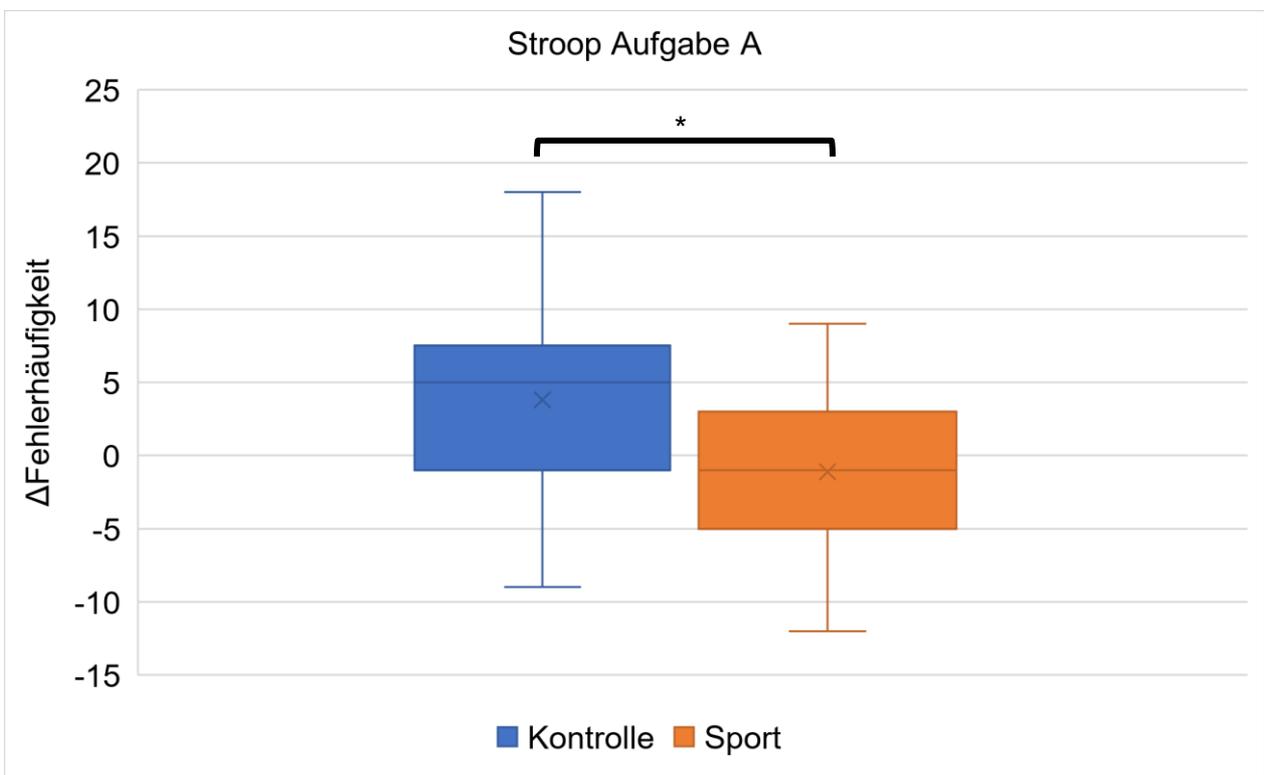
Zum Zeitpunkt T0 bestand kein signifikanter Unterschied in der Anzahl der Fehler bei Bearbeitung der Stroop Aufgabe A zwischen den beiden Gruppen (Mann-Whitney-U Test:  $U = 101,000$ ;  $p = 0,804$ ). Bei 240 Aufgaben fielen in der Kontrollgruppe durchschnittlich 19,00 (SD 10,63) Fehler, in der Sportgruppe 18,53 (SD 5,87) Fehler an.

Der zeitliche Verlauf der Fehlerhäufigkeiten in Stroop Aufgabe A ist in Abbildung 21 zu sehen. In diesem kam es weder in der Sportgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 5,695$ ;  $p = 0,127$ ;  $n=19$ ) noch in der Kontrollgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 3,804$ ;  $p = 0,283$ ;  $n = 10$ ) zu einer signifikanten Veränderung der Fehlerhäufigkeit.

In der Kontrollgruppe stieg die Anzahl der Fehler zum Zeitpunkt T6 auf 22,80 (SD 11,58) an. Dagegen sank diese in der Sportgruppe leicht auf 17,42 (SD 4,39). Die Differenz der Fehlerhäufigkeit zwischen T0 und T6 ist dargestellt in Abbildung 22. Es lässt sich ein signifikanter Gruppenunterschied bei mittlerer Effektstärke feststellen (Mann-Whitney-U Test:  $U = 52,500$ ;  $p = 0,050$ ;  $r = 0,376$ ).



**Abb. 21:** Fehlerhäufigkeiten in Stroop Aufgabe A im zeitlichen Verlauf

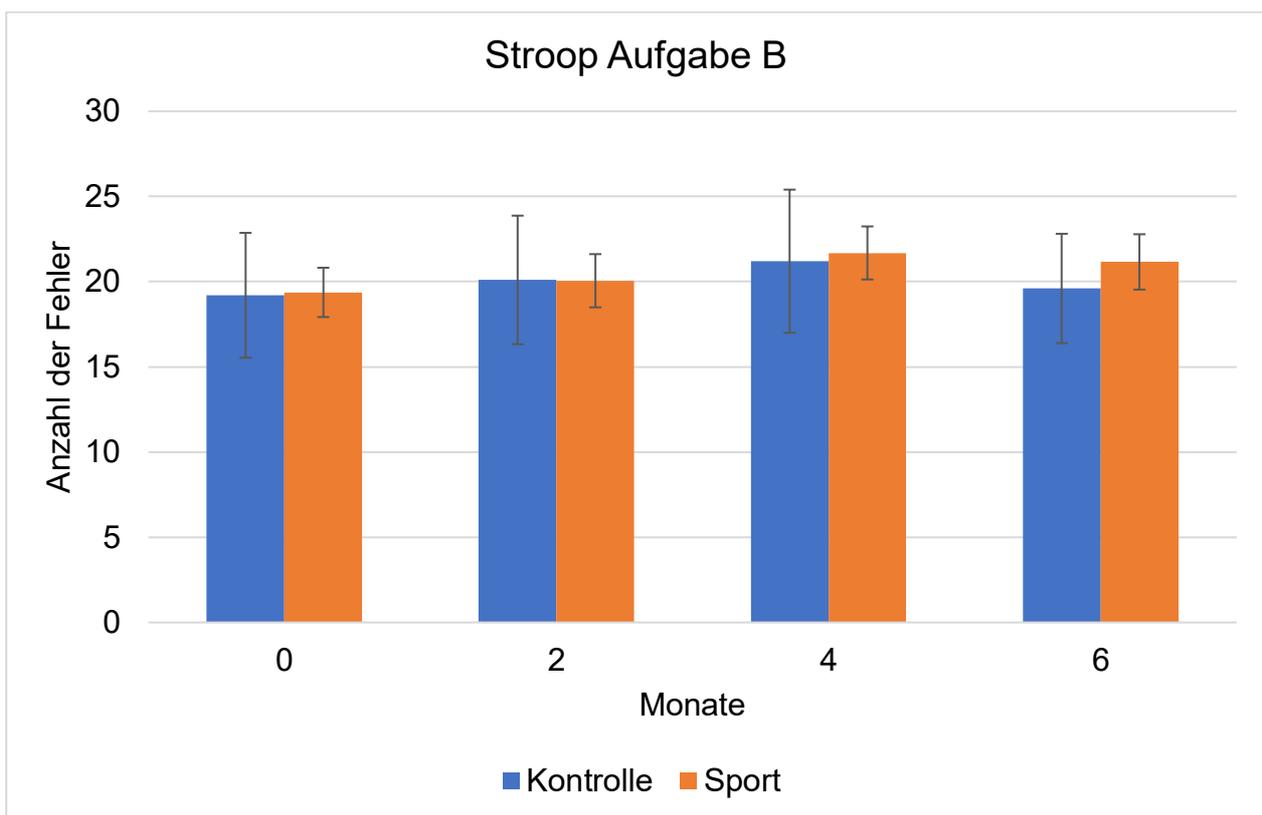


**Abb. 22:** Differenz der Fehlerhäufigkeiten in Stroop Aufgabe A von T0 zu T6. Signifikante Zunahme der Fehlerhäufigkeit in der Kontrollgruppe im Vergleich zur Sportgruppe \* $p = 0,050$

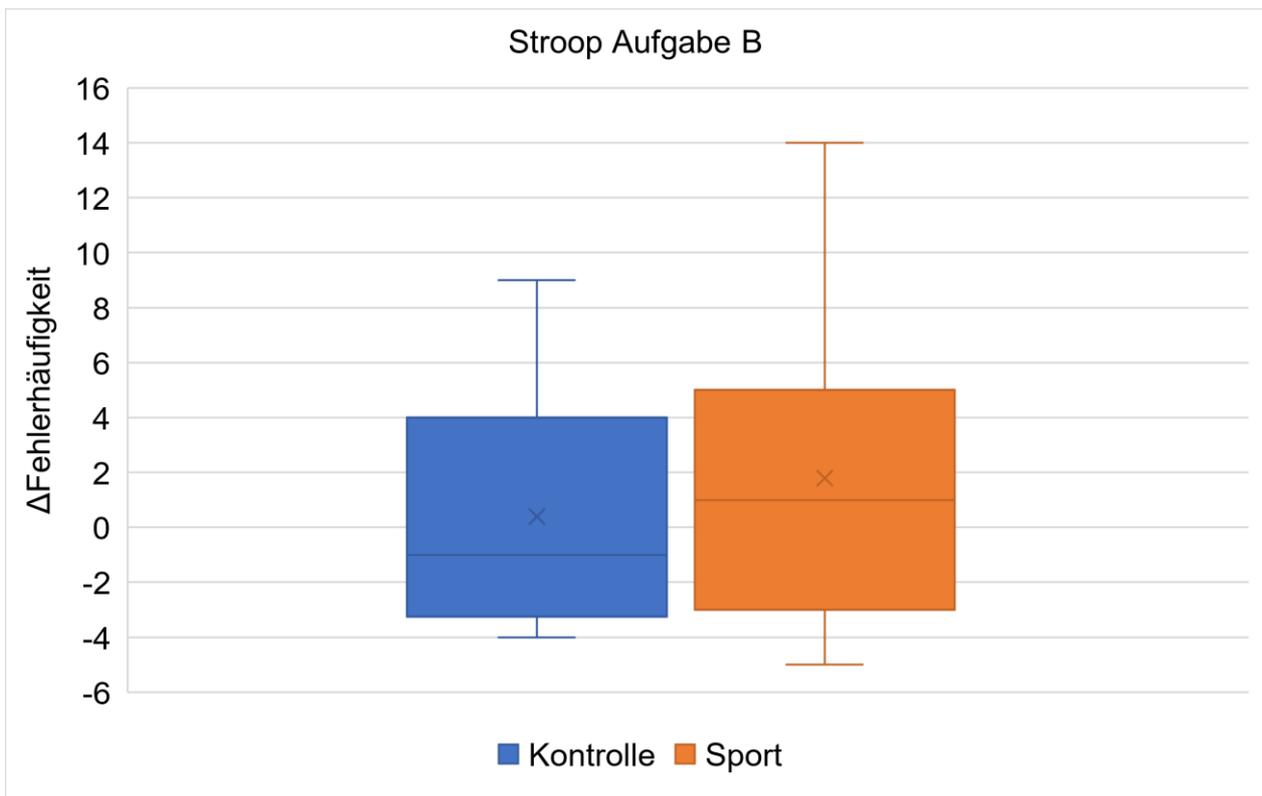
### Stroop Aufgabe B – Kongruente Bedingung

Zum Zeitpunkt T0 betrug die Anzahl der Fehler in Stroop Aufgabe B für die Sportgruppe durchschnittlich 19,37 (SD 6,31) und für die Kontrollgruppe 19,20 (SD 11,58). Es lassen sich weder zum Zeitpunkt T0 (Mann-Whitney-U Test:  $U = 114,000$ ;  $p = 0,403$ ) noch zu den weiteren Messzeitpunkten statistisch signifikante Gruppenunterschiede beobachten. Der zeitliche Verlauf der Fehlerhäufigkeiten in Stroop Aufgabe B ist in Abbildung 23 dargestellt. Weder die Sportgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 3,118$ ;  $p = 0,374$ ;  $n = 19$ ) noch die Kontrollgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 1,102$ ;  $p = 0,777$ ;  $n = 10$ ) wiesen signifikante Veränderungen im zeitlichen Verlauf auf.

Abbildung 24 zeigt die Differenz der Anzahl der Fehler in Stroop Aufgabe B zwischen den Zeitpunkten T0 und T6. Diese weisen keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede auf.



**Abb. 23:** Fehlerhäufigkeiten Stroop Aufgabe B im zeitlichen Verlauf



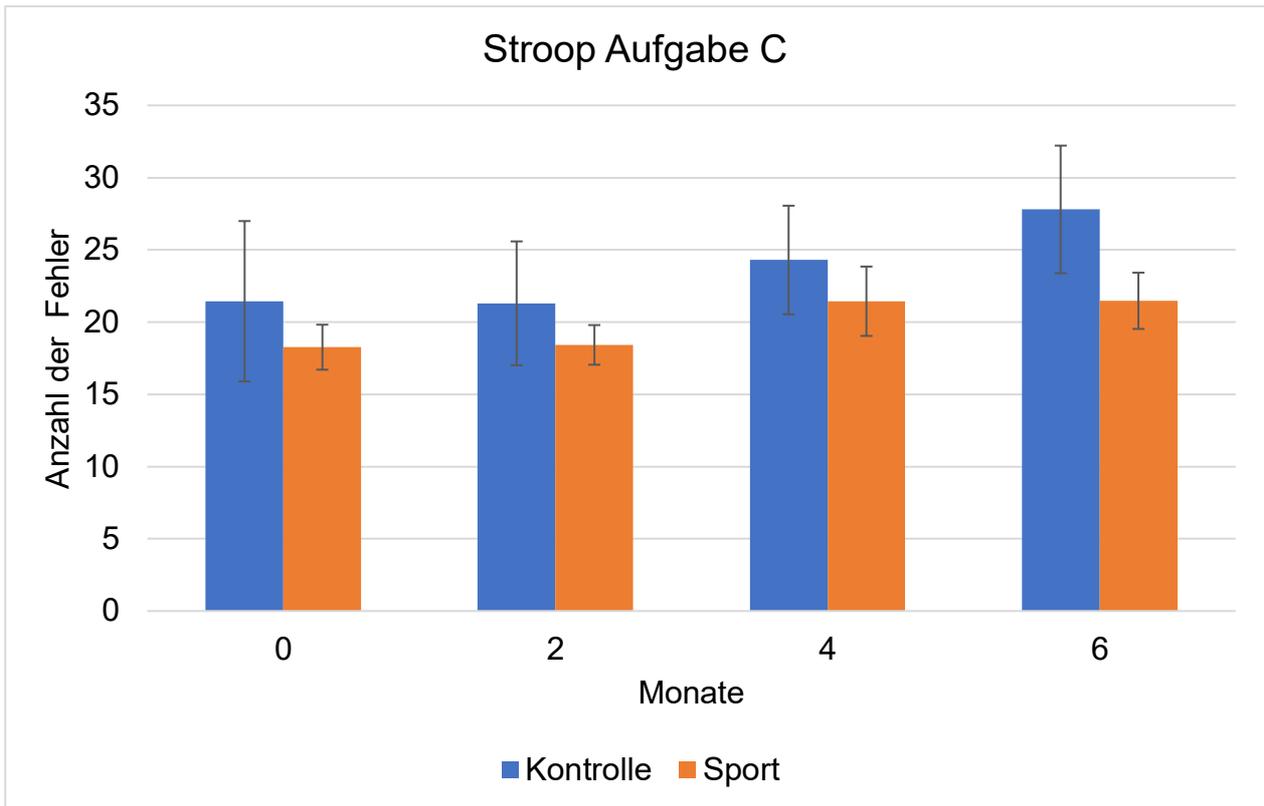
**Abb. 24:** Differenz der Fehlerhäufigkeiten in Stroop Aufgabe B von T0 zu T6

#### *Stroop Aufgabe C – Inkongruente Bedingung*

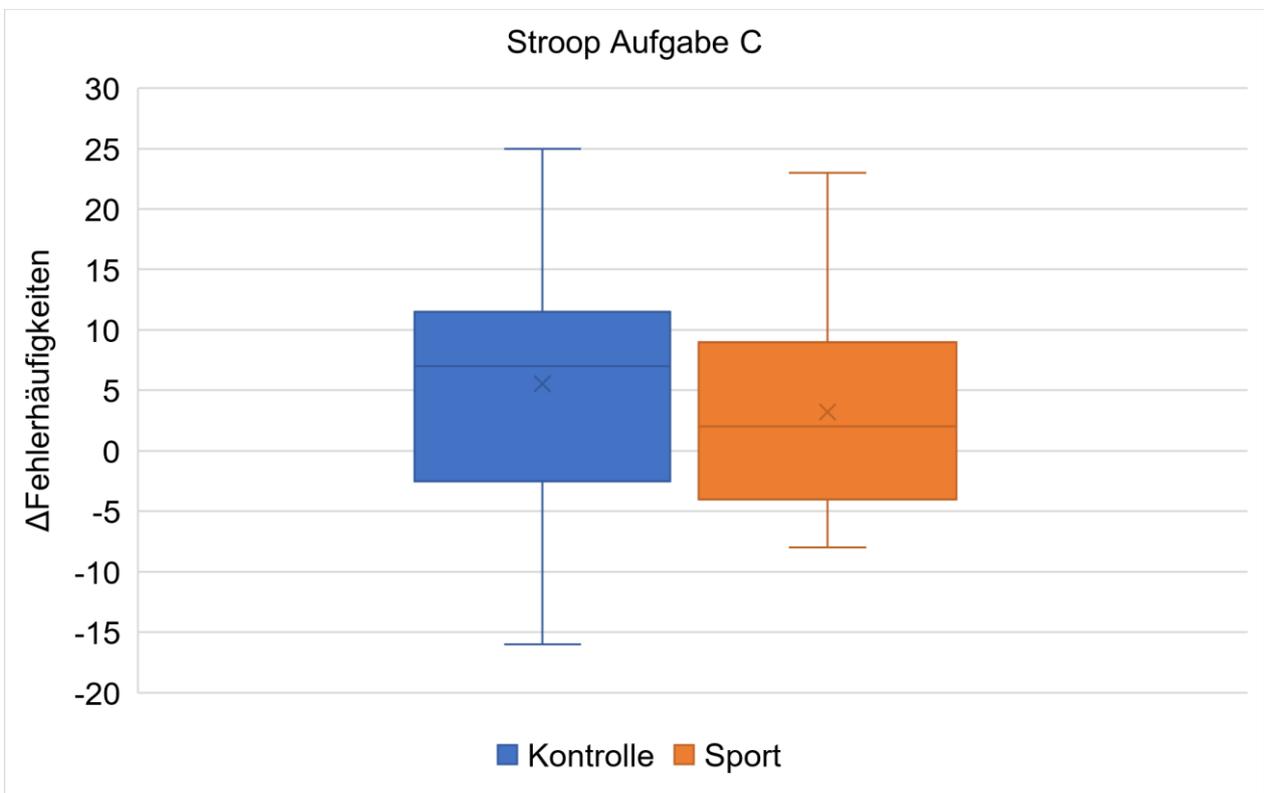
Zum Zeitpunkt T0 beträgt die Anzahl der Fehler in Stroop Aufgabe C für die Kontrollgruppe durchschnittlich 21,44 (SD 16,65) und für die Sportgruppe 18,26 (SD 6,79). Die Fehlerhäufigkeiten in Stroop Aufgabe C im zeitlichen Verlauf sind in Abbildung 25 dargestellt. Es finden sich weder zum Zeitpunkt T0 (Mann-Whitney-U Test:  $U = 92,000$ ;  $p = 0,772$ ) noch im Verlauf der Studie signifikante Gruppenunterschiede bezüglich der Fehlerhäufigkeiten in der Stroop Aufgabe C.

Weder die Sportgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 3,663$ ;  $p = 0,300$ ;  $n = 18$ ) noch die Kontrollgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 7,295$ ;  $p = 0,063$ ;  $n = 9$ ) wiesen signifikante Veränderungen im zeitlichen Verlauf auf.

Die Differenz der Fehlerhäufigkeiten in Stroop Aufgabe C zwischen T0 und T6 zeigt wie in Abbildung 26 zu sehen ebenfalls keinen statistisch signifikanten Gruppenunterschied.



**Abb. 25:** Fehlerhäufigkeiten Stroop Aufgabe C im zeitlichen Verlauf



**Abb. 26:** Differenz der Fehlerhäufigkeiten in Stroop Aufgabe C zwischen T0 und T6

### 3.2.3 Kontraste

#### *Stroop Aufgabe C – Stroop Aufgabe A (inkongruent – neutral)*

Zur genaueren Betrachtung des Interferenzeffektes wurde die Differenz zwischen inkongruenter und neutraler Bedingung sowohl hinsichtlich der Reaktionszeiten als auch der Fehlerhäufigkeiten gebildet. Als Korrelat des Stroop Interferenzeffektes fällt diese Differenz der Reaktionszeiten für beide Gruppen zu allen Messzeitpunkten positiv aus.

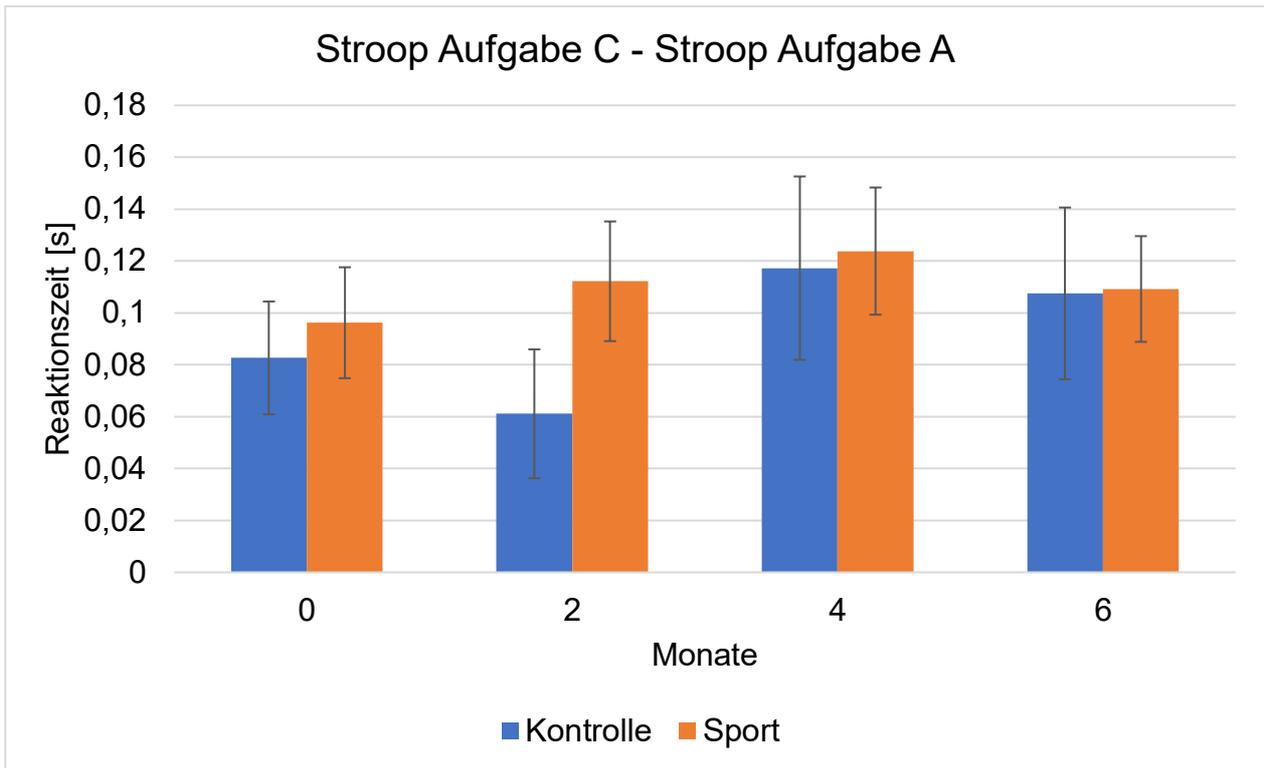
Zum Zeitpunkt T0 beträgt diese beispielsweise für die Sportgruppe 0,096 (SD 0,093) s und für die Kontrollgruppe 0,083 (SD 0,065) s. In Abbildung 27 sind diese Differenzen für die verschiedenen Messzeitpunkte abgebildet.

Für die Differenz der Reaktionszeiten zwischen inkongruenter und neutraler Bedingung finden sich weder zum Zeitpunkt T0 (Mann-Whitney-U Test:  $U = 88,000$ ;  $p = 0,923$ ) noch im Verlauf der Studie signifikante Gruppenunterschiede in den Fehlerhäufigkeiten.

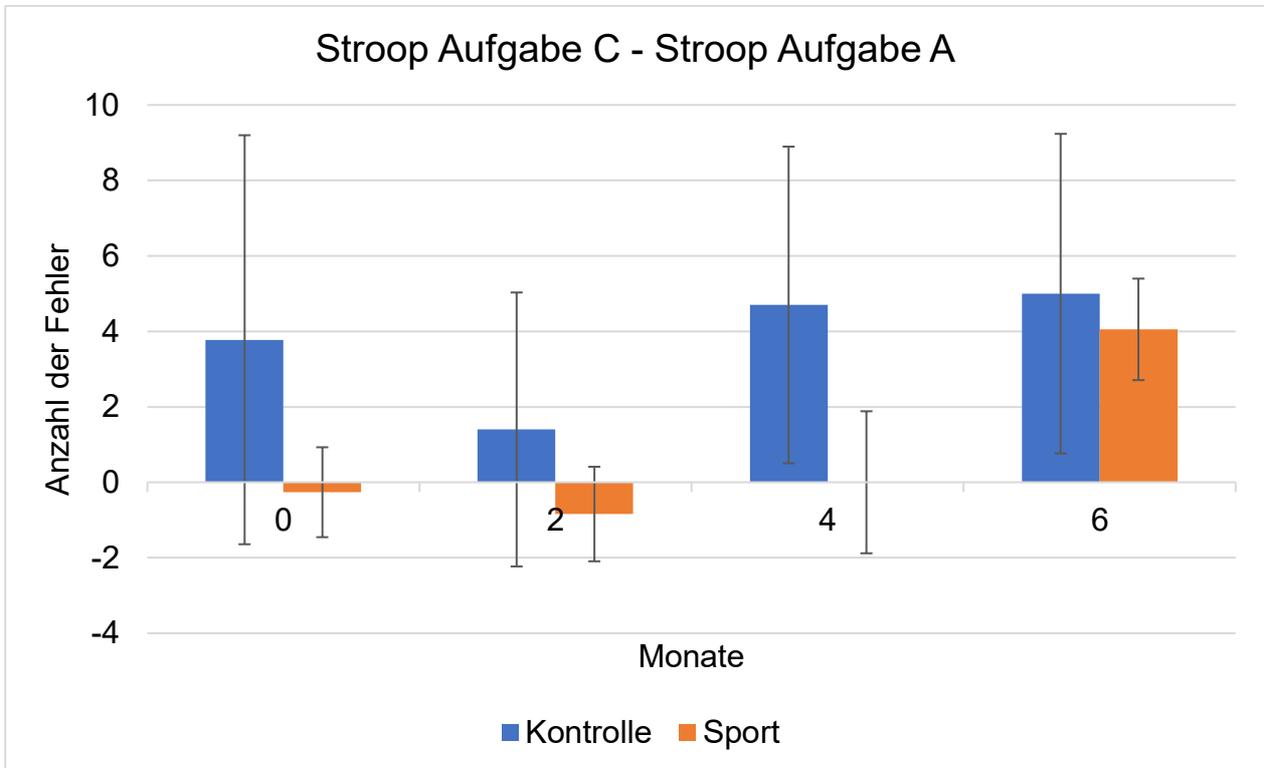
Weder die Sportgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 1,667$ ;  $p = 0,644$ ;  $n = 18$ ) noch die Kontrollgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 2,867$ ;  $p = 0,063$ ;  $n = 9$ ) wiesen signifikante Veränderungen im zeitlichen Verlauf auf.

Analog finden sich für die Differenz der Fehlerhäufigkeiten zwischen inkongruenter und neutraler Bedingung weder zum Zeitpunkt T0 (Mann-Whitney-U Test:  $U = 78,500$ ;  $p = 0,735$ ) noch im Verlauf der Studie signifikante Gruppenunterschiede in den Fehlerhäufigkeiten.

Weder die Sportgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 7,251$ ;  $p = 0,064$ ;  $n = 18$ ) noch die Kontrollgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 2,966$ ;  $p = 0,397$ ;  $n = 9$ ) wiesen signifikante Veränderungen im zeitlichen Verlauf auf.



**Abb. 27:** Differenz der Reaktionszeiten von Stroop Aufgabe C und Stroop Aufgabe A im zeitlichen Verlauf



**Abb. 28:** Differenz der Fehlerhäufigkeiten von Stroop Aufgabe C und Stroop Aufgabe A im zeitlichen Verlauf

### *Delta Stroop Aufgabe C – Stroop Aufgabe B*

Als deutlichster Kontrast wurde die Differenz zwischen der inkongruenten und kongruenten Bedingung gebildet. Hierbei entsteht die Differenz aus Verlängerung der Reaktionszeit im Rahmen der inkongruenten Bedingung und der Verkürzung der Reaktionszeit unter der Kongruenten Bedingung.

Zum Zeitpunkt T0 beträgt diese beispielsweise für die Sportgruppe 0,162 (SD 0,097) s und für die Kontrollgruppe 0,138 (SD 0,054) s. In Abbildung 29 sind diese Differenzen für die verschiedenen Messzeitpunkte abgebildet.

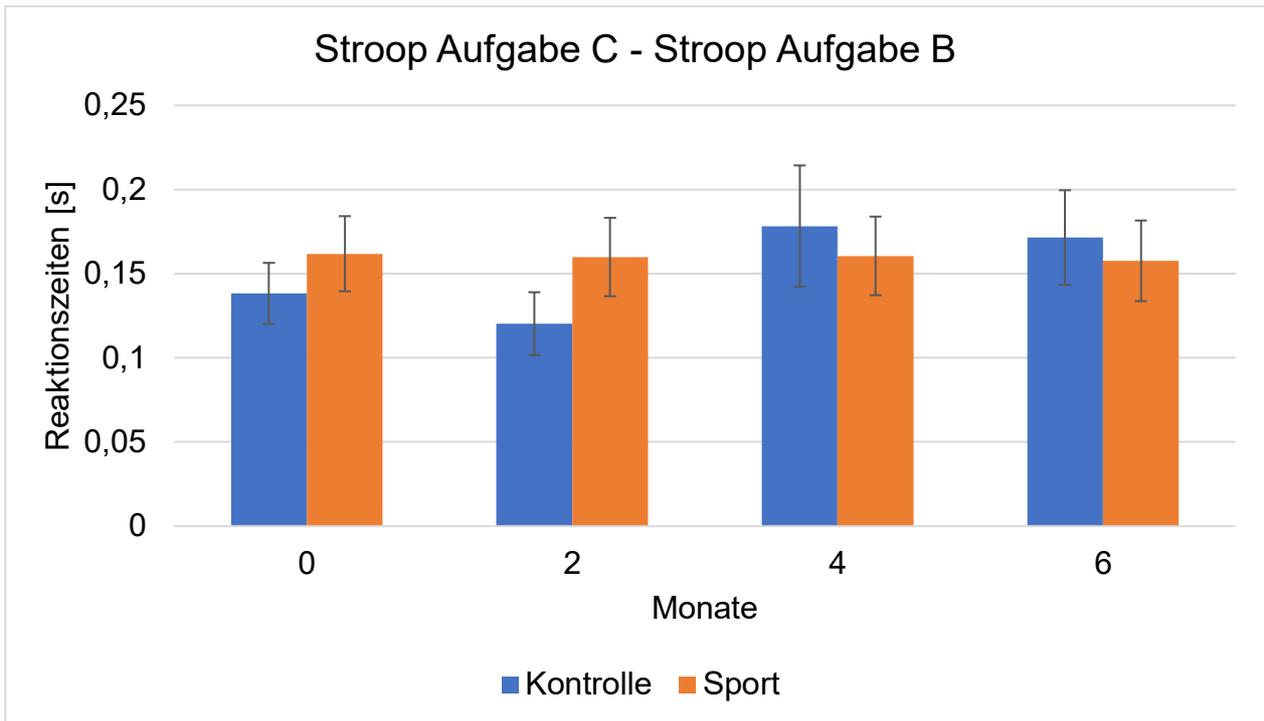
Für die Differenz der Reaktionszeiten zwischen inkongruenter und kongruenter Bedingung finden sich weder zum Zeitpunkt T0 (Mann-Whitney-U Test:  $U = 87,000$ ;  $p = 0,962$ ) noch im Verlauf der Studie signifikante Gruppenunterschiede in den Fehlerhäufigkeiten.

Weder die Sportgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 0,333$ ;  $p = 0,954$ ;  $n = 18$ ) noch die Kontrollgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 2,467$ ;  $p = 0,481$ ;  $n = 9$ ) wiesen signifikante Veränderungen im zeitlichen Verlauf auf.

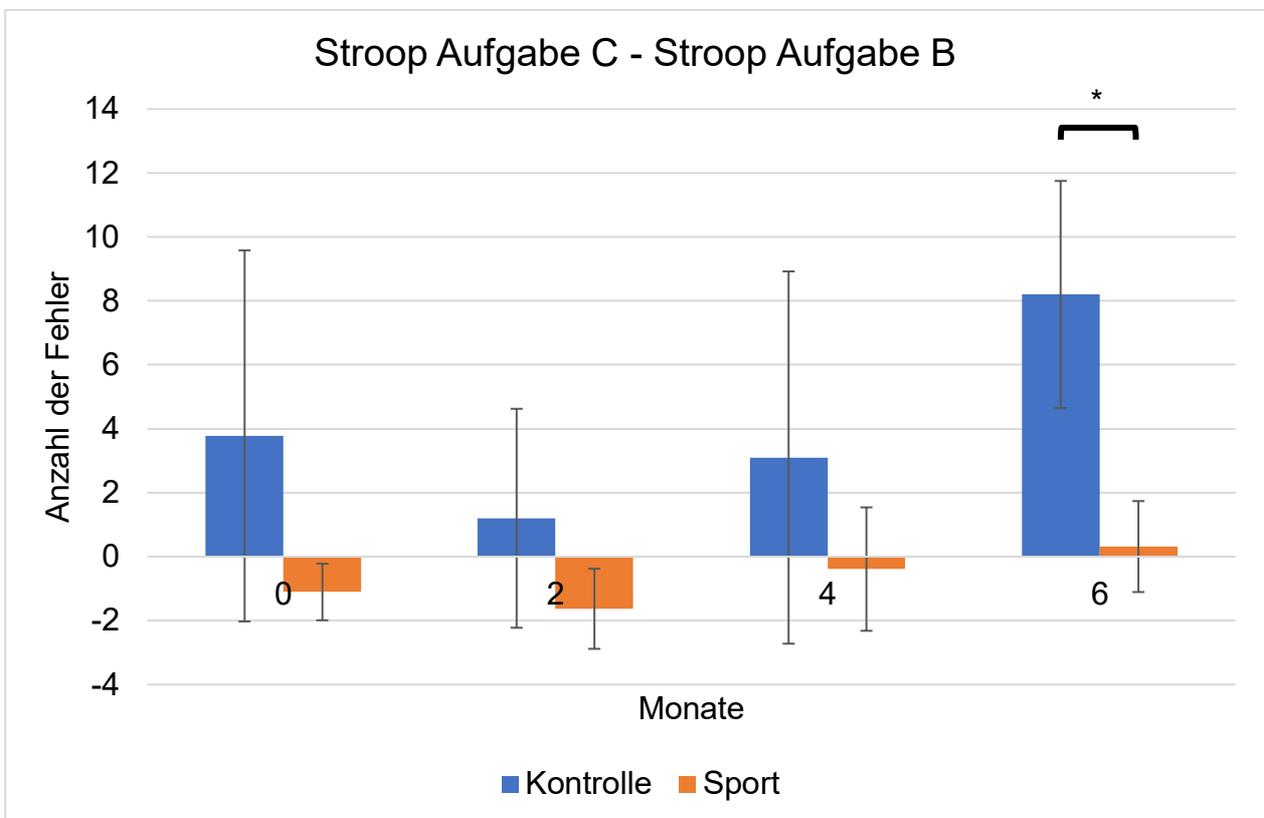
Analog findet sich für die Differenz der Fehlerhäufigkeiten zwischen inkongruenter und kongruenter Bedingung zum Zeitpunkt T0 (Mann-Whitney-U Test:  $U = 80,000$ ;  $p = 0,809$ ) kein signifikanter Gruppenunterschied.

Weder die Sportgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 1,365$ ;  $p = 0,714$ ;  $n = 18$ ) noch die Kontrollgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 6,464$ ;  $p = 0,091$ ;  $n = 9$ ) wiesen signifikante Veränderungen im zeitlichen Verlauf auf.

Zum Zeitpunkt T6 lässt sich ein signifikanter Gruppenunterschied der Fehlerhäufigkeiten feststellen (Mann-Whitney-U Test:  $U = 51,000$ ;  $p = 0,045$ ;  $r = 0,091$ ), wobei der Kontrast der Kontrollgruppe im Studienverlauf zugenommen hat, während dieser in der Sportgruppe weitgehend konstant geblieben ist (vgl. Abbildung 30).



**Abb. 29:** Differenz der Reaktionszeiten von Stroop Aufgabe C und Stroop Aufgabe B im zeitlichen Verlauf



**Abb. 30:** Differenz der Fehlerhäufigkeiten von Stroop Aufgabe C und Stroop Aufgabe B im zeitlichen Verlauf. Signifikanter Gruppenunterschied zum Zeitpunkt T6 \* $p < 0,05$

### *Delta Stroop Aufgabe B – Stroop Aufgabe A*

Die Verkürzung der Reaktionszeit unter der kongruenten Bedingung wurde mithilfe der Differenz zwischen neutraler und kongruenter Bedingung untersucht.

Zum Zeitpunkt T0 beträgt diese beispielsweise für die Sportgruppe -0,066 (SD 0,075) s und für die Kontrollgruppe -0,059 (SD 0,024) s. In Abbildung 31 sind diese Differenzen für die verschiedenen Messzeitpunkte abgebildet.

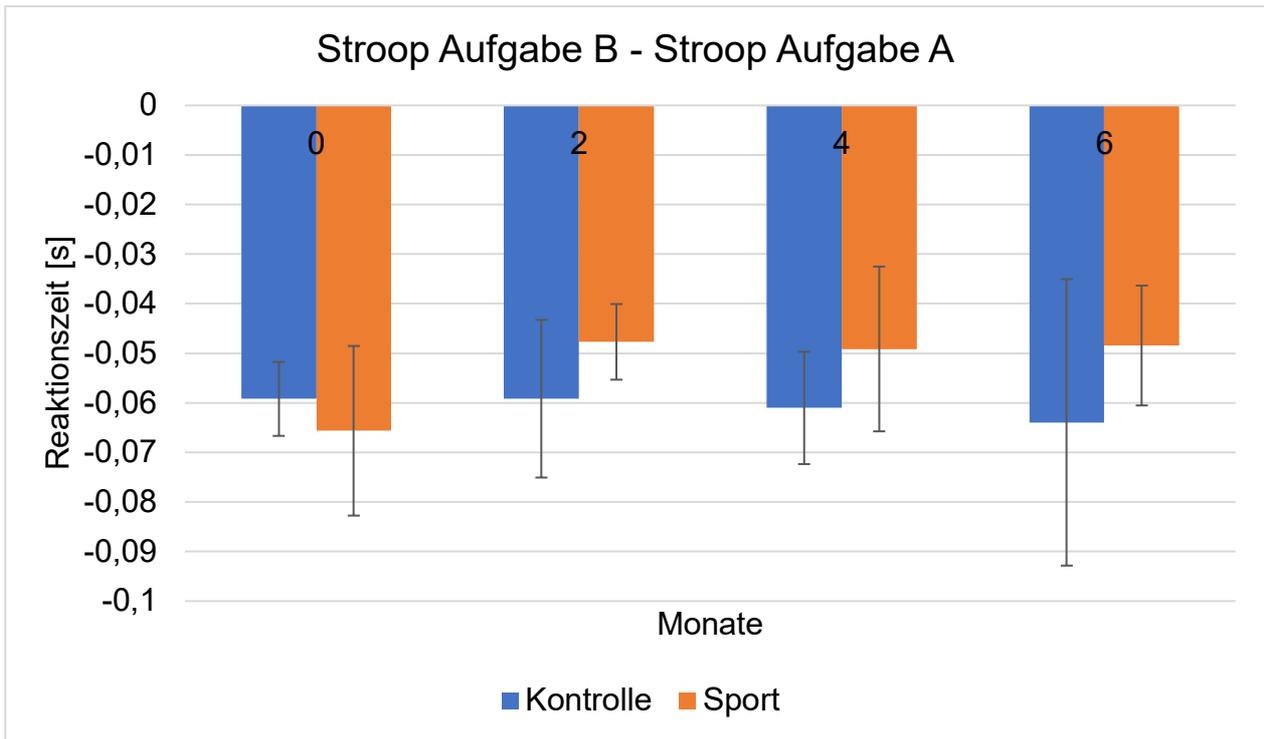
Für die Differenz der Reaktionszeiten zwischen inkongruenter und kongruenter Bedingung finden sich weder zum Zeitpunkt T0 (Mann-Whitney-U Test:  $U = 104,000$ ;  $p = 0,701$ ) noch im Verlauf der Studie signifikante Gruppenunterschiede in den Fehlerhäufigkeiten.

Weder die Sportgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 2,179$ ;  $p = 0,536$ ;  $n = 19$ ) noch die Kontrollgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 1,440$ ;  $p = 0,696$ ;  $n = 10$ ) wiesen signifikante Veränderungen im zeitlichen Verlauf auf.

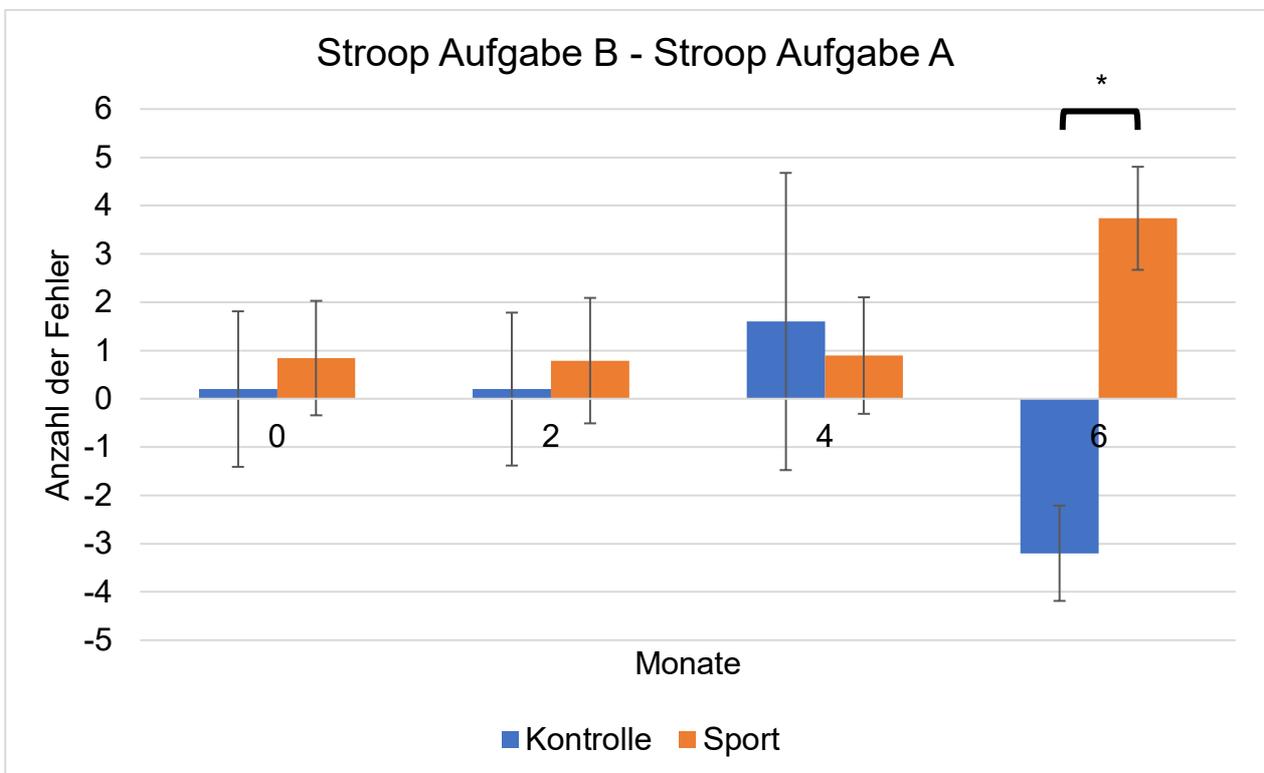
Analog findet sich für die Differenz der Fehlerhäufigkeiten zwischen inkongruenter und kongruenter Bedingung zum Zeitpunkt T0 (Mann-Whitney-U Test:  $U = 104,000$ ;  $p = 0,701$ ) kein signifikanter Gruppenunterschied.

Weder die Sportgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 6,408$ ;  $p = 0,093$ ;  $n = 19$ ) noch die Kontrollgruppe (Friedman Test:  $\chi^2(3) = 2,281$ ;  $p = 0,516$ ;  $n = 10$ ) wiesen signifikante Veränderungen im zeitlichen Verlauf auf.

Zum Zeitpunkt T6 lässt sich ein signifikanter Gruppenunterschied der Fehlerhäufigkeiten feststellen (Mann-Whitney-U Test:  $U = 169,000$ ;  $p < 0,001$ ;  $r = 0,633$ ), wobei der Kontrast der Kontrollgruppe im Studienverlauf abgenommen hat, während dieser in der Sportgruppe zugenommen hat (vgl. Abbildung 32). Der Vergleich der Zunahme dieses Kontrastes in der Sportgruppe mit der Abnahme in der Kontrollgruppe von T0 bis T6 ergibt einen signifikanten Unterschied mit starkem Effekt (Mann-Whitney-U Test:  $U = 34,500$ ;  $p = 0,004$ ;  $r = 0,517$ )



**Abb. 31:** Differenz der Reaktionszeiten von Stroop Aufgabe B und Stroop Aufgabe A im zeitlichen Verlauf



**Abb. 32:** Differenz der Fehlerhäufigkeiten von Stroop Aufgabe B und Stroop Aufgabe A im zeitlichen Verlauf. Signifikanter Gruppenunterschied zum Zeitpunkt T6 \*\*\* $p < 0,001$

Tabelle 10 liefert einen Überblick über die insgesamt durchgeführten Testungen. Wie im Text genannt wurden bei signifikanten Ergebnissen des Friedman Tests entsprechende Dunn-Bonferroni Tests durchgeführt.

**Tab. 10:** Übersicht über die durchgeführten statistischen Testungen.

	Mann-Whitney-U Test					Friedman Test	
	p-Wert					p-Wert	
	T0	T2	T4	T6	$\Delta$ T0-T6	Kontrolle	Sport
<b>Fitnessparameter</b>							
relVO <sub>2</sub> max	0,170	0,664	0,711	0,604	<b>0,000</b>	0,116	<b>0,000</b>
dmax_v	0,353	0,651	<b>0,048</b>	0,077	<b>0,000</b>	0,457	<b>0,000</b>
HFmax	0,484	0,534	0,117	0,604	0,403	0,212	<b>0,000</b>
Ruhepuls	0,512	0,306	0,037	0,484	0,769	0,545	0,135
Blutdruck systolisch	0,910	0,821	0,735	1,000	0,735	0,178	0,504
Blutdruck diastolisch	0,701	<b>0,015</b>	0,066	0,211	0,151	0,170	0,707
<b>Stroop Aufgaben</b>							
Reaktionszeiten							
A	0,330	0,377	0,266	0,151	0,429	<b>0,043</b>	<b>0,044</b>
B	0,330	0,247	0,179	0,085	0,668	0,323	0,776
C	0,188	0,164	0,464	0,308	0,962	0,706	0,435
C-A	0,923	0,151	0,689	0,636	0,664	0,063	0,644
C-B	0,962	0,377	0,832	0,543	0,308	0,481	0,954
B-A	0,701	0,456	0,573	0,668	0,804	0,696	0,536
Fehlerhäufigkeiten							
A	0,804	0,910	0,636	0,211	<b>0,050</b>	0,283	0,127
B	0,403	0,429	0,701	0,429	0,429	0,777	0,374
C	0,772	1,000	0,588	0,247	0,438	0,063	0,300
C-A	0,735	0,839	0,332	0,403	0,410	0,397	0,064
C-B	0,809	0,910	0,981	<b>0,045</b>	0,285	0,091	0,714
B-A	0,701	0,403	0,839	<b>0,000</b>	<b>0,004</b>	0,516	0,093

### 3.2.4 Korrelationen

Die Korrelationsanalysen nach Spearman (Spearman, 1904) ergaben wie in Tabelle 11 zu sehen keine signifikante Korrelation der Fitnessparameter  $\text{relVO}_2\text{max}$  und  $\text{dmax}_v$  mit den Reaktionszeiten bei Betrachtung der einzelnen Zeitpunkte T0, T2, T4 und T6 wie auch bei Korrelation aller erhobenen Werte über sämtliche Zeitpunkte hinweg. Analog finden sich für die Fehlerhäufigkeiten Korrelationen zwischen Stroop Aufgabe C und der  $\text{dmax}_v$  zum Zeitpunkt T2 ( $p = 0,038$ ;  $\rho = 0,409$ ), sowie Fehlerhäufigkeit C und der  $\text{relVO}_2\text{max}$  bei Betrachtung aller Zeitpunkte zusammen ( $p = 0,028$ ;  $\rho = 0,217$ ). Ferner finden sich Korrelationen zwischen dem Kontrast der Fehler C-A mit der  $\text{relVO}_2\text{max}$  zum Zeitpunkt T0 ( $p = 0,006$ ;  $\rho = 0,561$ ) und bei Betrachtung aller Werte ( $p = 0,015$ ;  $\rho = 0,241$ ) sowie zur  $\text{dmax}_v$  zum Zeitpunkt T2 ( $p = 0,005$ ;  $\rho = 0,533$ ) und bei Betrachtung aller Werte ( $p = 0,038$ ;  $\rho = 0,198$ ). Die beschriebenen Korrelationen beschreiben positive Zusammenhänge zwischen Fehlerhäufigkeiten und  $\text{relVO}_2\text{max}$  bzw.  $\text{dmax}_v$ . Zwischen den individuellen Veränderungen der Fitnessparameter und den individuellen Veränderungen der Reaktionszeiten, Fehlerhäufigkeiten und Kontraste findet sich wie in Tabelle 12 zu sehen ist keine signifikante Korrelation.

**Tab. 11:** P-Werte der Korrelationen nach Spearman zwischen den Parametern der Stroop Aufgaben und den Leistungsparametern, signifikante Ergebnisse hervorgehoben

Stroop Aufgaben	T0		T2		T4		T6		Gesamt	
	$\text{relVO}_2\text{max}_x$	$\text{dmax}_v$								
Reaktionszeiten										
A	0,711	0,464	0,883	0,617	0,815	0,953	0,954	0,765	0,552	0,377
B	0,442	0,190	0,838	0,458	0,749	0,838	0,469	0,933	0,193	0,237
C	0,832	0,207	0,684	0,782	0,759	0,658	0,635	0,373	0,937	0,809
C-A	0,286	0,788	0,255	0,891	0,225	0,403	0,556	0,100	0,199	0,075
C-B	0,469	0,638	0,554	0,448	0,321	0,604	0,495	0,522	0,483	0,407
B-A	0,599	0,466	0,603	0,660	0,418	0,641	0,307	0,734	0,865	0,759
Fehlerhäufigkeiten										
n										
A	0,793	0,959	0,343	0,416	0,371	0,477	0,159	0,333	0,860	0,613
B	0,819	0,938	0,130	0,346	0,706	0,326	0,698	0,875	0,280	0,135
C	0,286	0,266	0,110	<b>0,038</b>	0,640	0,876	0,796	0,538	<b>0,028</b>	0,055
C-A	<b>0,006</b>	0,062	0,112	<b>0,005</b>	0,600	0,356	0,475	0,715	<b>0,015</b>	<b>0,038</b>
C-B	0,128	0,069	0,833	0,153	0,950	0,297	0,947	0,644	0,372	0,345
B-A	0,414	0,780	0,202	0,391	0,847	0,234	0,447	0,478	0,110	0,157

**Tab. 12:** P-Werte der Korrelationen nach Spearman aus den Differenzen zwischen T0 und T6

	$\Delta$ relVO <sub>2</sub> max	$\Delta$ dmax_v
Reaktionszeiten		
$\Delta$ A	0,635	0,155
$\Delta$ B	0,500	0,564
$\Delta$ C	0,727	0,598
$\Delta$ C-A	0,781	0,146
$\Delta$ C-B	0,408	0,059
$\Delta$ B-A	0,674	0,768
Fehlerhäufigkeiten		
$\Delta$ A	0,147	0,061
$\Delta$ B	0,817	0,330
$\Delta$ C	0,244	0,368
$\Delta$ C-A	0,827	0,605
$\Delta$ C-B	0,226	0,684
$\Delta$ B-A	0,100	0,164

#### 4. Diskussion

Durch die 6-monatige Sportintervention gelang es eine messbare Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit herbeizuführen wohingegen diese in der Kontrollgruppe weitgehend konstant blieb. Die erhobenen Messwerte für Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten bei Bearbeitung der Stroop Aufgaben weisen punktuell statistisch signifikante Ergebnisse auf, welche sich jedoch nicht auf die Sportintervention zurückführen lassen und somit keinen Effekt der Sportintervention auf die Schnelligkeit oder Genauigkeit bei Bearbeitung von Stroop Aufgaben nachweisen können.

Die Auswertungen der Parameter Herzfrequenz, relVO<sub>2</sub>max [ml/kg/min] und dmax\_v [km/h] sowie auch der BORG-Skala (Borg, 1962) weisen stark darauf hin, dass die Probanden sich im Rahmen der Fitnesstests körperlich annähernd ausbelastet haben. Zudem wird deutlich, dass es in der Gruppe der Sportler einen objektivierbaren Zuwachs der körperlichen Fitness gibt, welcher den vorliegenden Daten zufolge aus den

regelmäßigen Sportinterventionen resultiert. Die Parameter der Kontrollgruppe verblieben über den Verlauf der Studie hinweg weitgehend unverändert (Maier, 2016; Clénin, 2019). Die regelmäßige Durchführung des Beck-Depressions-Inventars (Beck, 1961), gewährleistet als Screening-Instrument die frühzeitige Erkennung von Anzeichen einer Depression, sodass die Daten nicht durch das Vorliegen von Depressionen verfälscht wurden (Zuckerman et al, 2018; Wagner, 2016).

Wie die statistische Auswertung der Daten zeigt, finden sich signifikante Unterschiede der Reaktionszeiten im zeitlichen Verlauf lediglich in der neutralen Bedingung. Da für diese Aufgabe keine inhibitorische Leistung benötigt wird, lässt sich hierdurch keine Aussage über den Stroop Effekt und im weiteren Sinne die exekutive Kontrolle treffen. Beide Gruppen zeigen unter der neutralen Bedingung eine Abnehmende Tendenz der Reaktionszeiten im zeitlichen Verlauf, sodass hierbei ein Lerneffekt vorliegt, welcher alleine durch die wiederholte Bearbeitung der Aufgabe zustande kommt. Sämtliche Messungen ergaben erstaunlicherweise für die Kontrollgruppe schnellere Reaktionszeiten als für die Sportgruppe, wobei die Gruppenunterschiede zu keinem Zeitpunkt als statistisch signifikant zu werten sind.

Die Betrachtung der Fehlerquoten ergibt im zeitlichen Verlauf in allen Aufgaben eine minimal zunehmende Tendenz, welche jedoch für keine Aufgabe als statistisch signifikant einzuordnen ist. Durch eine auffällig niedrige Fehlerhäufigkeit in Stroop Aufgabe A zum Zeitpunkt T6 ergibt sich für die Sportgruppe hier eine insgesamt abnehmende Tendenz und für die Kontrollgruppe eine zunehmende Tendenz bei Vergleich der Zeitpunkte T0 und T6. Der Gruppenunterschied fällt daher signifikant aus (vgl. Abb. 22). Vergleicht man die Werte jedoch mit der Entwicklung der Fehlerraten von T0 bis T4, welche sich weitgehend konstant verhielten, so ist eine mögliche Nachlässigkeit der Probanden angesichts des letzten Termins im Rahmen der Studie als Auslöser für die auffälligen Fehlerhäufigkeiten zu diesem Zeitpunkt naheliegend.

Der Kontrast zwischen der inkongruenten Bedingung und neutralen Bedingung (Stroop Aufgabe C - Stroop Aufgabe A) zeigt deutlich, dass die Antwort durch die inkongruenten Stimuli verzögert wird. Dieser Effekt konnte zu allen Zeitpunkten in beiden Gruppen beobachtet werden. Er entspricht dem Interferenzeffekt wie von MacLeod (1991) beschrieben. Die Daten zeigen eine im Studienverlauf stabil bleibende Reaktionszeitverlängerung mit minimal ansteigender Tendenz ohne

Gruppenunterschiede. Bezüglich der Fehlerquoten zeichnet sich ein weniger deutliches Bild ab. Es lässt sich zwar erkennen, dass unter der inkongruenten Bedingung tendenziell mehr Fehler anfallen als unter der kongruenten Bedingung, jedoch zeigen die Daten hier eine deutlich höhere Schwankungsbreite bei ausbleibender statistischer Signifikanz.

Der Kontrast zwischen kongruenter und neutraler Bedingung (Stroop Aufgabe B - Stroop Aufgabe A) bildet die Erleichterung der kognitiven Verarbeitung bei Kongruenz der Stimuli ab. Die Daten zeigen eine stabile Verkürzung der Reaktionszeit über alle Zeitpunkte hinweg, wobei sich die Gruppen zu keinem Zeitpunkt voneinander unterschieden. Die korrespondierenden Fehlerhäufigkeiten zeigen sich bis zum Zeitpunkt T4 weitgehend indifferent voneinander. Dies bedeutet, dass durch die Kongruenz der Stimuli keine Verringerung der Fehlerhäufigkeit bewirkt wurde. Lediglich zum Zeitpunkt T6 bzw. in der Differenz von Beginn bis zum Ende der Studie findet sich hier ein signifikanter Gruppenunterschied. Zu diesem Zeitpunkt fielen in der Sportgruppe unter der neutralen Bedingung weniger Fehler an als unter der kongruenten Bedingung. Diese Auffälligkeit ist möglicherweise durch ein Nachlassen der Motivation der Probanden bei der letzten Messung zum Studienende zu erklären.

Bei Bildung des Kontrastes zwischen inkongruenter und kongruenter Bedingung (Stroop Aufgabe C – Stroop Aufgabe B) addieren sich die genannten Effekte. Die Daten zeigen eine deutliche Differenz zwischen der Verkürzung der Reaktionszeit unter der kongruenten Bedingung und der Verlängerung der Reaktionszeit unter der inkongruenten Bedingung. Auch hier findet sich keine signifikante Veränderung im Studienverlauf. Ferner findet sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen zu keinem der Zeitpunkte. Bezüglich der Fehlerhäufigkeiten herrscht auch hier eine deutliche Schwankungsbreite der Daten. Zum Zeitpunkt T6 ergibt der Gruppenvergleich hier einen signifikant größeren Fehlerkontrast in der Kontrollgruppe, wobei auch dieser durch eine mögliche geringere Motivation im Rahmen der letzten Messung zum Studienende begründet ist.

Die Korrelationsanalyse konnte zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Korrelation zwischen den Parametern der Fitness und den Reaktionszeiten der Stroop Aufgabe in der hier betrachteten Stichprobe nachweisen. Zum Zeitpunkt T2 und bei Korrelation aller erhobenen Werte in der Studie ließ sich eine Korrelation der Fehlerhäufigkeiten für Stroop Aufgabe C mit der  $relVO_2max$  herstellen. Der Kontrast C-A korrelierte ebenfalls zum

Zeitpunkt T0 mit der  $relVO_2max$  und zum Zeitpunkt T2 mit  $dmax_v$  sowie in Gesamtbetrachtung aller Werte mit beiden Leistungsparametern. Eine Aussage über einen gerichteten Zusammenhang zwischen Training lässt sich hierbei jedoch insbesondere bei fehlenden gruppenspezifischen Veränderungen nicht treffen. Hinzu kommt, dass die individuelle Leistungsveränderung der Probanden im Verlauf der Studie nicht mit den individuellen Veränderungen der Ergebnisse der Stroop Aufgaben korreliert. Insgesamt folgt aus der Analyse der erhobenen Daten, dass in der untersuchten Stichprobe weder ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ausmaß des Stroop Effektes und der objektiv bestimmten körperlichen Fitness noch ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen einer individuellen körperlichen Leistungssteigerung und einer Veränderung in der Bearbeitung der Stroop Aufgabe besteht.

Wie zu Beginn erläutert, konnten akute Effekte eines Sporttrainings bereits in vielen Studien gezeigt werden, wobei ein Training von ca. 20-minütiger Dauer den größten unmittelbaren Effekt auf die kognitiven Funktionen mit messbarer Reaktionszeitverkürzung auch bei Bearbeitung der Stroop Aufgabe zu haben scheint (Chang et al., 2015). Diese akuten Effekte wurden durch die zeitliche Entkoppelung von Sportintervention und neuropsychologischer Testung im hier vorliegenden Studiendesign vermieden, um speziell nach Hinweisen für eine langfristige neuroplastische Grundlage für eine Verbesserung der exekutiven Kontrolle zu suchen.

Die in der Einleitung aufgeführten retrospektiven Studien stellten eine Assoziation von regelmäßiger körperlicher Aktivität und kognitiver Kontrollleistung im Sinne einer schnelleren Bearbeitung der Stroop Aufgabe her, lieferten jedoch keinen Nachweis eines gerichteten Zusammenhangs. Die in dieser Studie erhobenen Daten liefern weder zu Studienbeginn noch zum Ende eine signifikante Korrelation zwischen den Parametern der körperlichen Fitness. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass ausschließlich Probanden mit niedrigem Fitnessniveau in die Studie aufgenommen wurden, und die Trainingsintervention sich auf sechs Monate begrenzte. Dem gegenüber steht ein potenziell jahrelanges unterschiedliches Aktivitätsniveau der Probanden in den retrospektiven Untersuchungen. Daher ist ein möglicherweise erst durch eine längere Interventionsdauer sichtbar werdender Effekt durchaus denkbar.

Retrospektive Studien haben den Vorteil von deutlich längeren Beobachtungszeiträumen und deutlich größeren Umfängen der Stichproben, sind jedoch nicht vor dem Einfluss möglicher ‚confounder‘ Variablen geschützt. Ferner lassen sie keine Aussage zu der Richtung eines Zusammenhanges zu. Das hier gewählte Studiendesign ist sowohl randomisiert und kontrolliert als auch prospektiv, wodurch eine möglichst geringe Beeinflussung durch ‚confounder‘ Variablen sichergestellt werden konnte und die Richtung eines möglichen Zusammenhanges zwischen körperlicher Leistungssteigerung und kognitiver Kontrolle vorgegeben wird.

Studien, die die Langzeiteffekte regelmäßiger körperlicher Aktivität untersuchen sind aktuell in nur geringerer Anzahl vorhanden. Verschiedene Gesichtspunkte solcher Langzeitstudien sind zudem von Studie zu Studie unterschiedlich und beeinflussen die Ergebnisse: z.B. die Dauer der Intervention, die Größe der Stichprobe, das Alter der Probanden sowie daraus resultierende Einflüsse auf die Art der Sporttrainings, der Fitnessmessungen, der Stroop Aufgabe und die Qualität der Studiendesigns.

So ist beispielsweise bei Predovan et al. (2012), Liu-Ambrose et al. (2010), Vedovelli et al. (2017), Williamson et al. (2009) und Santos et al. (2020) zu sehen, wie solche Langzeitstudien mit älteren Kohorten organisiert werden können. Es fällt auf, dass diese Probanden in fortgeschrittenem Lebensalter Trainings erhalten, welche nicht wie bei den hier durchgeführten Lauftrainings, sondern an den altersgemäßen Zustand angepasst sind und daher aus schnellem Gehen, Dehnübungen oder kraftstärkenden Übungen bestehen. Auch wenn die Senioren in den genannten Studien sich ebenfalls beim Training in ihrem persönlichen oberen Herzfrequenzbereich befanden, so liegt dennoch ein großer Unterschied bezüglich der Art der körperlichen Belastung während der Interventionen vor. Die verfügbare Literatur untersucht verschiedene Altersgruppen. Insbesondere bei Betrachtung älterer Probandenkollektive gelang der Nachweis eines positiven Effektes körperlicher Aktivität auf die kognitive Inhibition gemessen in der Stroop Aufgabe (Bauermeister und Bunce, 2016; Santos et al., 2020). Auch die randomisiert kontrollierten Studien von Vedovelli et al. 2017 und Liu-Ambrose et al. 2010 konnten gesteigerte Leistungen in der Stroop Aufgabe nach langfristigem körperlichem Training zeigen. Mit Bezug auf den beschriebenen Rückgang der kognitiven Inhibition im höheren Alter lässt sich schlussfolgern, dass ein neuroplastischer Effekt regelmäßiger körperlicher Aktivität vorliegen könnte, der erst mit Beginn kognitiven Abbaus zum Tragen kommt. Dies bietet

eine Erklärung für die ausbleibende Veränderung der, in dieser Dissertation untersuchten, Gruppe aus 18-35-Jährigen. Konijnenberg et al. sowie auch Fortes et al. untersuchten Kinder beziehungsweise ebenfalls junge Erwachsene (Konijnenberg et al. 2018, Fortes et al. 2018). Sie fanden, ähnlich zu den vorliegenden Daten dieser Studie, keinen positiven Einfluss der regelmäßigen körperlichen Aktivität auf die Leistung in der Stroop Aufgabe. Dies unterstützt den Erklärungsansatz, dass im jungen Erwachsenenalter, in welchem der Stroop Effekt am geringsten ausgeprägt ist, möglicherweise ein signifikanter Effekt nicht durch die hier und in der Literatur beschriebenen körperlichen Interventionen zu erzielen war. Ferner ist zu diskutieren, ob ein geringer Effekt nicht erst durch eine weit größere Kohorte deutlich zu zeigen wäre. Es ist nun weiterführende Forschung gefordert, welche zum einen größere Probandenzahlen aufweisen kann und zum anderen längere Beobachtungszeiträume beinhaltet, in welchen die im Studienverlauf zunehmende körperliche Leistungsfähigkeit einen möglichen neuroplastischen Effekt erzielen kann. Bezüglich des Vergleichs unterschiedlicher Studienergebnisse muss das generell vorliegende breite Spektrum an Messinstrumenten kritisch gesehen werden. Zum einen erfolgt die Bearbeitung der Stroop Aufgabe auf die verschiedensten Arten, wie zum Beispiel mittels Wortkarten oder Computergestützt. Ferner erfolgt die Quantifizierung des Stroop Effektes teilweise mittels Auswertung der Reaktionszeiten, teilweise mittels Bildung von Scores, welche sowohl die Geschwindigkeit als auch die Fehlerquote mit einberechnen. Ein solcher Score ist beispielsweise nicht quantitativ mit einer mittleren Reaktionszeit über 240 Aufgaben zu vergleichen. Zum anderen liegen deutliche Unterschiede in der Art der körperlichen Aktivität, wie auch in der Bestimmung des Fitnesslevels vor. Während die Spiroergometrie und die Bestimmung der Sauerstoffaufnahme die, in dieser Studie gewählte, Art der Quantifizierung der Leistungsfähigkeit darstellt, so wurden in anderen Untersuchungen lediglich Fragebögen verwendet, welche eine retrospektive Selbsteinschätzung der Probanden und keine objektive Quantifizierung darstellen (Salas-Gomez et al., 2020). Auch wurden teilweise anders geartete Tests, wie die short physical performance battery verwendet, welche alltägliche Handlungen anstelle der tatsächlichen maximalen Sauerstoffaufnahme oder der maximalen Laufgeschwindigkeit als Parameter der körperlichen Fitness bestimmen. Die genannten Unterschiede in den bisher durchgeführten Untersuchungen zu chronischen Effekten körperlicher Aktivität auf die exekutive Kontrolle, gemessen in der

Stroop Aufgabe, erschweren die Vergleichbarkeit der verschiedenen Ergebnisse und lassen daher bisher keine eindeutige Aussage über das Vorhandensein eines Effektes, insbesondere in dieser Altersgruppe von jungen Erwachsenen, zu.

#### **4.1 Methodenkritik**

Die Akquirierung von Probanden stellte sich aufgrund der hohen Anforderungen erschwert dar. Insbesondere die notwendige Compliance angesichts der Einhaltung des Lebensstils und des Wahrnehmens der regelmäßigen Termine, mehrmals pro Woche über sechs Monate hinweg, spielten hierbei eine mutmaßlich große Rolle. Auch die zufällige Zuteilung zur Kontrollgruppe erschwerte die Adhärenz maßgeblich. Dies lag daran, dass sich im Rahmen der Anwerbung von Probanden eine Erwartungshaltung ergab, es würde eine Lebensstiländerung mit nachfolgendem positiven Gesundheitseffekt resultieren. Die Zugehörigkeit zur Kontrollgruppe verlangte hingegen die Aufrechterhaltung des weitgehend inaktiven Lebensstiles. Im Verlauf der Studie kam es zum Ausscheiden einzelner Probanden, welche sich sportlich betätigen wollten. Hierdurch schieden in der Kontrollgruppe überproportional mehr Probanden aus der Studie aus. Daraus resultiert die finale Anzahl von 29 Probanden, für welche Datensätze vorliegen. Da es sich bei der übergeordneten RUNSTUD Studie um eine Bildgebungsstudie handelt, erfolgte a priori keine Power Analyse (Friston et al., 1999). Eine post-hoc durchgeführte Power Analyse zeigte für die in dieser Studie beobachteten statistische Power von 0,089 bis 0,218. Dies verdeutlicht den Bedarf an reinen Verhaltensstudien mit höheren Fallzahlen um insbesondere kleine Effekte mit ausreichender Trennschärfe nachweisen zu können.

Auch wenn die vorliegende Studie prospektiv und randomisiert durchgeführt wurde, so war es aufgrund der Art der Intervention logistisch nicht möglich, eine Verblindung durchzuführen. Es liegt es in der Natur dieser Fragestellung, dass die Probanden sich ihrer Gruppenzugehörigkeit bewusst sind. Dies kann zu unterschiedlichem Engagement während der Studie, wie auch zu einem Placeboeffekt, führen.

Bezüglich der inkongruenten Bedingung der Stroop Aufgabe mussten aufgrund erhöhter Fehlerhäufigkeiten zwei Messungen aus den Daten ausgeschlossen werden, wodurch auch die korrespondierenden Interferenzen nicht bestimmbar waren. Unglücklicherweise lässt sich die Ursache dieser Fehlmessungen retrospektiv nicht erörtern. Die Parameter

zur Beurteilung der körperlichen Fitness  $relVO_2max$  und  $dmax\_v$  konnten aufgrund von Ausfällen der Messgeräte in insgesamt 5 Messungen nicht erhoben werden.

## 5. Zusammenfassung

Die kurzfristigen Effekte der kognitiven Leistungssteigerung durch sportliche Aktivität sind vielfach erfolgreich demonstriert worden. Andererseits sind die langfristigen Effekte regelmäßiger sportlicher Aktivität auf die Kognition bisher nur wenig erforscht. Die hierzu verfügbaren Ergebnisse sprechen bisher zudem keine eindeutige Sprache. Angesichts der besonderen Relevanz der exekutiven Funktionen für die Bewältigung des alltäglichen Lebens und ihren Abnahmen im Verlauf des Lebens wurde diese Studie konzipiert. Es sollte überprüft werden, ob bei jungen Erwachsenen ein positiver Effekt von regelmäßigem Sport auf Exekutivfunktionen erreicht werden kann. In einem longitudinale, randomisiertem Studiendesign wurde eine Gruppe aus 19 Probanden im Alter zwischen 18 und 35 Jahren einem persönlich zugeschnittenem Lauftrainingsprogramm unterzogen, während eine Kontrollgruppe von 10 Probanden einen weitgehend inaktiven Lebensstil beibehielt. Zu Beginn, nach zwei, nach vier und nach sechs Monaten nahmen die Probanden an einem spiroergometrischen Fitnessstest, sowie an einer neuropsychologischen Testbatterie, welche eine computergestützte Version der Stroop Aufgabe beinhaltete, teil. Im Anschluss erfolgte die statistische Untersuchung auf Gruppenunterschiede sowie Veränderungen im zeitlichen Verlauf.

Durch das regelmäßige Training ließ sich ein quantifizierbarer Zuwachs an körperlicher Leistungsfähigkeit in der Sportgruppe erreichen, während sich ein solcher in der Kontrollgruppe nicht feststellen ließ. Trotz des messbaren Zuwachses an körperlicher Leistungsfähigkeit ließen sich bei Betrachtung der Reaktionszeiten und der Fehlerquoten in den verschiedenen Stroop Aufgaben keine signifikanten Unterschiede zwischen der Sport- und Kontrollgruppe darstellen, welche auf die Sportintervention zurückzuführen sind. Es fand sich ein stabiler Stroop Effekt, wie in zahlreichen Studien zuvor beobachtet, jedoch veränderte sich diese in keiner der beiden Gruppe im zeitlichen Verlauf. Es konnte zudem keine Korrelation zwischen den quantifizierbaren Parametern der körperlichen Fitnesszunahme und den Reaktionszeiten bzw. nur punktuelle Korrelationen der Fehlerhäufigkeiten im Rahmen der Bearbeitung der Stroop Aufgabe gezeigt werden,

welche somit keine Aussage über einen Zusammenhang zulassen. Insgesamt fügen sich die Ergebnisse in die Literatur ein, welche bisher langfristige Zusammenhänge zwischen Sport und exekutiver Kontrolle ausschließlich in einem höheren Alter zeigen konnte. Es muss jedoch kritisch hinterfragt werden, ob ein 6-monatiges Training ausreicht, um ausreichende neuroplastische Veränderungen im Frontalhirn herbeizuführen. Deshalb werden kontrollierte, randomisierte Studien mit größeren Kohorten und längeren Beobachtungszeiträumen in Zukunft gefordert sein.

## 6. Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1:</b> Beispiele von Stroop Aufgaben .....	14
<b>Abb. 2:</b> Schematische Darstellung des Wettlaufmodelles .....	16
<b>Abb. 3:</b> Modell der parallelen Verarbeitung .....	18
<b>Abb. 4:</b> Schematische Darstellung des Studienablaufes .....	36
<b>Abb. 5:</b> Leistungsdiagnostik .....	38
<b>Abb. 6:</b> Trainingsablauf der Studie .....	38
<b>Abb. 7:</b> Vorabfragebogen zur Überprüfung der Probanden vor den Neuropsychologischen Testungen.....	42
<b>Abb. 8:</b> Beispielhafte Darstellung eines Probanden bei der Testung .....	43
<b>Abb. 9:</b> Schematische Tastatur als Eingabegerät der Stroop Aufgabe .....	44
<b>Abb. 10:</b> relVO <sub>2</sub> max im zeitlichen Verlauf .....	49
<b>Abb. 11:</b> Differenz der relVO <sub>2</sub> max von T0 zu T6 .....	49
<b>Abb. 12:</b> dmax_v im zeitlichen Verlauf ....--.....	51
<b>Abb. 13:</b> Differenz der dmax_v von T0 zu T6 .....	51
<b>Abb. 14:</b> Maximale Herzfrequenzen im zeitlichen Verlauf .....	52
<b>Abb. 15:</b> Reaktionszeiten im Stroop Aufgabe A im zeitlichen Verlauf .....	54
<b>Abb. 16:</b> Differenz der Reaktionszeiten im Stroop Aufgabe A von T0 zu T6 .....	55
<b>Abb. 17:</b> Reaktionszeiten im Stroop Aufgabe B im zeitlichen Verlauf .....	56
<b>Abb. 18:</b> Differenz der Reaktionszeiten im Stroop Aufgabe B von T0 zu T6 .....	56
<b>Abb. 19:</b> Reaktionszeiten im Stroop Aufgabe C im zeitlichen Verlauf .....	57
<b>Abb. 20:</b> Differenz der Reaktionszeiten im Stroop Aufgabe C von T0 zu T6 .....	58
<b>Abb. 21:</b> Fehlerhäufigkeiten im Stroop Aufgabe A im zeitlichen Verlauf .....	59
<b>Abb. 22:</b> Differenz der Fehlerhäufigkeiten im Stroop Aufgabe A von T0 zu T6 .....	59
<b>Abb. 23:</b> Fehlerhäufigkeiten Stroop Aufgabe B im zeitlichen Verlauf .....	60
<b>Abb. 24:</b> Differenz der Fehlerhäufigkeiten im Stroop Aufgabe B von T0 zu T6 .....	61
<b>Abb. 25:</b> Fehlerhäufigkeiten Stroop Aufgabe C im zeitlichen Verlauf .....	62
<b>Abb. 26:</b> Differenz der Fehlerhäufigkeiten im Stroop Aufgabe C zwischen T0 und T6 ..	62
<b>Abb. 27:</b> Differenz der Reaktionszeiten von Stroop Aufgabe C und Stroop Aufgabe A im zeitlichen Verlauf .....	64
<b>Abb. 28:</b> Differenz der Fehlerhäufigkeiten von Stroop Aufgabe C und Stroop Aufgabe A im zeitlichen Verlauf .....	64

<b>Abb. 29:</b> Differenz der Reaktionszeiten von Stroop Aufgabe C und Stroop Aufgabe B im zeitlichen Verlauf .....	66
<b>Abb. 30:</b> Differenz der Fehlerhäufigkeiten von Stroop Aufgabe C und Stroop Aufgabe B im zeitlichen Verlauf .....	66
<b>Abb. 31:</b> Differenz der Reaktionszeiten von Stroop Aufgabe B und Stroop Aufgabe A im zeitlichen Verlauf .....	68
<b>Abb. 32:</b> Differenz der Fehlerhäufigkeiten von Stroop Aufgabe B und Stroop Aufgabe A im zeitlichen Verlauf .....	68

## 7. Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1:</b> Übersicht über Relevanz der Exekutivfunktionen in verschiedenen Lebensbereichen .....	9
<b>Tab. 2:</b> Teilbereiche der Exekutivfunktionen .....	11
<b>Tab. 3:</b> Studien zu Effekten akuter körperlicher Belastung auf die Stroop Aufgabe .....	21
<b>Tab. 4:</b> Studien zu Effekten chronischer körperlicher Belastung auf die Stroop Aufgabe .....	28
<b>Tab. 5:</b> Übersicht über die Einschluss- und Ausschlusskriterien dieser Studie .....	31
<b>Tab. 6:</b> Probandencharakteristika zum Zeitpunkt T0 .....	33
<b>Tab. 7:</b> M.I.N.I: Screening der zu untersuchenden Krankheiten durch den Mini International Neuropsychiatric Interview .....	34
<b>Tab. 8:</b> Aufzählung neuropsychologische Testbatterie .....	41
<b>Tab. 9:</b> Gebildete Kontraste aus den verschiedenen Stroop Aufgaben .....	46
<b>Tab. 10:</b> Übersicht über die durchgeführten statistischen Testungen .....	69
<b>Tab. 11:</b> P-Werte der Korrelationen nach Spearman zwischen den Parametern der Stroop Aufgaben und den Leistungsparametern.....	70
<b>Tab. 12:</b> P-Werte der Korrelationen nach Spearman aus den Differenzen zwischen T0 und T6 .....	71

## 8. Literaturverzeichnis

Bailey CE. Cognitive accuracy and intelligent executive function in the brain and in business. *Annals of the New York Academy of Sciences* 2007; 1118: 122–141

Baler RD, Volkow ND. Drug addiction: the neurobiology of disrupted self-control. *Trends in Molecular Medicine* 2006; 12: 559–566

Barch DM. The cognitive neuroscience of schizophrenia. *Annual Review of Clinical Psychology* 2005; 1: 321–353

Bauermeister S, Bunce D. Aerobic Fitness and Intraindividual Reaction Time Variability in Middle and Old Age. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences* 2016; 71: 431–438

Beck AT, Ward CH, Mendelson M, Mock J, Erbaugh J. An inventory for measuring depression. *Archives of General Psychiatry* 1961; 4: 561–571

Blair C, Razza RP. Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development* 2007; 78: 647–663

Borella E, Carretti B, Pelegrina S. The specific role of inhibition in reading comprehension in good and poor comprehenders. *Journal of Learning Disabilities* 2010; 43: 541–552

Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1982; 14: 377–381

Broidy LM, Nagin DS, Tremblay RE, Bates JE, Brame B, Dodge KA, Fergusson D, Horwood JL, Loeber R, Laird R, Lynam DR, Moffitt TE, Pettit GS, Vitaro F. Developmental trajectories of childhood disruptive behaviors and adolescent delinquency: a six-site, cross-national study. *Developmental Psychology* 2003; 39: 222–245

Brown TE, Landgraf JM. Improvements in executive function correlate with enhanced performance and functioning and health-related quality of life: evidence from 2 large, double-blind, randomized, placebo-controlled trials in ADHD. *Postgraduate Medicine* 2010; 122: 42–51

Brown TL, Gore CL, Carr TH. Visual attention and word recognition in stroop color naming: is word recognition "automatic"? *Journal of Experimental Psychology. General* 2002; 131: 220–240

Buck SM, Hillman CH, Castelli DM. The relation of aerobic fitness to stroop task performance in preadolescent children. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2008; 40: 166–172

Cattell JM. The Time it Takes to See and Name Objects. *Mind* 1886; 11: 63–65

Chang YK, Labban JD, Gapin JI, Etnier JL. The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Research* 2012; 1453: 87–101

Chang Y-K, Chen F-T, Kuan G, Wei G-X, Chu C-H, Yan J, Chen A-G, Hung T-M. Effects of Acute Exercise Duration on the Inhibition Aspect of Executive Function in Late Middle-Aged Adults. *Frontiers in Aging Neuroscience* 2019; 11: 227

Chang Y-K, Chu C-H, Wang C-C, Wang Y-C, Song T-F, Tsai C-L, Etnier JL. Dose-response relation between exercise duration and cognition. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2015; 47: 159–165

Cléinin G. Leistungsdiagnostik im Ausdauersport - anaerobe Schwelle, VO<sub>2</sub>max, aerobe Kapazität - wohin geht die Reise? *Swiss Sports & Exercise Medicine* 2019; 67: 6–14

Cohen JD, Dunbar K, McClelland JL. On the control of automatic processes: a parallel distributed processing account of the Stroop effect. *Psychological Review* 1990; 97: 332–361

Cohen J. Statistical Power Analysis. *Current Directions in Psychological Science* 1992; 1: 98–101

Comalli PE, Wapner S, Werner H. Interference effects of Stroop color-word test in childhood, adulthood, and aging. *The Journal of Genetic Psychology* 1962; 100: 47–53

Convery R, Mead S, Rohrer JD. Review: Clinical, genetic and neuroimaging features of frontotemporal dementia. *Neuropathology and Applied Neurobiology* 2019; 45: 6–18

Crescioni AW, Ehrlinger J, Alquist JL, Conlon KE, Baumeister RF, Schatschneider C, Dutton GR. High trait self-control predicts positive health behaviors and success in weight loss. *Journal of Health Psychology* 2011; 16: 750–759

Damasio AR, Anderson SW. The frontal lobes. In: Heilman KM, Valenstein E, Hrsg. *Clinical neuropsychology*, 3rd ed. New York: Oxford University Press, 1993: 409-460

Davis JC. The independent contribution of executive functions to health related quality of life in older women. *BMC Geriatrics* 2010; 10: 1–8

Denson TF, Pedersen WC, Friese M, Hahm A, Roberts L. Understanding impulsive aggression: Angry rumination and reduced self-control capacity are mechanisms underlying the provocation-aggression relationship. *Personality & Social Psychology Bulletin* 2011; 37: 850–862

Diamond A. Attention-deficit disorder (attention-deficit/ hyperactivity disorder without hyperactivity): a neurobiologically and behaviorally distinct disorder from attention-deficit/hyperactivity disorder (with hyperactivity). *Development and Psychopathology* 2005; 17: 807–825

Diamond A. Executive functions. *Annual Review of Psychology* 2013; 64: 135–168

Duncan GJ, Dowsett CJ, Claessens A, Magnuson K, Huston AC, Klebanov P, Pagani LS, Feinstein L, Engel M, Brooks-Gunn J, Sexton H, Duckworth K, Japel C. School readiness and later achievement. *Developmental Psychology* 2007; 43: 1428–1446

Dunn OJ. Multiple Comparisons among Means. *Journal of the American Statistical Association* 1961; 56: 52–64

Eakin L, Minde K, Hechtman L, Ochs E, Krane E, Bouffard R, Greenfield B, Looper K. The marital and family functioning of adults with ADHD and their spouses. *Journal of Attention Disorders* 2004; 8: 1–10

Eston RG, Reilly T, Hrsg. *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual. Volume 2, Exercise Physiology – Tests, Procedures and Data.* London: Routledge 2001

Fairchild G, van Goozen SHM, Stollery SJ, Aitken MRF, Savage J, Moore SC, Goodyer IM. Decision making and executive function in male adolescents with early-onset or adolescence-onset conduct disorder and control subjects. *Biological Psychiatry* 2009; 66: 162–168

Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods* 2007; 39: 175-191

Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang G. Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods* 2009; 41: 1149-1160

Fortes LS, Costa MC, Ferreira MEC, Nascimento-Júnior JRA, Fiorese L, Lima-Júnior, Dalton RAA, Cyrino ES. Frequency of resistance training does not affect inhibitory control or improve strength in well-trained young adults. *PloS One* 2018; 13: e0206784

Friedman M. The Use of Ranks to Avoid the Assumption of Normality Implicit in the Analysis of Variance. *Journal of the American Statistical Association* 1937; 32: 675

Friedman NP, Miyake A. Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior* 2017; 86: 186–204

Friston KJ, Holmes AP, Worsley KJ. How many subjects constitute a study? *Neuroimage*, 1999; 10: 1-5

Gathercole SE, Pickering SJ, Knight C, Stegmann Z. Working memory skills and educational attainment: evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Appl. Cognit. Psychol.* 2004; 18: 1–16

Glaser MO, Glaser WR. Time course analysis of the Stroop phenomenon. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1982; 8: 875–894

Glaser WR, Dündelhoff FJ. The time course of picture-word interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1984; 10: 640–654

Golden CJ. Sex Differences in Performance on the Stroop Color and Word Test. *Percept Mot Skills* 1974; 39: 1067–1070

Gotlib IH, McCann CD. Construct accessibility and depression: an examination of cognitive and affective factors. *Journal of Personality and Social Psychology* 1984; 47: 427–439

Hautzinger M, Keller F, Kühner C. Beck-Depressions-Inventar - Revision. Frankfurt am Main: Pearson, 2006

Hebb DO. The Effect of Early and Late Brain Injury upon Test Scores, and the Nature of Normal Adult Intelligence. *Proceedings of the American Philosophical Society* 1942; 85: 275–292

Hécaen H, Albert ML. Human neuropsychology. New York: Wiley 1978

Hollmann W, Knigge H, Knicker A, Strüder HK. Methods for Measurement of Physical Fitness and Training Recommendations in Studies on Humans. In: Boecker H, Hillman C, Scheef L, Strüder HK, Hrsg. Functional neuroimaging in exercise and sport sciences. New York: Springer, 2012; 95: 79–107

Jensen AR. Scoring the Stroop test. *Acta Psychologica* 1965; 24: 398–408

Jones AM, Doust JH. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences* 1996; 14: 321–327

Kahneman D, Chajczyk D. Tests of the automaticity of reading: dilution of Stroop effects by color-irrelevant stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1983; 9: 497–509

Konijnenberg C, Fredriksen PM. The effects of a school-based physical activity intervention programme on children's executive control: The Health Oriented Pedagogical Project (HOPP). *Scandinavian Journal of Public Health* 2018; 46: 82–91

Lecrubier Y, Sheehan DV, Weiller E, Amorim P, Bonora I, Sheehan KH, Janavs J, Dunbar GC. The Mini International Neuropsychiatric Interview (MINI). A short diagnostic structured interview: reliability and validity according to the CIDI. *Eur. Psychiatr.* 1997; 12: 224–231

Lezak MD. Recovery of memory and learning functions following traumatic brain injury. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior* 1979; 15: 63–72

Lezak MD. The Problem of Assessing Executive Functions. *International Journal of Psychology* 1982; 17: 281–297

Lindau M, Almkvist O, Kushi J, Boone K, Johansson SE, Wahlund LO, Cummings JL, Miller BL. First symptoms--frontotemporal dementia versus Alzheimer's disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders* 2000; 11: 286–293

Liu-Ambrose T, Nagamatsu LS, Graf P, Beattie BL, Ashe MC, Handy TC. Resistance training and executive functions: a 12-month randomized controlled trial. *Archives of Internal Medicine* 2010; 170: 170–178

Logan GD, Zbrodoff NJ. When it helps to be misled: Facilitative effects of increasing the frequency of conflicting stimuli in a Stroop-like task. *Memory & Cognition* 1979; 7: 166–174

Lowe DG, Mitterer JO. Selective and divided Attention in a Stroop task. *Canadian Journal of Psychology* 1982; 36: 684–700

Lui M, Tannock R. Working memory and inattentive behaviour in a community sample of children. *Behavioral and Brain Functions* 2007; 3: 12

Luria AR, Karpov BA, Yarbuss AL. Disturbances of Active Visual Perception with Lesions of the Frontal Lobes. *Cortex* 1966; 2: 202–212

Luria AR. The frontal lobes and the regulation of behavior. In: Pribram KH, Luria AR, Hrsg. *Psychophysiology of the frontal lobes*. Burlington: Elsevier Science, 1973: 3-26

MacLeod, MacDonald. Interdimensional interference in the Stroop effect: uncovering the cognitive and neural anatomy of attention. *Trends in Cognitive Sciences* 2000; 4: 383–391

MacLeod CM. Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin* 1991; 109: 163–203

Maier T, Gross M, Troesch S, Steiner T, Müller B, P B, Schärer C, Hübner K, Wilhelm M, GE C, P Z, R S, Tschopp M, Wehrin J. Manual Leistungsdiagnostik. Ittigen bei Bern: Swiss Olympic 2016

Mann HB, Whitney DR. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. *The Annals of Mathematical Statistics* 1947; 18: 50–60

Meyer T, Kermann W. Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>max). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 1999; 50

Miller HV, Barnes JC, Beaver KM. Self-control and health outcomes in a nationally representative sample. *American Journal of Health Behavior* 2011; 35: 15–27

Miyake A, Emerson MJ, Friedman NP. Assessment of executive functions in clinical settings: problems and recommendations. *Seminars in Speech and Language* 2000; 21: 169–183

Morrison FJ, Ponitz CC, McClelland MM. Self-regulation and academic achievement in the transition to school. In: Calkins SD, Bell MA, Hrsg. *Child development at the intersection of emotion and cognition*. Washington, D.C: American Psychological Association, 2010: 203–224

Morton J. Interaction of information in word recognition. *Psychological Review* 1969; 76: 165–178

Morton J, Chambers SM. Selective Attention to Words and Colours. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1973; 25: 387–397

Müller HJ, Krummenacher J. Aufmerksamkeit. In: Müsseler J, Prinz W, Hrsg. *Lehrbuch Allgemeine Psychologie*. Berlin: Springer, 2002: 118–177

Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 1971; 9: 97–113

Penadés R, Catalán R, Rubia K, Andrés S, Salamero M, Gastó C. Impaired response inhibition in obsessive compulsive disorder. *Eur. Psychiatr.* 2007; 22: 404–410

Peruyero F, Zapata J, Pastor D, Cervelló E. The Acute Effects of Exercise Intensity on Inhibitory Cognitive Control in Adolescents. *Frontiers in Psychology* 2017; 8: 921

Posner M, Snyder C. Attention and cognitive control. In: Solso RL, Hrsg. *Information processing and cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1975: 55–85

Predovan D, Fraser SA, Renaud M, Bherer L. The effect of three months of aerobic training on stroop performance in older adults. *Journal of Aging Research* 2012; 2012: 269815

Rey-Mermet A, Gade M. Inhibition in aging: What is preserved? What declines? A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review* 2018; 25: 1695–1716

Riggs NR, Spruijt-Metz D, Sakuma K-L, Chou C-P, Pentz MA. Executive cognitive function and food intake in children. *Journal of Nutrition Education and Behavior* 2010; 42: 398–403

Robbins TW, James M, Owen AM, Sahakian BJ, Lawrence AD, McInnes L, Rabbitt PM. A study of performance on tests from the CANTAB battery sensitive to frontal lobe dysfunction in a large sample of normal volunteers: implications for theories of executive functioning and cognitive aging. *Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery. Journal of the International Neuropsychological Society*: 1998; 4: 474–490

Salas-Gomez D, Fernandez-Gorgojo M, Pozueta A, Diaz-Ceballos I, Lamarain M, Perez C, Kazimierczak M, Sanchez-Juan P. Physical Activity Is Associated With Better Executive Function in University Students. *Frontiers in Human Neuroscience* 2020; 14:

Santos PRPD, Cavalcante BR, Vieira AKDS, Guimarães MD, Leandro Da Silva AM, Armstrong ADC, Carvalho RGDS, Carvalho FO de, Souza MF de. Improving cognitive and physical function through 12-weeks of resistance training in older adults: Randomized controlled trial. *Journal of Sports Sciences* 2020; 38: 1936–1942

Sarmanay I. Different performance in Stroop's Interference Test from the aspect of personality and sex. *Studia Psychologica* 1977; 19: 60–67

Schmidt K, Metzler P. *WST-Wortschatztest*. Weinheim: Beltz Test GmbH 1992

Shapiro SS, Wilk MB. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika* 1965; 52: 591

Sladekova L, Daniel J. Differences in performance in Stroop's test from the aspect of sex and age. *Studia Psychologica* 1981; 23: 145–149

Spearman C. (1904): The Proof and Measurement of Association between Two Things. *The American Journal of Psychology* 1904; 15: 72–101

Spielberger, CD, Gorsuch RL, Lushene R, Vagg PR, & Jacobs GA. *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press 1983

Stahl C, Voss A, Schmitz F, Nuszbaum M, Tüscher O, Lieb K, Klauer KC. Behavioral components of impulsivity. *Journal of Experimental Psychology. General* 2014; 143: 850–886

Stroop JR. Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology* 1935; 18: 643–662

Taylor Tavares JV, Clark L, Cannon DM, Erickson K, Drevets WC, Sahakian BJ. Distinct profiles of neurocognitive function in unmedicated unipolar depression and bipolar II depression. *Biological Psychiatry* 2007; 62: 917–924

Treisman A, Fearnley S. The Stroop test: selective attention to colours and words. *Nature* 1969; 222: 437–439

Treisman AM. Strategies and models of selective attention. *Psychological Review* 1969; 76: 282–299

Tuanama-Schuler H. Burnouterleben bei stationär behandelten depressiven Patienten und Wirksamkeit stationärer kognitiv-behavioraler Therapie bei Patienten mit Burnouterleben. Dissertation, LMU München: Medizinische Fakultät, 2017

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Population Prospects 2019: Volume II: Demographic Profiles*. New York

Vedovelli K, Giacobbo BL, Corrêa MS, Wieck A, Argimon IldL, Bromberg E. Multimodal physical activity increases brain-derived neurotrophic factor levels and improves cognition in institutionalized older women. *GeroScience* 2017; 39: 407–417

Wagner S. Kognitive Defizite bleiben bestehen. *InFo Neurologie* 2016; 18: 12

Weltgesundheitsorganisation. 2020: Physical Activity. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity> (Zugriffsdatum: 11.12.2020)

Williams JM, Mathews A, MacLeod C. The emotional Stroop task and psychopathology. *Psychological Bulletin* 1996; 120: 3–24

Williamson JD, Espeland M, Kritchevsky SB, Newman AB, King AC, Pahor M, Guralnik JM, Pruitt LA, Miller ME. Changes in cognitive function in a randomized trial of physical activity: results of the lifestyle interventions and independence for elders pilot study. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 2009; 64: 688–694

Womersley J, Durnin JV, Boddy K, Mahaffy M. Influence of muscular development, obesity, and age on the fat-free mass of adults. *Journal of Applied Physiology* 1976; 41: 223–229

Zhang H, Kornblum S. The effects of stimulus-response mapping and irrelevant stimulus-response and stimulus-stimulus overlap in four-choice Stroop tasks with single-carrier stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1998; 24: 3–19

Zimmermann P, Fimm B. A test battery for attentional performance. In: Leclercq M, Hrsg. *Applied neuropsychology of attention*. London, New York: Psychology Press, 2002: 110–151

Zuckerman H, Pan Z, Park C, Brietzke E, Musial N, Shariq AS, Iacobucci M, Yim SJ, Lui LMW, Rong C, McIntyre RS. Recognition and Treatment of Cognitive Dysfunction in Major Depressive Disorder. *Frontiers in Psychiatry* 2018; 9: 655

## 9. Danksagung

Ich möchte mich bei allen Mitgliedern der AG Boecker für den unermüdlichen Zusammenhalt während des gesamten Verlaufes der Studie Bedanken.

Mein Dank gebührt meinem Doktorvater Prof. Dr. Henning Boecker für die Möglichkeit der Teilnahme an diesem Projekt und die geduldige, stets professionelle Betreuung während aller Phasen der Studie.

Auch möchte ich mich bei Herrn Dr. med. Dipl. Phys. Lukas Scheef und Herrn Dr. phil. Dipl.-Psych. Marcel Daamen für ihre tatkräftige und fachkundige Hilfe in Aufbau und Durchführung dieser Studie bedanken.

Ein besonderer Dank geht an Frau M.Sc. Angelika Maurer, welche als kompetente und hilfsbereite Betreuerin zu jederzeit an meiner Seite stand und mich mit Rat und Tat unterstützte.

Ich bedanke mich bei allen Probanden herzlich für die Teilnahme an dieser Studie, für ihre Zeit und ihre Mitarbeit.

Zu guter Letzt bedanke ich mich aus tiefstem Herzen bei meinen Eltern Brigitte und Gerhard Decker und auch meinem Bruder Tobias Decker, welche mir durch Zuspruch, Rückhalt, Fürsorge und Liebe meinen Lebensweg erst ermöglicht haben.