

Auswirkungen regelmäßigen Ausdauersports auf die visuelle Aufmerksamkeit gemessen durch den Visual Search Task

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Milena Maria Philippi

aus Freiburg im Breisgau

2021

Angefertigt mit der Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Henning Boecker
2. Gutachter: PD Dr. med. Carsten F. Schmeel

Tag der Mündlichen Prüfung: 11.11.2021

Aus der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie

Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. Ulrike Attenberger

Meinen Eltern und Schwestern in ewiger Dankbarkeit gewidmet

1 Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	7
1. Einleitung	8
1.1 Visuelle Aufmerksamkeit.....	9
1.2 Visuelle Suche mittels des Visual Search Task	10
1.3 Bekannte Kognitionsmodelle der visuellen Aufmerksamkeit	15
1.4 Modifizierende Einflüsse auf den Visual Search Task	19
1.5 Auswirkungen körperlicher Fitness auf den Visual Search Task.....	22
1.6 Zielsetzung der Arbeit	29
2. Material und Methoden	30
2.1 Probandenrekrutierung	31
2.2 Ablauf der Studie	36
2.3 Leistungsdiagnostik	38
2.4 Intervention	41
2.5 Neuropsychologie	42
2.6 Test Visual Search.....	45
2.7 Datenanalyse	47
3. Ergebnisse	49
3.1 Körperliche Leistungsdiagnostik	49
3.2 Visual Search Task	52
4. Diskussion.....	62
4.1 Methodenkritik.....	66
4.2 Ausblick.....	68
5. Zusammenfassung	69
6. Abbildungsverzeichnis	71
7. Tabellenverzeichnis	72

8. Literaturverzeichnis.....	73
9. Danksagung.....	81

Abkürzungsverzeichnis

BDNF	Brain-derived neurotrophic factor
dmax_v	Geschwindigkeit an der anaeroben Schwelle
EHI	Edinburgh Handeness Inventory
EKG	Elektrokardiographie
ERP	Event related potentials
FEV	Fociertes expiratorisches Volumen
FIT	Feature Integration Theory
FVC	Funktionelle Vitalkapazität
HFmax	Maximale Herzfrequenz
M.I.N.I.	Mini International Neuropsychiatric Interview
MFV	Maximale freiwillige Ventilation
MRT	Magnetresonanztomographie
PEF	Peak Expiratory Flow
PLV	Phase-locking values
VO ₂ max.....	Maximale muskuläre Sauerstoffaufnahme pro Minute
WST	Wortschatztest

1. Einleitung

Sei es die Auswahl des eigenen Schlüssels am Schlüsselbrett oder eines gewünschten Kleidungsstücks aus einem Schrank – die kognitive Fähigkeit der visuellen Aufmerksamkeit erlaubt uns das Unterdrücken von Störreizen und das Fokussieren auf gewünschte Merkmale in meist nur wenigen Sekunden (Wolfe 2010). Wir Menschen begegnen täglich Herausforderungen, die wir dank der Mechanismen der visuellen Suche erfolgreich bewältigen. Umso interessanter wird dadurch die Frage nach einer möglichen positiven Modulation dieser Leistungen, beispielsweise um einem Abbau dieser kognitiven Fähigkeit im Alter entgegenzuwirken.

Die positiven Auswirkungen regelmäßigen Ausdauersports auf den menschlichen Körper sind vielfältig und haben dafür gesorgt, dass sportliche Betätigung einen bedeutenden Bestandteil vieler therapeutischer und präventiver Konzepte in der Medizin darstellt. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass Training mit moderater Intensität über 15 Minuten am Tag, die allgemeine Sterblichkeitsrate gegenüber sportlich inaktiven Menschen um bis zu 14 % reduziert, verbunden mit einer um 3 Jahre gesteigerten Lebenserwartung (Wen et al. 2011). Auch ist bekannt, dass die stimmungsaufhellenden Effekte eines Sporttrainings bei Depressionen denen eines Antidepressivums gleich kommen (Schulz et al. 2012; Gartlehner et al. 2017; Kandola et al. 2019). Regelmäßige Bewegung – angefangen bei Spaziergängen bis hin zu ausgeprägtem Lauftraining – führt nach aktueller Studienlage in Abhängigkeit von der Intensität zu einer Gewichts- und Risikoreduktion für verschiedene Krankheiten, darunter Diabetes (Grøntved et al. 2012; Röhling et al. 2016), zerebrovaskulärer Insuffizienz (Gallanagh et al. 2011; Brouwer et al. 2021) und sogar Darmkrebs (Dashti et al. 2018; An et al. 2020)

Auch auf dem Gebiet der kognitiven Fähigkeiten wird sportlicher Betätigung ein mitunter präventiver Nutzen zugesprochen (Barnes 2015). Schweißtreibende körperliche Aktivität mindestens einmal pro Woche führt zu verbesserten Reaktionszeiten in Tests der exekutiven Kontrollfunktion wie dem Erikson Flanker Task ($p < 0,02$) und hat dabei auch in höherem Alter, in welchem sich die Reaktionszeiten und Fehlerraten für gewöhnlich verschlechtern, eine messbare Leistungsverbesserung zur Folge (Hillman et al. 2006).

Das regelmäßige Durchführen unterschiedlicher Freizeitsportarten bei Erwachsenen Mitte dreißig wirkt sich positiv auf die spätere verbale Gedächtnisleistung derselben Personen, im Alter von Anfang vierzig und Anfang fünfzig, aus, wenn diese kontinuierlich aktiv bleiben (Richards et al. 2003). Ferner konnte nachgewiesen werden, dass das Risiko für unterschiedliche Formen von Demenz durch sportliche Betätigung signifikant gesenkt werden kann (Reimers et al. 2012; Sofi et al. 2011; Neumann und Frasch 2008). Metaanalytischen Berechnungen zufolge, lässt sich durch regelmäßiges aerobes Ausdauertraining in Kombination mit Krafttraining das Erkrankungsrisiko für eine undifferenzierte Demenz um etwa 25 %, das für eine Demenz vom Alzheimer Typ um 27 % senken. Die Wahrscheinlichkeit eines leichten kognitiven Defizits sinkt dadurch um bis zu 46 % (Reimers et al. 2012).

Aufgrund der geschilderten positiven Zusammenhänge zwischen Kognition und körperlicher Bewegung ist eine Verbesserung der visuellen Aufmerksamkeit durch regelmäßigen Ausdauersport prinzipiell vorstellbar. Obgleich mit dem Visual Search Task ein etablierter neuropsychologischer Test zur Verfügung steht, der eine objektive Darstellung der visuellen Aufmerksamkeitsfähigkeit ermöglicht, sind die Zusammenhänge zwischen körperlicher Fitness und der visuellen Suchleistung nur selten erforscht worden. Dies gilt insbesondere für das junge Erwachsenenalter (23-33 Jahre), in welchem diese Fähigkeit ihr Maximum erreicht (Hommel et al. 2004). Um die bisherigen wissenschaftlichen Untersuchungen wertvoll zu ergänzen und weitere Erkenntnisse bezüglich des Einflusses von Sport auf die visuelle Aufmerksamkeit beizutragen, wurde für diese Arbeit eine Studie konzipiert, die gezielt die Testergebnisse junger Erwachsener (18-35 Jahre) im Zusammenhang mit der Entwicklung ihres Fitnesslevels untersucht.

1.1 Visuelle Aufmerksamkeit

Die visuelle Aufmerksamkeit bezeichnet eine Facette der Kognition, welche im heutigen Begriffsverständnis als ein Überbegriff des menschlichen Denkens zu verstehen ist. Hierunter sind sämtliche Prozesse zusammengefasst, die es dem Menschen ermöglichen, Informationen zu verarbeiten und Handlungen zu planen und umzusetzen,

wie das Bewusstsein, die Konzentration, das Gedächtnis, die Intelligenz und die Wissensrepräsentation (Kircher und Gauggel 2008). Die visuelle Aufmerksamkeit steht für die Fähigkeit, die enorme Masse an visuell aufgenommenen Reizen nach ihrer Bedeutung für den Betrachter zu sortieren und somit zu selektieren. Sie ermöglicht es, relevante Informationen aus der Umwelt zu filtern, ohne Zeit und Kapazitäten an Störreize zu verlieren (Carrasco 2011). Die Kognitionsmodelle, die diese Leistung zu erklären versuchen und eruieren, inwieweit bewusste Aufmerksamkeit hierfür eine Rolle spielt, werden in Kapitel 1.3 näher erläutert.

Im Laufe der Zeit haben sich unterschiedliche Methoden in der Kognitionsforschung etabliert, um die diversen Teilbereiche dieses Forschungsgebietes getrennt voneinander zu analysieren und spezifische Aussagen zu bestimmten Denkleistungen und Hirnaktivitäten treffen zu können. Hierunter fallen auch neuropsychologische Tests wie der Visual Search Task, die eine Objektivierung ihrer kognitiven Leistung beispielsweise in Form von Reaktionszeiten ermöglichen (Kircher und Gauggel 2008). Wiederholte Testdurchläufe erlauben durch sorgsame Vergleiche Rückschlüsse auf den Einfluss verschiedener Umweltreize oder Interventionen auf die getestete Hirnfunktion (Moser 2010).

1.2 Visuelle Suche mittels des Visual Search Task

Die visuelle Suche ermöglicht es uns, gesuchte Gegenstände zwischen einer Ansammlung irrelevanter Elemente auffindig zu machen. Grundvoraussetzung hierfür ist eine schnelle Unterscheidung zwischen dem gesuchten Objekt und den umgebenden Störfaktoren (Distraktoren).

Der Visual Search Task erlaubt es, die Effizienz der visuellen Suche und der damit verbundenen visuellen Aufmerksamkeit quantitativ festzuhalten und einzuschätzen. Für ein typisches Visual Search Experiment werden die ProbandInnen dazu aufgefordert, einen vorher festgelegten Zielreiz (Target) aus einem Kollektiv anderer ablenkender Reize (Distraktoren) zu identifizieren oder seine Abstinenz zu erkennen.

Die Anzahl der Zielreize und Distraktoren kann dabei variieren und wird in ihrer Gesamtheit als „Displaygröße“ (set size) bezeichnet (Wolfe 2010). Je nachdem, ob sich der gesuchte Zielreiz in nur einem Merkmal von den Distraktoren abweicht oder eine Detektion erst durch die Verbindung mehrerer Eigenschaften möglich ist, wird zwischen der Feature Search und der Conjunction Search unterschieden (Treisman und Gelade 1980). Die Effizienz der Suche wird durch die Parameter „Fehlerrate“ und „Reaktionszeit“ ermittelt. Die Reaktionszeit (Zeit zum Finden des Zielreizes oder zur Feststellung, dass dieser fehlt) gilt als das bedeutendste Maß zur Untersuchung der Informationsverarbeitung, da sie Rückschlüsse auf die Verarbeitungsdauer kognitiver Prozesse liefern kann (Kircher und Gauggel 2008). Im Folgenden sollen die beiden genannten Testformen tiefergehend erläutert werden, da ihre Kenntnis für das Verständnis der zugrunde liegenden Kognitionsmodelle, wie sie in Kapitel 1.3 beschrieben werden, essenziell ist.

Single Feature Search

Bei einem Single Feature Search Experiment weicht der Zielreiz mit nur einer gesonderten Eigenschaft von den Distraktoren ab, wie etwa der Farbe oder Größe.

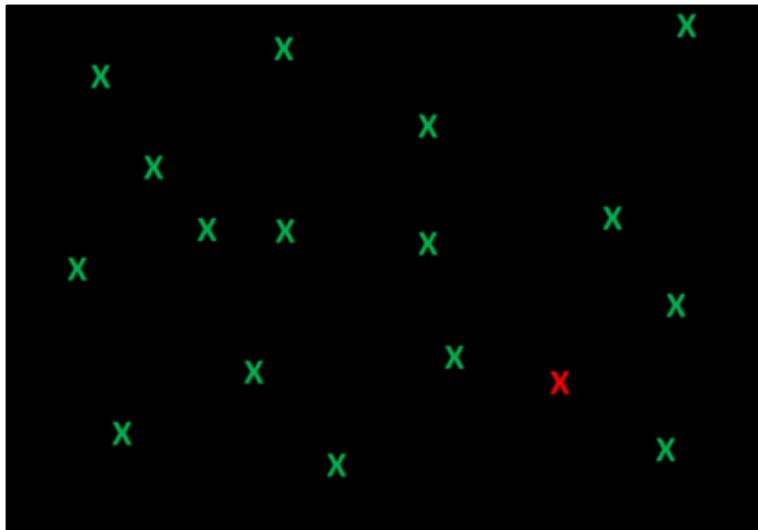


Abb. 1: Beispiel für den Single Feature Search Task. Der gesuchte Zielreiz unterscheidet sich alleine in der Eigenschaft "Farbe" und springt daher direkt ins Auge (Utz et al. 2013).

Weist der gesuchte Zielreiz hierbei ein bestimmtes Feature der Kategorie Farbe, Orientierung, Größe und Distanz auf, so kommt der Pop-out-Effekt zum Tragen - der gesuchte Reiz sticht der Testperson direkt ins Auge (Treisman 1986). Die Reaktionszeiten sind dementsprechend kurz und zeigen sich in Untersuchungen mit steigender Anzahl an Distraktoren beinahe konstant und damit nahezu unabhängig von der Displaygröße. In diesem Fall können die Eigenschaften zeitgleich voneinander abgegrenzt werden und unterliegen damit dem Prozess der parallelen Suche, der in Kapitel 1.3 näher erläutert wird (Treisman 1986; Treisman und Gelade 1980).

Conjunction Search

Bei der Conjunction Search hingegen ist eine Unterscheidung zwischen Target und Distraktoren erst durch die Verbindung mehrerer Merkmale möglich. So braucht es im folgenden Beispiel für die Detektion des roten X die Unterscheidung nach Farbe und Form.

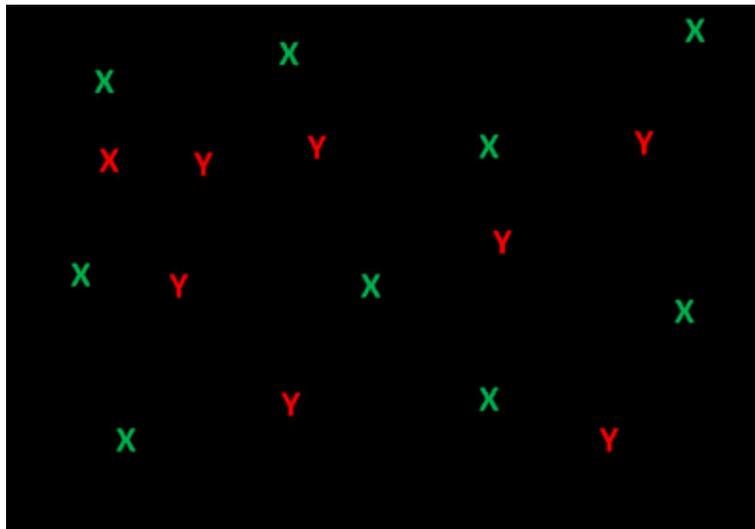


Abb. 2: Beispiel für den Conjunction Search Task: Der gesuchte Zielreiz unterscheidet sich zu den Distraktoren sowohl in den Eigenschaften „Farbe“ als auch „Form“. (Abbildung entnommen aus Utz et al. 2013)

Bei der Conjunction Search zeigt sich eine im Vergleich zur Feature Search verlängerte Reaktionszeit, die zudem in der Regel in Abhängigkeit zu der Menge an Distraktoren linear ansteigt. Ein Pop-out-Effekt findet nicht statt (Treisman 1986).

Preview Search und Visual Marking

Eine weitere Form des Visual Search Task stellt der Preview Search Task dar, der in Abwandlung auch im Rahmen dieser Studie zum Einsatz kam. Den ProbandInnen wird zunächst eine Vorauswahl von Distraktoren präsentiert – in dem hier gewählten Beispiel von Watson et al. die Buchstaben „H“ in grün (siehe Abb. 3). Nach einem festgelegten Zeitraum von ca. 400 Millisekunden erscheint eine weitere Auswahl an Distraktoren, unter denen sich gleichzeitig der gesuchte Zielstimulus befindet. In dieser Darstellung handelt es sich um die blauen Buchstaben „H“ unter denen sich der Zielstimulus in Form eines blauen „A“ befindet. Studien haben gezeigt, dass visuelle Suche unter diesen Bedingungen deutlich schneller verläuft als dies sonst bei der Conjunction Search der Fall ist. Tatsächlich ähneln die Kurvenverläufe der Reaktionszeiten eher denen einer Single Feature Search, wie in der Abbildung zu erkennen ist (Olivers et al. 2006; Watson et al. 2003). Dieser Vorteil ist unter dem Namen „preview benefit“ bekannt (Watson et al. 2003).

Offensichtlich ist es den ProbandInnen möglich, die bereits dargebotenen, irrelevanten Stimuli bei der Suche nach dem frisch präsentierten Zielreiz zu unterdrücken und damit die zu durchsuchende Displaygröße zu verkleinern. Dieser Effekt wird mit dem Begriff des „Visual Marking“ bezeichnet (Watson D.G. und Humphreys 1997).

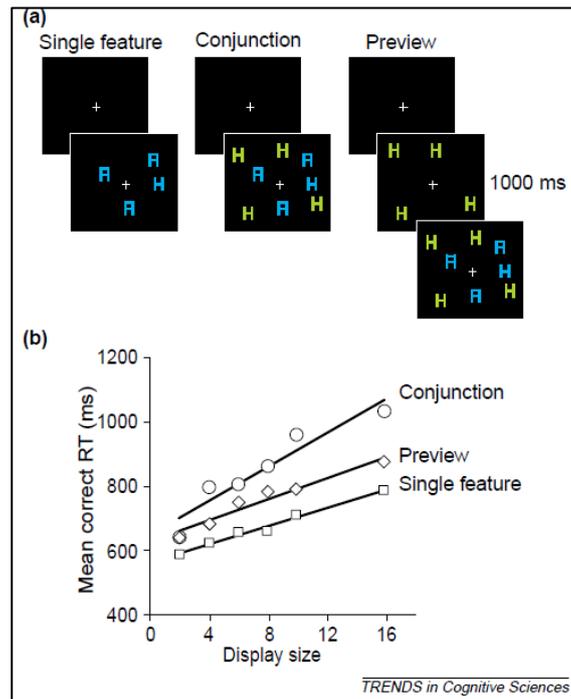


Abb. 3: Beispiel für den Preview Search Task: mit den typischen Kurvenverläufen der Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der Distraktorenanzahl (Watson et al. 2003).

Für die Wirksamkeit des Visual Markings ist ein gewisses Maß an Aufmerksamkeit nötig, um diese Reizunterdrückung zu erreichen. Dies wird dadurch deutlich, dass der Effekt schwächer wird, sobald parallel eine weitere Aufgabe gestellt wird, die die Aufmerksamkeitskapazität zusätzlich fordert beziehungsweise erschöpft (Olivers et al. 2006). Ändern die bereits angezeigten Störreize mit Erscheinen der neuen Symbole ebenfalls ihre Lokalisation, verschwindet der Vorteil gänzlich (Watson D.G. und Humphreys 1997). Während verschiedene Farbkonstellationen zwischen den Preview- und Zielreizen den Effekt zu beeinträchtigen scheinen (Braithwaite und Humphreys G. W. 2003; Watson et al. 2003), konnten Theeuwes und Kollegen einen robusten Marking Effekt bei einfarbigen Display-Items verzeichnen, wie sie in den vorliegenden Untersuchungen zum Einsatz kamen (Theeuwes et al. 1998).

1.3 Bekannte Kognitionsmodelle der visuellen Aufmerksamkeit

Zwei Modellen, die die zugrunde liegenden Prozesse der geschilderten Leistungen zu erklären versuchen, wird bis heute große Bedeutung zugesprochen: der „Feature Integration Theory“ (Treisman und Gelade 1980) sowie der „Guided Search Theory of Attention“ (Wolfe et al. 1989).

Feature Integration Theory

Anne Treisman entwickelte 1980 ein Modell der visuellen kognitiven Verarbeitungsprozesse, das im Laufe der Jahre zwar erweitert wurde, dessen Grundzüge aber bis heute Gültigkeit aufweisen (Treisman und Gelade 1980; Wolfe et al. 1989). Ihre Merkmalsintegrationstheorie (Feature Integration Theory, FIT) liefert eine Hypothese über die Abfolge der Schritte der visuellen kognitiven Wahrnehmung indem es diese in zwei Phasen aufteilt: Während der erste Teil des Prozesses unbewusst abläuft und lediglich einzelne Merkmalskategorien unterscheidet, liefert der zweite, aufmerksamkeitsgesteuerte Teil weitere Informationen, die das Erkennen und Lokalisieren des Zielreizes ermöglichen, auch wenn dieser sich erst durch eine Kombination von Merkmalen von den umliegenden Störreizen unterscheiden lässt. Eine schematische Darstellung der FIT liefert Abb. 4.

In der ersten Phase durchlaufen die dargebotenen Reize einen ersten unbewussten Filterprozess in welchem sie anhand bestimmter Eigenschaften sortiert werden. Zu diesen zählen „Farbe“, „Größe“, „Orientierung“ und „Distanz“. In Treismans Model werden diese vier Merkmale durch die so genannten „Feature Maps“ dargestellt. Die Detektion blauer und grüner Reize erfolgt dabei beispielsweise durch die Feature Map „Farbe“, die von waagerechten und senkrechten durch „Orientierung“. Dieser erste Filterprozess läuft automatisch ab und bedarf keiner Aufmerksamkeit der Testperson. Er wird daher als „Pre-attentive level“ bezeichnet (Treisman und Gelade 1980). Variieren Zielreiz und Distraktoren in nur einem dieser Attribute, wie es bei einem Single Feature Search Task der Fall ist, springt der Zielreiz dem Suchenden bereits durch diese erste Unterscheidung

ins Auge (Pop-out-Effekt). Aufgrund der zeitgleichen Verarbeitung wird dies als „Parallele Suche“ bezeichnet.

Schwieriger wird es bei der Conjunction Search, bei der erst die Verbindung von Eigenschaften zu einer erfolgreichen Suche führt. Die hierfür notwendigen kognitiven Schritte schließen sich in der zweiten Phase an. In ihr werden die Merkmale der Stimuli nacheinander aufmerksam abgesucht und zusammengesetzt, um den Zielreiz zu identifizieren. Laut Treisman braucht es für diesen Kombinationsprozess die gerichtete Aufmerksamkeit der Testperson, weshalb diese Phase als „Attentive level“ bezeichnet wird. Sie vergleicht diesen wandernden Fokus mit einem Scheinwerfer (Spotlight), der die einzelnen Merkmale des Reizes nacheinander beleuchtet und schließlich zusammensetzt, sodass der Stimulus in seiner Gesamtheit erkannt und bewertet werden kann. Aus diesem Grund wird bei der Conjunction Search im Gegensatz zur Parallel Feature Search von einer seriellen Suche gesprochen (Treisman und Gelade 1980).

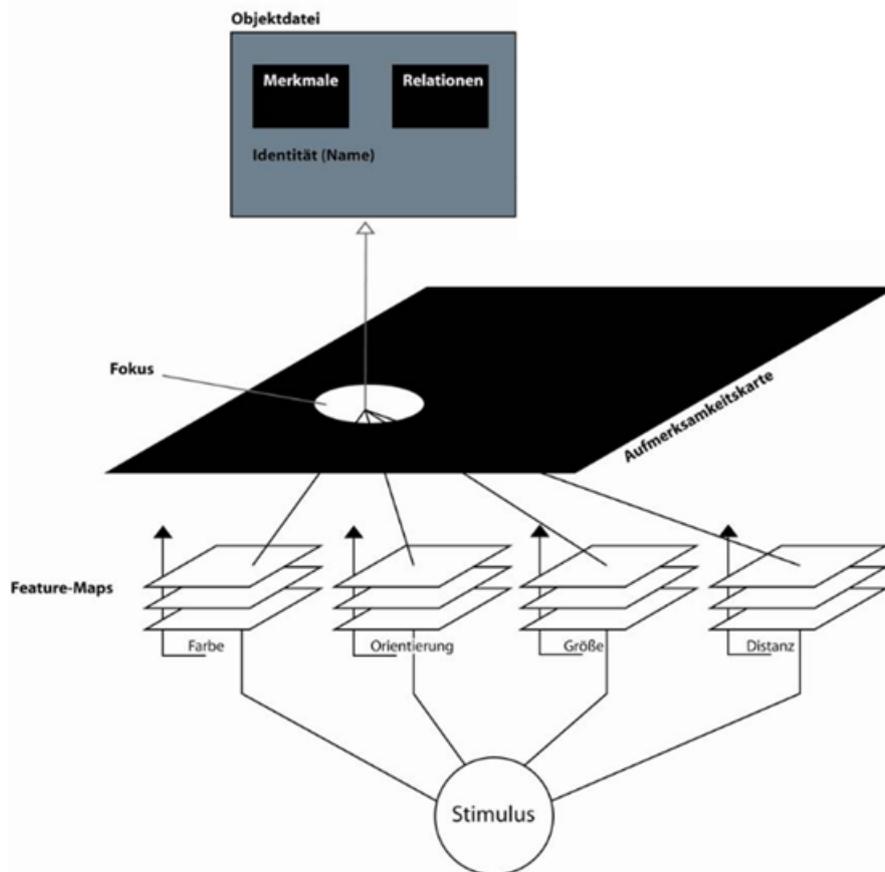


Abb. 4: Schematische Darstellung der Feature Integration Theory von Anne Treisman. Im Preattentive Level erfolgt mithilfe der Feature Maps eine erste Unterscheidung der dargebotenen Stimuli. Auf der Ebene des Attentive Levels muss der Fokus gezielt auf die einzelnen Eigenschaften gerichtet werden um diese zu kombinieren. Der Fokus wandert dabei nacheinander über die einzelnen Merkmale des Stimulus, welcher in dieser Darstellung als schwarze Fläche (Aufmerksamkeitskarte) dargestellt ist (Rittel 2004).

Da bei der seriellen Suche die Störfaktoren einzeln untersucht werden, erklärt die Hypothese die Verlängerung der Reaktionszeit bei steigender Distraktorenmenge. Jedoch zeigen sich in Untersuchungen von Wolfe die Reaktionszeiten von Conjunction Search Experimenten nicht einheitlich abhängig von der Anzahl an Störfaktoren, sondern ähneln in Ihrem Kurvenverlauf in Teilen denen der Feature Search (Wolfe et al. 1989). Dies bietet Anlass zur Kritik an Treismanns Modell und gibt Raum für weitere Modelle und Hypothesen.

Guided Search Theory of Attention

Zu den bedeutendsten Erweiterungen der Feature Integration Theory zählt das Guided Search Modell von Wolfe, der die oben genannten Erkenntnisse zum Anlass nahm, das bestehende Modell zu modifizieren.

Dem Guided Search Modell zu Folge ist es dank der parallelen Prozesse möglich, die gerichtete Aufmerksamkeit zu steuern. Es lehnt die Trennung der ersten parallelen Phase von der seriellen Phase ab und erklärt, dass die Informationen der parallelen Phase bereits kombiniert an die serielle weitergegeben werden. Somit kann die Aufmerksamkeit bereits auf zwei kombinierte Merkmale gelenkt werden. (Wolfe et al. 1989).

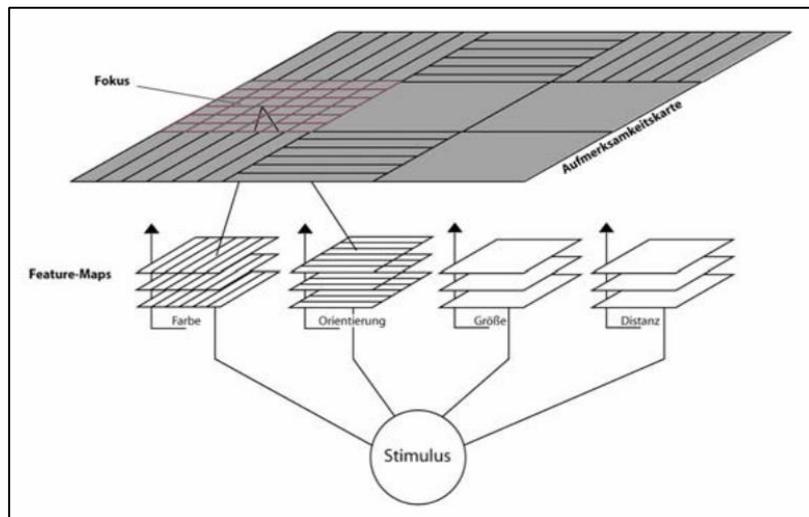


Abb. 5: Schematische Darstellung des Guided Search Modells von Jeremy M. Wolfe (Wolfe et al. 1989). Der Fokus wird direkt auf die Informationen der Feature Maps von Farbe und Orientierung zusammen gerichtet, die im ersten Schritt lokalisiert wurden. Die Aufmerksamkeit wird direkt auf die Kombination der Eigenschaften des Stimulus gelenkt und die Suche erfolgt effizienter (Rittel 2004).

Effekte zur Steuerung der Aufmerksamkeit

Wie in den angeführten Modellen zu erkennen ist, bedarf es für eine effektive visuelle Suche immer eines gewissen Maßes an Aufmerksamkeit. Es bleibt die Frage, wie diese geleitet wird. Zwei Effekten kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu: dem Bottom-up- und dem Top-down-Effekt.

Bei der Betrachtung des Suchfeldes werden der Testperson diverse Informationen geliefert, die ihre Aufmerksamkeit leiten und es ihr ermöglichen, den Zielreiz zu finden. Hierzu zählen die sogenannten „präattentiven Attribute“, wie beispielsweise „Farbe“ oder „Größe“. Diese scheinen so markant zu sein, dass ihre Verarbeitung über das gesamte Suchdisplay hinweg in nur einem Schritt möglich ist, ohne dass jeder Reiz einzeln daraufhin überprüft werden muss (also vor der gerichteten Aufmerksamkeit).

Je nachdem, in welchen Ausprägungen sich der Zielreiz von den vorhandenen Distraktoren unterscheidet, folgt das Suchmuster (die Aufmerksamkeitssteuerung) entweder dem Bottom-up- oder dem Top-down-Effekt. Ist die Beschaffenheit des Zielreizes nicht bekannt, man sucht also nach einem Reiz, dessen Merkmale man zu Beginn der Aufgabe nicht kennt, so spricht man vom Bottom-up-Effekt. Die Suche ohne klare Anweisung oder eine Definition des Zielreizes orientiert sich hierbei an den auffälligsten Merkmalen und Reizen – das Display wird gescannt, Reize werden verglichen. Sucht die Testperson jedoch nach spezifischen, vorgegebenen Eigenschaften wie einer bestimmten Farbe, Form oder Größe, wird diese Aufmerksamkeitslenkung als „Top-down“ bezeichnet. Der Suchende kann sein Wissen um die Attribute des Zielreizes zur gezielten Aufmerksamkeitssteuerung nutzen.

1.4 Modifizierende Einflüsse auf den Visual Search Task

Mehrere Studien konnten zeigen, dass die Leistungsfähigkeit der visuellen Suche, insbesondere der Conjunction Search, im Laufe des Lebens enormen Schwankungen unterliegt (Trick und Enns 1998; Hommel et al. 2004). Es zeigt sich die deutliche Tendenz, dass sich das Suchvermögen im Laufe der Kindheit verbessert, im jungen Erwachsenenalter seinen Höhepunkt (23-33 Jahre) erreicht und sich im Alter wieder verschlechtert (Trick und Enns 1998; Hommel et al. 2004). Während sich der Zusammenhang von Lebensalter und visueller Suchleistung als umgekehrte U-Funktion abbilden lässt, sind bei Kindern und Senioren unterschiedliche Schwierigkeiten zu beobachten. So stellt für Kinder die bloße Anwesenheit von Distraktoren eine Schwierigkeit dar, während ältere ProbandInnen erst bei zunehmender

Distraktorenmenge oder dem Fehlen des Zielreizes Probleme haben. Die Autoren führten diese Erkenntnisse darauf zurück, dass Kinder erst die Fähigkeit ausbauen müssten, sich durch Störreize nicht ablenken zu lassen, während ältere Individuen durch eine Kombination von neurokognitivem Abbau und einem sorgsameren Suchverhalten zu einer langsameren Ergebnisfindung kommen (Hommel et al. 2004).

Neben dem Alter stellt sich die Frage nach dem Einfluss des Geschlechts auf die Leistungen im Bereich der visuellen Suche und Aufmerksamkeit. Hinsichtlich der evolutionären Entwicklung scheint es naheliegend, dass Frauen, denen in der Geschichte die Aufgabe des Suchens und Sammelns zur Nahrungsbeschaffung zukam, einen Vorteil gegenüber männlichen Individuen haben (Eals und Silverman 1994). Dementgegen zeigten Untersuchungen jedoch, dass männliche ProbandInnen im Rahmen eines einfachen Feature Search Tasks eine um 44ms schnellere Reaktionszeit aufwiesen als weibliche ($p = 0,05$). Zudem war die Fehlerrate der Teilnehmerinnen signifikant höher als die der männlichen ($p = 0,05$) (Stoet 2011). Evolutionäre Zusammenhänge in Bezug auf die Suchleistung sind jedoch nicht komplett von der Hand zu weisen. Zielreize, die in der Geschichte der Menschheit mit Gefahr assoziiert werden, wie etwa Schlangen und Spinnen, werden von ProbandInnen im Durchschnitt mit signifikant schneller Reaktionszeiten beantwortet als harmlose und neutrale Reize wie beispielsweise Blumen (Flykt 2005). Dieser Effekt lässt sich verstärkt bei Frauen in der zweiten, fruchtbaren Zyklushälfte beobachten, in welcher die Reaktionszeiten deutlich unter denen der ersten, der folliculären Phase, liegen. Der hormonelle Einfluss von Progesteron und Östrogen zur Vorbereitung einer potenziellen Schwangerschaft scheint damit die Aufmerksamkeit für lebensbedrohliche Stimuli signifikant zu verbessern, während die Reaktionszeiten bei neutralen Reizen von den hormonellen Schwankungen während des Zyklus unbeeinflusst bleiben (Masataka und Shibasaki 2012). Gleichzeitig ließ sich in bisherigen Untersuchungen feststellen, dass Frauen, die vor ihrer Periode starke Beschwerden wie starke Schmerzen oder Stimmungstiefs im Sinne des prämenstruellen Syndroms angeben, um 18 % langsamere Reaktionszeiten erzielen als solche, die ihre Beschwerden als weniger stark beschreiben ($p < 0,1$) (Diener et al. 1992). Dieser Unterschied verhält sich unabhängig vom Zyklusabschnitt und scheint folglich tiefer begründet zu sein als in den sich verändernden Hormonausschüttungen, auch wenn es bislang keine Erklärung hierfür gibt (Diener et al. 1992).

In anderen Testreihen konnte gezeigt werden, dass die wiederholte Durchführung eines Visual Search Task zu einem Trainingseffekt führt, der sich signifikant auf die Reaktionszeiten der ProbandInnen auswirkt (Sireteanu und Rettenbach 1995; Clark et al. 2015). Während die Präzision sich auch nach mehrfacher Wiederholung des Tasks konstant hält, kommt es zu einer statistisch signifikanten Verminderung der Reaktionszeiten. Den Autoren Clark und Kollegen gelang es mittels Messungen von ERP (event related potentials) während mehrfacher Durchführung an fünf aufeinanderfolgenden Tagen eines Single Feature Tasks, Rückschlüsse darauf zu ziehen, welche kognitiven Teilleistungen von der Wiederholung am meisten profitieren. Ihrer Aussage zufolge zeigt sich ein Trainingseffekt durch verbesserte sensorische Verarbeitung des Suchfeldes, eine schnellere Fokussierung auf den Zielreiz, eine erleichterte Unterdrückung der Störreize und eine schnellere Vorbereitung sowie Durchführung der motoneuronalen Antwort (Clark et al. 2015).

Doch nicht nur die Wiederholung des Visual Search Task selbst, sondern auch das allgemeine Trainieren kognitiver Fähigkeiten scheint sich positiv auf die Leistungen des Tests auszuwirken (Wild-Wall et al. 2012). Untersuchungen einer Gruppe von 114 SeniorInnen im Alter von 65 bis 88 zeigten, dass ProbandInnen, die über den Zeitraum von vier Monaten ein vielfältig gestaltetes kognitives Trainingsprogramm erhielten, deutlich weniger Zielreize übersahen als vor der Intervention. Die Reaktionszeit und die Fehlerrate zeigten sich nicht signifikant verändert. Zwei Kontrollgruppen, die der Interventionsgruppe gegenüberstanden und von denen eine über denselben Zeitraum an einem Entspannungsprogramm teilnahm, zeigten keine signifikanten Veränderungen ihrer Testresultate. Daraus lässt sich schließen, dass ProbandInnen bei der einmaligen Wiederholung des Test nach vier Monaten von keinem Trainingseffekt profitieren (Wild-Wall et al. 2012).

Es ist bekannt und einfach nachzuvollziehen, dass die Reaktionszeit bei Conjunction Search Tasks bei steigender Distraktorenmenge linear zunimmt (Treisman und Gelade 1980). Der fehlende Pop-out-Effekt durch die nötige Verbindung mehrere Eigenschaften erfordert ein längeres Durchsuchen der gebotenen Reize. Bei ProbandInnen, die kurz vorher einer körperliche Belastung ausgesetzt waren, scheint dieser Effekt abgeschwächt zu sein (Aks 1998). Eine nähere Erläuterung folgt in Kapitel 1.5.

1.5 Auswirkungen körperlicher Fitness auf den Visual Search Task

Die Frage nach dem Einfluss sportlichen Trainings auf den Visual Search Task ist in der Literatur bislang wenig behandelt worden. **Tab. 1** zeigt eine systematische Auflistung der Studien, die zu diesem Thema gefunden und in dieser Arbeit als Referenzen herangezogen wurden. Bei der Betrachtung dieser Studien ist es wichtig eine sorgsame Unterscheidung zwischen den Auswirkungen eines akuten Sporttrainings und denen der Folge regelmäßiger Interventionen zu unterscheiden.

Tab. 1: Tabellarische Auflistung von Studien, die sich mit den Auswirkungen körperlicher Belastung auf Visual Search Tasks befassen.

	Autor, Jahr	Titel	Zeitschrift/Buch	Körperliche Belastung	ProbandInnen	Parameter	Gemessene Effekte
Akut	1. McMorris und Graydon 1997	The effect of exercise on cognitive performance in soccer-specific tests	Journal of Sports Sciences	Fahrradergometer bei 70 und 100 % der maximalen Ausbelastung	n = 12 m Fußballspieler Altersdurchschnitt: 20,8 Jahre	- Reaktionszeit - Entscheidungszeiten - Genauigkeit / Fehler	Effekt durch Sport: Nachweisbar Intensitätseffekt: Nachweisbar
	2. Aks 1998	Influence of exercise on Visual Search: Implications for mediating cognitive mechanisms	Perceptual and Motor Skills	Fahrradergometer Bei 10 Minuten 65 % der maximalen Ausbelastung bzw. 8 Minuten 65 % plus 2 Minuten 85 %	n = 18 m und w UniversitätsstudentInnen Altersdurchschnitt: 22 Jahre	- Reaktionszeiten - Fehler	Effekt durch Sport: Nachweisbar Effekt Distraktorenanzahl: Nachweisbar
	3. Bullock und Giesbrecht 2014	Acute exercise and aerobic fitness influence selective attention during visual search	Frontiers in Psychology	Fahrradergometer Im Intervall je 15 Minuten bei 50 % VO ₂ max	n= 26 (13 Sportgruppe) m und w UniversitätsstudentInnen Altersdurchschnitt: 20 Jahre	- VO ₂ max - Reaktionszeiten - Genauigkeit / Fehler - Cortisol - Alpha Amylase	Effekt durch Sport: Nachweisbar (negativ) Effekt durch Aerobe Kapazität: Nachweisbar (positiv)
Chronisch	4. Kamijo et al. 2016	The relationship between childhood aerobic fitness and brain functional connectivity	Neuroscience Letters	Sportliche Einteilung mittels PACER – Test (Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run)	n = 32 m und w SchülerInnen Altersdurchschnitt: 12,1 Jahre	- Reaktionszeiten - Genauigkeit/Fehler - Aktivität im EEG	Effekt durch Sport: Nachweisbar (positiv)
	5. Kramer et al. 2001 (Aus dem Sammelband von Fisk and Rogers)	Exercise, Aging and Cognition: Healthy Body, Healthy Mind?	Human Factors Interventions for the Health Care of Older Adults	Gehtraining zwischne 40-70 % der VO ₂ max.Schwelle vs. Dehnungsübungen	n = 124 m und w SeniorInnen Altersdurchschnitt: 66,6 Jahre	- Reaktionszeiten - Genauigkeit/Fehler	Effekt durch Sport: Nicht nachweisbar

Der Großteil der für Vergleichszwecke zur Verfügung stehenden Arbeiten führte die Untersuchungen bislang während oder unmittelbar nach einer sportlichen Intervention durch (McMorris und Graydon 1997; Aks 1998). So auch die Kollegen McMorris und Graydon, die die Leistungen professioneller Fußballspieler in einem Visual Search Task vor und während sportlicher Belastung auf einem Fahrradergometer (70 % und 100 % maximal power outcome) miteinander verglichen. Ihre Messungen zeigten einen signifikanten Effekt der Trainingsstärke ($p < 0.01$), dessen Post-hoc-Analysen eine schnellere durchschnittliche Antwortgeschwindigkeit der ProbandInnen während maximaler körperlicher Belastung im Vergleich zu Ruhe und mäßiger Betätigung aufwies (McMorris und Graydon 1997, S. 463). Die Leistungsfähigkeit der visuellen Suche und Aufmerksamkeit zeigte sich folglich bei maximaler sportlicher Auslastung am stärksten. In Durchläufen, in denen die Spieler dazu angehalten wurden, im Anschluss an die Detektion des Zielreizes „Ball“ eine Entscheidung bezüglich eines folgenden Spielzugs zu fällen, konnte diese Verkürzung der Reaktionszeit nicht beobachtet werden. Dafür zeigte sich bei körperlicher Höchstleistung die schnellste Reaktionszeit zwischen Detektion und besagter Entscheidung (Speed of decision following ball detection; $p < 0,005$) (McMorris und Graydon 1997, S. 465). Die unterschiedliche Komplexität der Anweisungen scheint für eine divergente psychologische Einstellung zu sorgen, welchem Aufgabenteil mehr Aufmerksamkeit zugeordnet wird. Als mögliche Erklärung für die verbesserten Leistungen ihrer Probanden unter körperlicher Anstrengung vermuteten die Autoren einen Anstieg der Neurotransmitter Adrenalin und Noradrenalin im zentralen Nervensystem was zu einer gesteigerten geistigen Erregung und Konzentration führe (McMorris und Graydon 1997).

Unterstützend konnte eine weitere Studie (Aks 1998) verbesserte Reaktionszeiten und zudem geringere Fehlerraten nach körperlichem Training feststellen. Die Autorin Deborah Aks verglich hierfür unter anderem den Effekt von zehnminütigem submaximalem Sport auf einem Fahrradergometer (65 % Auslastung) und erhöhter Leistung (8 min. 65 %+ 2 min 85 % Auslastung) hinsichtlich der Reaktionszeiten und der Genauigkeit eines Feature Search- und Conjunction Search Tasks. Die beiden Testdurchläufe fanden jeweils vor und nach der sportlichen Intervention statt. Während sich die Reaktionszeiten von einem

Mittelwert von $924\text{ms} \pm 248\text{ms}$ auf $888\text{ms} \pm 244\text{ms}$ verbesserten ($p = <0,05$) sanken ebenfalls die Anzahl der Fehler von durchschnittlich $9\% \pm 11\%$ auf $7\% \pm 9\%$ ($p = <0,01$) (Aks 1998, S. 776).

Ergänzend fanden sich jedoch Hinweise darauf, dass eine längere akute Belastung über eine Stunde auf dem Fahrradergometer zu einer Beeinträchtigung der Wahrnehmungsdiskriminierung in schwierigen Search Tasks führt. So schnitten ProbandInnen, die abwechselnd 15-minütige Sporteinheiten bei 50 % ihrer VO_2max Schwelle sowie Durchläufe eines Visual Search Tasks absolvierten mit schlechteren Reaktionszeiten ab, als die Mitglieder der Kontrollgruppe (Bullock und Giesbrecht 2014). Insbesondere die Verbesserung bei mehrfacher Wiederholung zeigte sich im Vergleich zur Kontrolle deutlich vermindert. Dies spricht für eine erschöpfende Auswirkung erhöhter körperlicher Belastung auf die Verarbeitungsressourcen mit der Konsequenz einer Behinderung des Lerneffekts bei komplexen Aufgaben (Bullock und Giesbrecht 2014). Die Fehlerrate zeigte sich im Rahmen dieser Untersuchungen unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit ($p = 0,84$).

Bezüglich der Distraktorenmenge scheint sportliche Betätigung vor allem bei kleinen Displaygrößen – also einer geringen Menge an Störfaktoren – einen Einfluss auf die Suchleistung zu nehmen. So ließ sich in der bereits erwähnten Studie von Aks feststellen, dass die deutlichsten Verbesserungen, bedingt durch die körperliche Anstrengung, in Durchläufen mit niedriger Distraktorenzahl zu finden sind (Aks 1998). Die Suchleistungen ihrer ProbandInnen verbesserte sich bei zwei sowie sechs Störreizen nach der Intervention, wohingegen es bei zehn Distraktoren zu unterschiedlichen Ergebnissen in Abhängigkeit der Trainingsintensität kam. Während sich die Reaktionszeiten nach Anstrengung mittlerer Intensität verschlechterten, kam es im Anschluss an eine hohe Auslastung zu keiner messbaren Beeinträchtigung. Hierfür liefern die Autoren zwei unterschiedliche Aufmerksamkeitsmechanismen als Erklärungsansatz, die abhängig von der Trainingsstärke zum Tragen kämen. So gebe es einerseits die exogene Aufmerksamkeit, deren Verteilung durch die Reize selbst gesteuert werde. Wenige Reize lägen automatisch nahe beieinander und zeigten sich in ihrer räumlichen Streuung begrenzt, während sich das Feld des Aufmerksamkeitsfokus bei Zunahme der präsentierten Reize automatisch vergrößere. Andererseits unterliege die

Aufmerksamkeitsverteilung internen kognitiven Funktionen, welche durch körperliches Training direkt zu beeinflussen sein könnten. Dies führe zu einer verbesserten Fokussierung der Suche, die jedoch erschwert werde und abnehme, sobald eine höhere Anzahl Distraktoren hinzukäme. Folglich seien die Ergebnisse der moderaten Auslastung am ehesten mit der endogenen Interpretationstheorie zu vereinbaren, während die der hohen Belastungen mit denen der exogenen Interpretation übereinstimmten. So kämen im Verlauf einer körperlichen Belastung je nach Intensität unterschiedliche Faktoren zum Tragen, deren endgültiger Stellenwert durch weitere Untersuchungen noch zu klären sei.

Während akute sportliche Einheiten tendenziell einen positiven Einfluss auf die visuelle Aufmerksamkeit zu haben scheinen, liefern Untersuchungen mit Fokus auf die Auswirkungen regelmäßigen Trainings beziehungsweise auf den Vergleich niedriger und höherer Fitnesslevel divergente Ergebnisse mit unterschiedlichen Erklärungsansätzen:

Die Autoren Bullock und Giesbrecht stellten bei Ihren Untersuchungen fest, dass TeilnehmerInnen mit einer höheren aeroben Kapazität (VO₂max-Werten) unter körperlicher Anstrengung schnellere Reaktionszeiten aufwiesen als Individuen mit einer niedrigeren aeroben Schwelle. Im Ruhezustand ließ sich dieser Effekt nicht feststellen (Bullock und Giesbrecht 2014). Die Suchleistung zeigte sich folglich nur während körperlicher Belastung von der aeroben Kapazität beeinflusst. Die Autoren vermuteten hinter dieser Beobachtung eine gesteigerte Ausschüttung des Hormons brain-derived neurotrophic factor (BDNF) bei akuter sportlicher Aktivität – ein neuroprotektives Wachstumshormon, welches die Neurogenese sowie die neuronale Konnektivität fördere. Diese Zunahme sei durch eine in der Literatur bekannte Hochregulierung der Produktion und Freisetzung des Hormons durch regelmäßiges aerobes Training anzunehmen (Bullock und Giesbrecht 2014; Knaepen et al. 2010). Es konnte bislang festgestellt werden, dass es zu einer deutlichen Erhöhung des BDNF Spiegels unter körperlicher Belastung kommt, der innerhalb weniger Minuten im Anschluss wieder zu sinken beginnt (Winter et al. 2007), während ein permanent erhöhter Spiegel bei regelmäßig trainierenden Personen aktuell nicht vermutet wird (Knaepen et al. 2010). Folglich erhöht sich die Kapazität der Zellen, im Falle körperlicher Aktivität höhere Mengen des Hormons zu sezernieren. Zudem sei denkbar, dass eine erhöhte kardiovaskuläre Fitness zu einer

erhöhten Anzahl von Sauerstofftransportern im Blut führt, die eine suffizientere Versorgung der Neurone im Hirn gewährleistet (Bullock und Giesbrecht 2014).

Ergebnisse, die ebenfalls eher für eine dauerhafte Verbesserung der visuellen Aufmerksamkeit durch Sport sprechen, lieferte eine Studie aus Japan, die eine Gruppe Kinder im Alter von 10 bis 14 Jahren getrennt nach ihren sportlichen Leistungen in einem Shuttle Run Test auf ihrer Resultate in einem Single Feature Search und einem Conjunction Search Task untersuchte (Kamijo et al. 2016). Neben einer komplexen Verarbeitung der Messungen mittels phase-locking values (PLV), welche eine frequenz-spezifische Phasensynchronität zwischen EEG-Signalen im Laufe des neuropsychologischen Tests messen, wurden auch die Reaktionszeiten und die Genauigkeit ausgewertet, was einen Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit erleichtert. Im Rahmen dieser Datenerhebung konnte gezeigt werden, dass die Kinder der sportlich fitteren Gruppe eine signifikant höhere Genauigkeit aufwiesen als die, die der sportlich weniger starken Gruppe angehörten ($p = 0,02$). Bezüglich der Reaktionszeiten zeigten die sportlicheren ProbandInnen zwar schnellere Reaktionen als die weniger sportlichen, dieser Effekt war letztlich jedoch nicht statistisch signifikant ($p = 0,10$). Die Autoren leiten aus den Ergebnissen ein stärkeres kognitives Leistungsvermögen bei Kindern mit höherem aeroben Fitnesslevel ab. Aus der Datenauswertung der PLV erkannten sie, dass die sportlichen Kinder die funktionelle Verbindung im Conjunction Search Task besser schließen konnte als die weniger sportlichen. Sportlichkeit scheine zu einer verbesserten Kontrolle des Top-down-Mechanismus zu führen (Kamijo et al. 2016).

Die in diesem Fall wohl wichtigste Vergleichsstudie stammt von den KollegInnen Kramer et al., die mit ihrer Studie zeigen wollten, dass eine Verbesserung des Visual Search Task durch Sport nicht zu erwarten ist.

Für ihre Messungen betreuten sie über sechs Monate hinweg ein Probandenkollektiv von 124 SeniorInnen im Alter von 60 bis 75 Jahren, unterteilt in eine Lauf- und eine Stretching-Gruppe. In dieser Zeit wurden die Testpersonen aufgefordert, eine Reihe neuropsychologischer Tests zu bearbeiten, zu denen ebenfalls ein klassischer Single Feature Visual Search Task sowie ein Conjunction Search Task zählten. Die ProbandInnen der Sportgruppe trainierten drei Mal pro Woche unter Bedingungen von ca.

50 % VO₂max aufsteigend zwischen 10 und 40 Minuten, während die Kontrollgruppe sich zu den gleichen Zeiten zu ausgiebigen Dehnübungen traf. Mit ihrer Forschung wollten die AutorInnen die Hypothese untermauern, dass aerobes sportliches Training nur zu einer Verbesserung kognitiver Fähigkeiten führt, die im Zusammenhang mit Exekutivfunktionen stehen, die durch frontale und präfrontale Regionen des Cortex vermittelt wird. Ihrer Aussage nach wäre eine Leistungszunahme durch körperliche Bewegungen in Kognitionstests, die in keiner Verbindung zu diesen Hirnarealen steht, nicht zu erwarten. Hierfür wählten sie eine Reihe neuropsychologischer Tasks aus, deren Zusammenhang mit Exekutivfunktionen als bekannt gilt, um Ihre Ergebnisse mit denen, für die dies nicht galt, zu vergleichen. Zu letzteren zählte auch der Visual Search Task für dessen Durchführung dem Striatum, dem extrastriären Cortex sowie dem parietalen und temporalen Lappen eine bedeutende Rolle zugesprochen wird (Fisk und Rogers 2001; Posner und Gilbert 1999).

Tatsächlich wurde in beiden Visual Search Tasks nach sechs Monaten zwar eine Verbesserung der Reaktionszeiten verzeichnet, diese zeigte sich jedoch, wie von den Autoren erwartet, unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit. Auch die Ergebnisse der übrigen Tests sprachen mehrheitlich, wenn auch nicht vollständig, für die besagte Hypothese. Nicht alle Tasks, die unter Einfluss der Exekutivfunktion erfüllt werden, ließen eine signifikante Verbesserung durch Sport verzeichnen. Besonders die Tasks, die sich mit der Darstellung bestimmter Erinnerungsmuster beschäftigen, wie beispielsweise der Gesichtserkennungs-Task, zeigten zwar eine Tendenz zugunsten der Sportler, unterschieden sich jedoch nicht signifikant – wie angenommen – zwischen den beiden Gruppen. Als mögliche Erklärungen nannten die AutorInnen das Alter der ProbandInnen sowie die unterschiedliche Komplexität der Tests. Es ließen sich Anhaltspunkte darauf finden, dass der Fitnessseffekt sich stärker auf die Reaktionszeiten als auf die Genauigkeit von Tests ausgewirkt. Dies könnte unter Umständen zu einer stärkeren Förderung aufmerksamkeitsbetonter Tasks geführt haben, im Vergleich zu Speicheraufgaben, die in höherem Maße von der Genauigkeit abhängen (Fisk und Rogers 2001). Mit dem Hinweis, dass es mögliche Zusammenhänge wie diese weiter zu untersuchen gelte, sahen sich die AutorInnen insgesamt in ihrer Hypothese bestärkt.

1.6 Zielsetzung der Arbeit

Wie soeben ausgeführt, wurde ein Vergleich sportlicher versus unsportlicher ProbandInnen mittels Visual Search Tasks bisher nur bei Kindern vorgenommen (Kamijo et al. 2016), während die Auswirkungen einer regelmäßigen Intervention bei SeniorInnen untersucht wurde (Fisk und Rogers 2001). Da bekannt ist, dass die Leistungen, die während dieses Tests erbracht werden, altersabhängigen Schwankungen unterliegen (Trick und Enns 1998; Hommel et al. 2004), ist eine Betrachtung unterschiedlicher Altersgruppen von großer Bedeutung. Untersuchungen in Bezug auf akute sportliche Interventionen und die visuelle Suchleistungen im jungen Erwachsenenalter konnten überwiegend positive Einflüsse feststellen. Dies bietet Anlass zu der Überlegung ob diese Erkenntnisse auf ein generell erhöhtes Fitnesslevel bei ProbandInnen in besagtem Lebensabschnitt übertragbar sind. Die vorliegende Dissertation befasst sich daher gezielt mit der Fragestellung nach den Auswirkungen regelmäßigen Lauftrainings auf die Ergebnisse des Visual Search Tasks bei jungen Erwachsenen.

Hierfür wurden ProbandInnen einem individualisierten Trainingsprogramm über einen Zeitraum von sechs Monaten unterzogen. In festgelegten Abständen absolvierten sie wiederholt einen Conjunction Search Task sowie einen Preview Search Task, deren Ergebnisse nach Ablauf der Studie mit denen einer inaktiven Kontrollgruppe in einem randomisierten Studiendesign verglichen wurde.

Ziel dieser Untersuchungen ist es, zu ermitteln, ob junge Erwachsene hinsichtlich ihrer visuellen Aufmerksamkeit von regelmäßigem Sporttraining profitieren und sich daher in einem Lebensabschnitt befinden, in welchem eine Modulation dieses kognitiven Teilbereiches möglich ist.

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 Neurobildung (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 „Einfluss von regelmäßigem Sporttraining auf die visuelle Aufmerksamkeit, gemessen durch den Visual Search Task“ ausschließlich in dieser Promotionsschrift 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 Promotionsschrift, 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 Neurobildung 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.

Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit erfolgten auf der gesetzlichen Grundlage der revidierten Deklaration von Helsinki des Weltärztebundes (1983).

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 eine Auflistung der angewendeten Ein- und Ausschlusskriterien (Tab. 2 und Tab. 3) für die Probandenauswahl:

Tab. 2: Übersicht über die Einschlusskriterien 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

Tab. 3: Übersicht über die Ausschlusskriterien dieser Studie**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 ≥ 160 mmHg systolisch oder ≥ 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 insbesondere 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 4 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 $M \pm SD$: 24,13 \pm 4,12 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 3). 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. 1994) 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 wiesen eine auffälligen M.I.N.I. auf. Laut Edinburgh Handedness Inventory (EHI (Oldfield 1997) waren alle eingeschlossenen ProbandInnen Rechtshänder (mean laterality quotient, Sportler: $74,48 \pm 16,82$, Kontrollgruppe: $79,5 \pm 13,26$). Des Weiteren wurde die durchschnittliche verbale Intelligenz mittels Wortschatztest (WST) (Schmidt und Metzler 1992) ermittelt (Sportler: $107 \pm 9,64$, Kontrollgruppe: $107,3 \pm 8,81$).

Tab. 4: 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 Regularien 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) (Abb. 6).

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 2 Wochen durchgeführt.

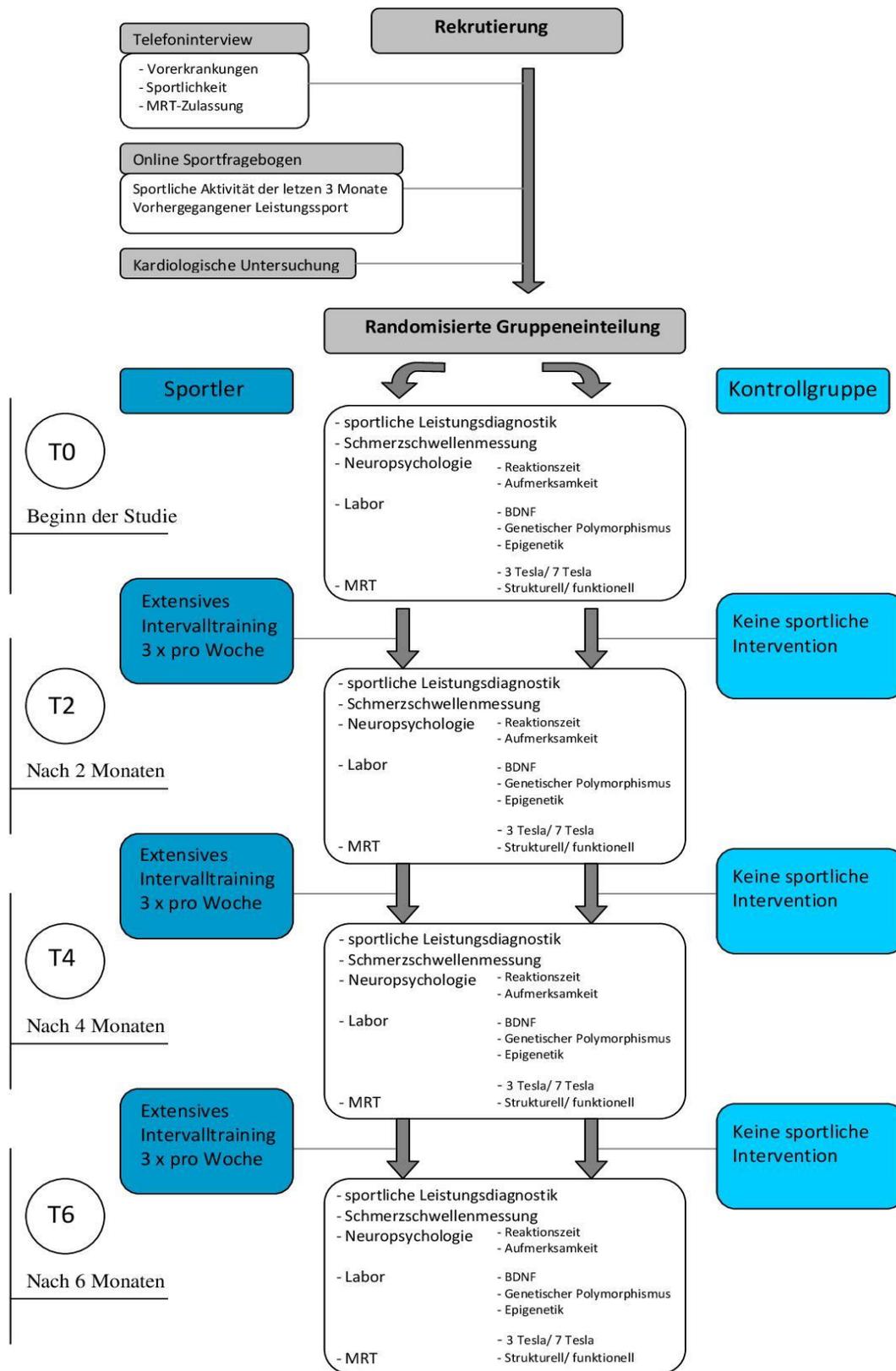


Abb. 6: Schematische Darstellung des Studienablaufs

2.3 Leistungsdiagnostik

Um die individuelle Leistungsfähigkeit der ProbandInnenen 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) und eine Körperfettbestimmung (Womersley et al. 1976) 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 eines Spirometers (Cortex, Metalyser 3B, Deutschland) gemessen. Protokolliert wurden die Parameter durch die Software Metastudio (Cortex, Deutschland).

Unmittelbar vor Beginn der Leistungsdiagnostik wurde die Lungenfunktion 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 2 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.

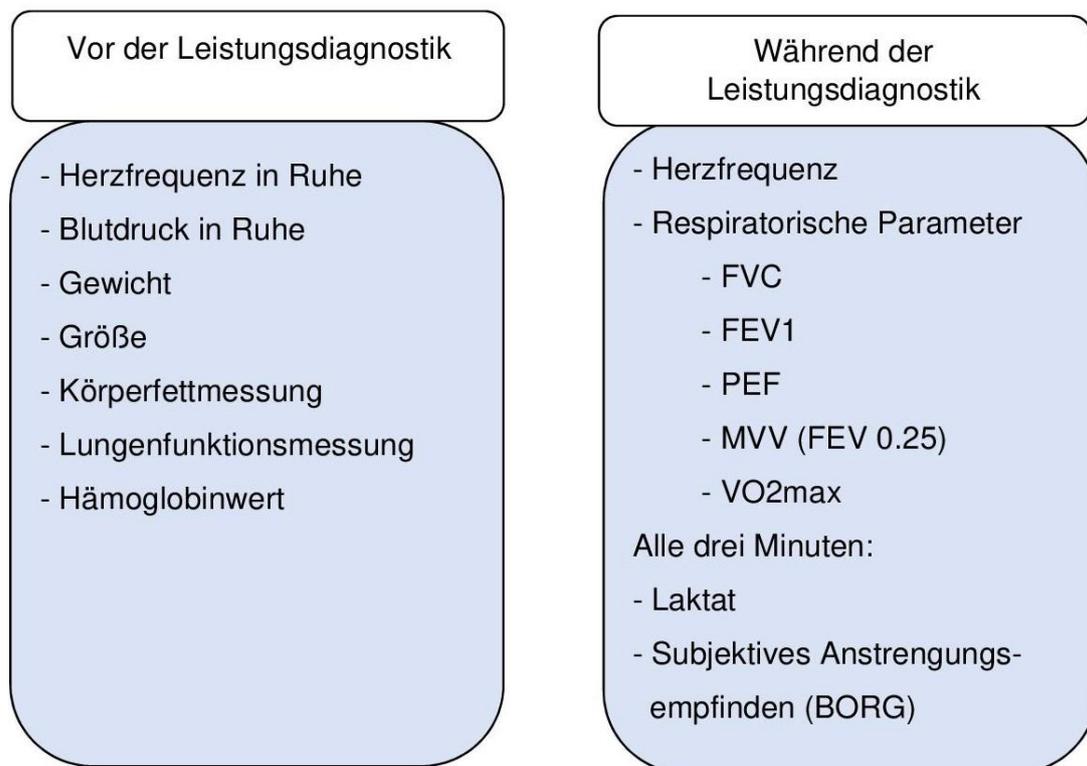


Abb. 7: Werteerhebung Leistungsdiagnostik

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 VO2max-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 respiratorischer Parameter wurde der $VO_2\text{max}$ ($VO_2\text{peak}$) ermittelt. $VO_2\text{max}$ ist definiert als die höchst mögliche Sauerstoffmenge, welche unter maximaler körperlicher Belastung aufgenommen werden kann (Meyer und Kermann 1999; Maier et al. 2016). Diesem Wert wird in der Sportphysiologie ein hoher Stellenwert zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit im Ausdauersport beigemessen, weswegen er auch in dieser Arbeit zur Messung des sportlichen Profits herangezogen wurde. Da jedoch vermutet wird, dass der $VO_2\text{max}$ Wert durch genetische Faktoren beeinflusst wird, welche sich weniger ausgeprägt durch sportliche Betätigung modifizieren lassen, wurde eine weitere Kenngröße ergänzend herangezogen (Maier et al. 2016). Die im Rahmen des Laktatstufentests gemessene anaerobe Schwelle beschreibt den Moment der maximalen Auslastung des Körpers in welchem sich die Produktion und Elimination von Laktat noch die Waage halten. In diesem Zusammenhang wird auch vom Laktat-Steady-State gesprochen, bevor es zu einem sprunghaften Anstieg kommt. Die anaerobe Schwelle entspricht somit der Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der maximalen Belastung [km/h] und

wird in dieser Arbeit als d_{max_v} [km/h] bezeichnet. Sie ermöglicht eine Messung der maximal möglichen Leistung speziell auch unter dem Einfluss regelmäßiger sportlicher Intervention (Clénin 2019). Im Rahmen dieser Arbeit wurden VO_{2max} und d_{max_v} als Bezugsgröße zur Analyse der Neuropsychologischen Testergebnisse genutzt.

2.4 Intervention

Die 6-monatige Sportintervention umfasste 3 individualisierte Trainingseinheiten pro Woche. 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. 8).

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.

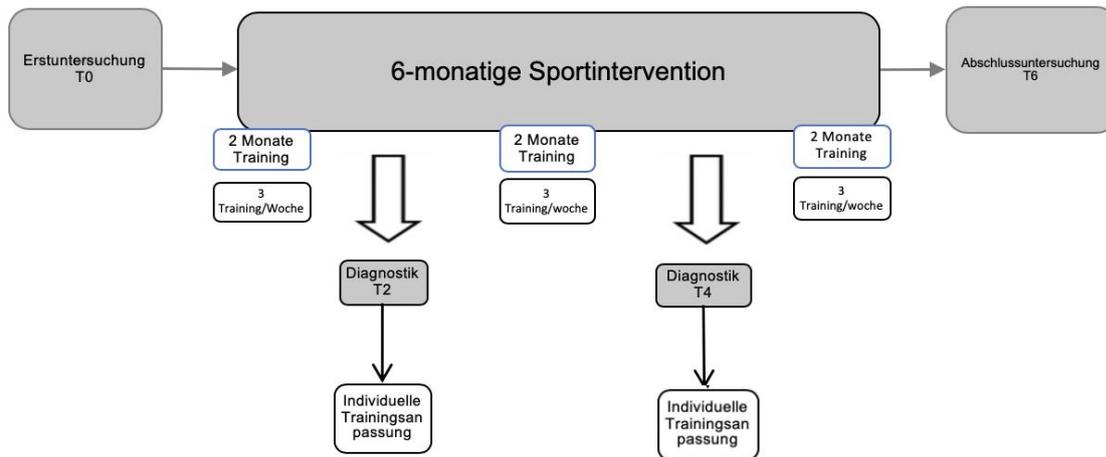


Abb. 8: Trainingsablauf der Studie

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 (2 und 4 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 dem Visual Search Task. Dieser wurde ebenfalls zu den Zeitpunkten T0, T2, T4 und T6 erhoben und war eingebettet in eine Batterie von neuropsychologischen Tests. Die Reihenfolge der Tests (Tab. 5: Aufzählung neuropsychologische Testbatterie) war zu allen Zeitpunkten gleich und wie folgt:

Tab. 5: 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 24h vorher keinen Alkohol oder Schmerzmittel einnahmen bzw. 72h vorher keine psychotropen Substanzen (z.B. Cannabis) konsumieren durften. Außerdem wurden die Probanden instruiert, dass keine physisch oder psychisch anstrengenden Aktivitäten unmittelbar vor der Testung erfolgen durften. Dieses wurde mithilfe eines angefertigten Vorabfragebogens überprüft (Abb. 9).

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 (Abb. 10).

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

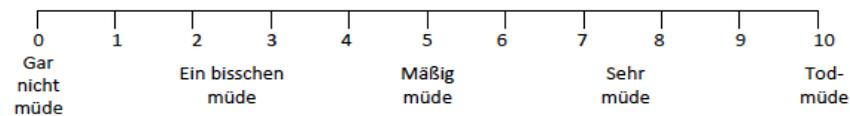
Falls ja: Was? _____

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. 9: Vorabfragebogen zur Überprüfung der Probanden vor den neuropsychologischen Testungen.



Abb. 10: Beispielhafte Darstellung eines Probanden bei der Testung

2.6 Test Visual Search

In dieser Studie kamen zwei Arten des Visual Search Task zur Anwendung. Task 1 entspricht keinem typischen Conjunction Search Task, erfüllt aber die Voraussetzungen einer seriellen Suche (Vergleiche den Testaufbau von Theeuwes und Kollegen (Theeuwes et al. 1998)) und wird im Rahmen dieser Arbeit als Conjunction Search Task aufgeführt. Bei dem zweiten Test (Task 2) handelte es sich um einen Preview Search Task, der ansonsten den gleichen Gegebenheiten unterlag.

Die Probanden wurden dazu aufgefordert, den gesuchten Zielstimulus „Z“ oder „N“ zwischen einer variierenden Menge von Distraktoren (Buchstaben „H“, „I“, „V“ und „X“) ausfindig zu machen und entsprechend zu identifizieren. In jedem Set befand sich jeweils nur einer der beiden Zielstimuli „Z“ oder „N“. Es bestand die Anweisung, unmittelbar nach Detektion des Zielreizes eine jeweils festgelegte Taste der Computertastatur zu drücken, die ebenfalls mit den Buchstaben „Z“ und „N“ markiert waren. Ein Test bestand aus 245 Durchläufen mit ansteigender Distraktorenmenge. Pro Displaygröße (4, 8, 12, 16, 24, 32, 48) erfolgten 35 Durchgänge. Die Buchstaben, die nach dem Zufallsprinzip in konzentrischen Ringen angeordnet erschienen, waren von gleicher Größe und Farbe und

unterschieden sich daher nur in den Punkten Form und Orientierung. Durch die uneinheitlichen Distraktoren und die Tatsache, dass nicht eines dieser beiden Merkmale alleine, sondern erst die Kombination die Identifizierung des Zielstimulus als „Z“ oder „N“ ermöglicht, basiert dieser Suchprozess auf dem Prinzip der seriellen Suche (Treisman und Gelade 1980; Theeuwes et al. 1998).

Während in Task 1 alle Reize gleichzeitig erschienen, wurde den Probanden in Task 2, einem Preview Search Task, zuerst ein Preview Display mit nur der Hälfte der Distraktoren präsentiert, der nach 1000ms um die zweite Hälfte an Stimuli inklusive dem Zielstimulus ergänzt wurde. Auch in diesem Task stieg die Anzahl der Störreize nach oben genanntem Schema an.

Matlab unterschied bei Eingabe der Probanden zwischen „gültig“ und „ungültig“. Als „ungültig“ wurden Durchläufe gewertet, bei denen entweder die Entscheidung zwischen „N“ oder „Z“ falsch getroffen wurde oder die Reaktionszeit mit 100ms zu schnell oder mit $2,35+SD$ des Medians zu langsam war (Pflueger und Gschwandtner 2003). Als „gültig“ zählten nur solche Trials, bei denen die Wahl sowohl auf den richtigen Buchstaben fiel als auch die Reaktionszeit in besagtem Rahmen lag. Als „falsch“ gewertet und in die Fehlerrate mitaufgenommen wurden ausschließlich solche Ergebnisse, bei denen Probanden sich für den falschen Buchstaben entschieden. Zu früh oder zu spät getroffene Entscheidungen wurden nicht als Fehler gewertet.

Die Daten wurden auf die folgenden Fragestellungen hin untersucht:

1. Welchen Einfluss nimmt die Distraktorenmenge auf die Reaktionszeiten?
2. Kommt es zu einer Veränderung der Reaktionszeiten über die vier Messzeitpunkte hinweg?
3. Kommt es zu einer Veränderung der Anzahl an Fehlern pro Durchlauf über die vier Messzeitpunkte hinweg?
4. Besteht zwischen den Differenzen der $VO_2\text{max}$ -Werte, der Reaktionszeiten und der Fehlerrate eine Korrelation?
5. Unterscheiden sich die beiden Geschlechter hinsichtlich Ihrer Reaktionszeiten oder Fehlerraten beziehungsweise hinsichtlich ihrer Entwicklung während der Studienteilnahme.
6. Gibt es signifikante Unterschiede in den Reaktionszeiten und Fehlern zwischen den beiden Test?

2.7 Datenanalyse

Aufgrund invalider Ergebnisse bei zwei Probanden der Sportgruppe sowie eines Laufbanddefektes, der die Datenerhebung von drei Kontrollen beeinflusste, mussten insgesamt fünf unvollständige Datensätze aus der Auswertung der Fitnessparameter ausgeschlossen werden. Da die betroffenen Studienteilnehmer jedoch weiterhin alle nötigen Kriterien zur Auswertung ihrer neuropsychologischen Testdurchläufe erfüllten, konnten ihre Ergebnisse des Visual Search Tasks uneingeschränkt miteingeschlossen werden. Somit flossen 17 vollständige Datensätze der Sportgruppe und sieben der Kontrollgruppe in die Berechnungen der Sportparameter mit ein. Die Analyse der Werte des Visual Search Tasks erfolgte mit den Messungen aller 19 Sportler und 10 Kontrollen. In die Berechnungen der Reaktionszeiten und Fehlerraten flossen die Mittelwerte aller 245 Durchläufe ein.

Die erste Verarbeitung der Daten des Visual Search Tasks erfolgte mittels Matlab (Version 2018 1.2; The MathWorks Inc.; Natick, Massachusetts, USA). Die Analyse aller Daten wurde mittels SPSS Statistics (Version 25; IBM; Armonk, New York, USA) durchgeführt.

Die Daten einer jeden Kategorie wurden zu Beginn mittels Boxplot-Analyse auf Ausreißer untersucht. Auffällige Werte wurden sorgfältig geprüft und konnten belassen werden, da sie sich im Rahmen des Möglichen befanden.

Bis auf die Werte der maximalen Herzfrequenz verhielten sich die gemessenen Daten nicht normalverteilt (Shapiro und Wilk 1965), weswegen die statistische Auswertung mittels nichtparametrischer Verfahren erfolgte. Zu Gunsten einer einheitlichen Berechnungsform wurde auch die Analyse der HFmax nichtparametrisch durchgeführt.

Nach Durchführung der deskriptiven Statistik erfolgte für jeden Parameter ein Vergleich der beiden Gruppen mittels Mann-Whitney-U-Test (Mann und Whitney 1947) für jeden der vier Messzeitpunkte um mögliche Unterschiede zwischen den beiden Gruppen, spezielle zu Beginn der Studie zu detektieren.

Zur Untersuchung der Parameter im Verlauf der Studie erfolgte eine nach Gruppen getrennte Berechnung mittels Friedman-Test (Friedman 1937). Signifikante Ergebnisse wurden in einer Post-hoc-Analyse durch den Dunn-Bonferroni-Test (Dunn 1961) weiter untersucht. Um den Einfluss der Gruppenzugehörigkeit auf die Veränderung der Werte zu untersuchen, wurde erneut ein Mann-Whitney-U-Test für die Differenzen der einzelnen Messzeitpunkte durchgeführt.

Zur weiteren Untersuchung auf mögliche Zusammenhänge wurde eine nicht parametrische Korrelationsanalyse der Differenzen der Reaktionszeiten, Fehlerraten, VO₂max- und dmax_v-Werte zwischen den Zeitpunkten nach Spearman durchgeführt (Spearman 1904).

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse werden im Folgenden in zwei Absätzen präsentiert. Der erste befasst sich mit der Auswertung der physiologischen Daten, um den Effekt des regelmäßigen Lauftrainings in der hier untersuchten Kohorte zum Visual Search Task zu bestätigen. Der zweite beinhaltet die Analyse der Parameter des Visual Search Tasks und die Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen der individuellen aeroben Kapazität (relVO_2max) und der Leistungen in der gestellten Suchaufgabe. Letzterer wird hierbei auch auf seine Unterschiede hinsichtlich des Geschlechts untersucht.

3.1 Körperliche Leistungsdiagnostik

Ruheherzfrequenz und maximale Herzfrequenz

Der durchschnittliche Ruhepuls der Kontrollgruppe zeigte sich im Vergleich von T0 zu T6 nahezu unverändert ($p = 0,545$). Innerhalb der Sportgruppe ließ sich eine statistisch nicht signifikante, abnehmende Tendenz von $80,12 \pm 14,1 \text{ min}^{-1}$ auf $74,35 \pm 13,1 \text{ min}^{-1}$ feststellen ($p = 0,604$). Zu keinem der vier Zeitpunkte gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Testgruppen (Exemplarisch der Gruppenvergleich zu T6: $p = 0,873$).

Alle ProbandInnen erreichten im Rahmen der Fitnesschecks durchschnittliche Herzraten im Bereich der zu erwartenden HFmax von 185- 202 Schlägen/Minute. In keiner der Messungen war ein Unterschied zwischen den Gruppen zu finden (exemplarisch der Gruppenvergleich zu T6 $p = 0,949$).

Tab. 6: Herzfrequenzen: Mittelwerte und Standardabweichung der Herzfrequenz in Ruhe (HF-Ruhe) [1/min] und der maximalen Herzfrequenz (HF-max) [1/min] zu den jeweiligen Messzeitpunkten

		T0	T2	T4	T6
Kontrolle	HF-Ruhe min⁻¹	73,14 ± 11,42	71,43 ± 11,36	80,57 ± 9,07	73,14 ± 13,99
	HF-max min⁻¹	199,29 ± 9,69	195,29 ± 9,43	197,29 ± 9,41	194,86 ± 11,45
Sport	HF-Ruhe min⁻¹	80,12 ± 14,1	77,17 ± 9,1	73,65 ± 11,18	74,35 ± 13,09
	HF-max min⁻¹	199,35 ± 6,29	191,88 ± 6,42	194,24 ± 6,48	195,41 ± 7,48

Auswertung der Parameter rel.VO₂max und Dmax_v [km/h]

Zu Beginn der Studie gab es zwischen den beiden Gruppen keinen statistisch signifikanten Unterschied der relVO₂max- [ml O₂/kg/min] ($p = .567$) oder dmax_v-Werte [km/h] ($p = .664$). Während es in der Kontrollgruppe im zeitlichen Verlauf zu keiner bedeutsamen Veränderung der Parameter kam, führte die regelmäßige sportliche Intervention zu einer signifikanten Steigerung der Fitness in der Sportgruppe. Die relVO₂max-Werte stiegen von $38,94 \pm 4,86$ O₂/kg/min auf $42,94 \pm 5,92$ O₂/kg/min ($p < .0005$), die von dmax_v von $9,06 \pm 1,75$ [km/h] auf $10,29 \pm 1,75$ [km/h] ($p < .0005$). Die Untersuchung mittels Mann-Whitney-U ergaben bei beiden Parametern einen klaren Zusammenhang der Verbesserung der körperlichen Fitness mit der Gruppenzugehörigkeit (siehe Abb. 11 und Abb. 12).

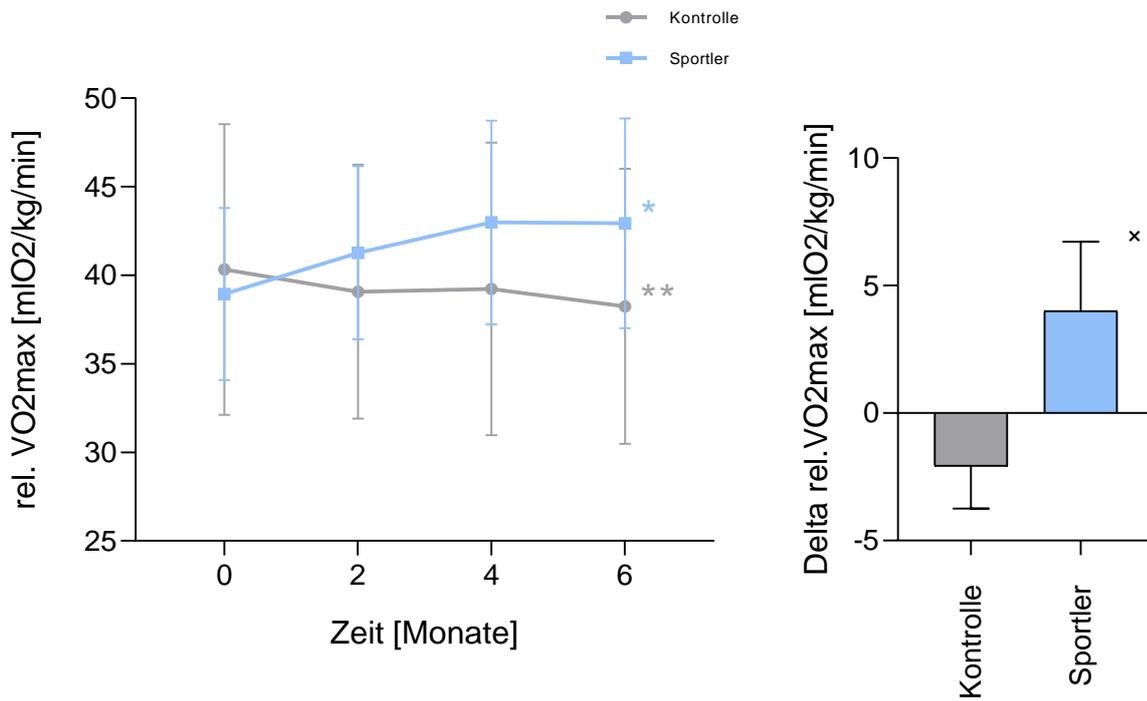


Abb. 11: Verlauf der VO₂max-Werte: Links: Mittelwerte mit Standardabweichung relVO₂max [ml O₂/kg/min]. Signifikanz der Friedman-Tests: * $p < 0,0005$, ** $p = 0,116$. Rechts: Differenzen der rel.VO₂max zwischen den Zeitpunkten T0 und T6. Signifikanz des Gruppenvergleichs mittels Mann-Whitney-U: $\times p < 0,0005$.

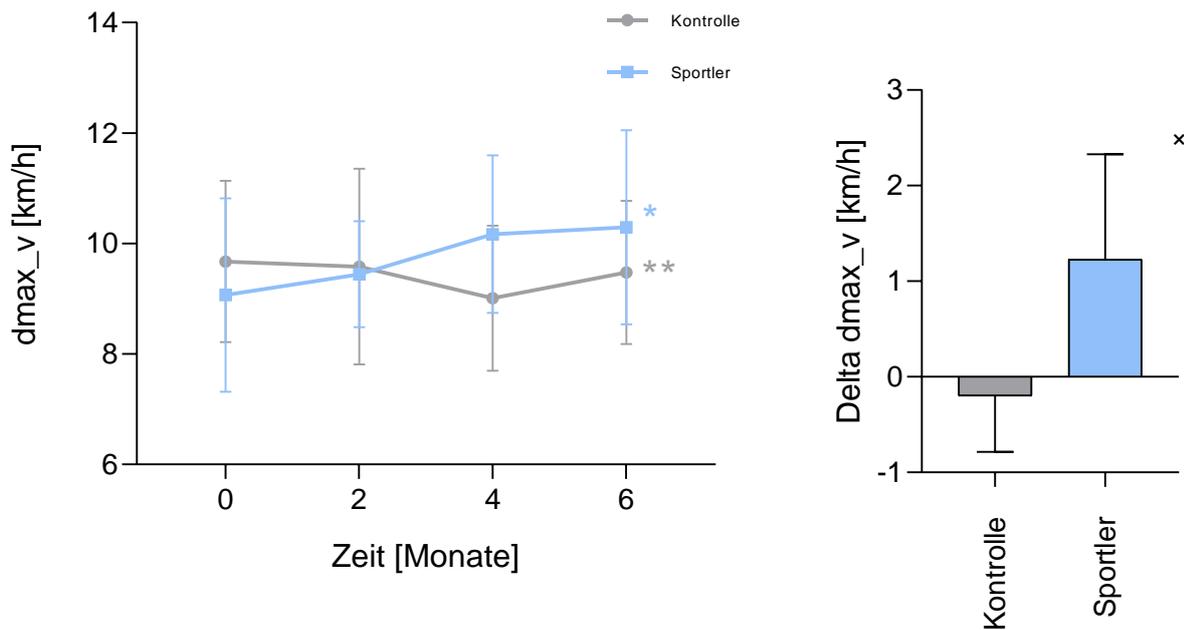


Abb. 12: Verlauf der d_{max_v} -Werte: Links: Mittelwerte mit Standardabweichung d_{max_v} [km/h]. Signifikanz der Friedman-Tests: * $p < 0,0005$, ** $p = 0,457$. Rechts: Differenzen der d_{max_v} zwischen den Zeitpunkten T0 und T6. Signifikanz des Gruppenvergleichs mittels Mann-Whitney-U: * $p = 0,001$

3.2 Visual Search Task

Reaktionszeiten bei steigender Distraktorenmenge

In beiden Visual Search Tasks erzielten die ProbandInnen in Durchläufen mit 4 Störreizen signifikant kürzere Reaktionszeiten als in solchen mit 48 (jeweils $p < 0,0005$). Die Gruppenzugehörigkeit, und damit die sportliche Intervention, nahm darauf keinen Einfluss. Dieser Effekt ließ sich zu allen vier Messzeitpunkten feststellen und wird im Folgenden aus Gründen der Übersichtlichkeit nur für den Messzeitpunkt T6 abgebildet.

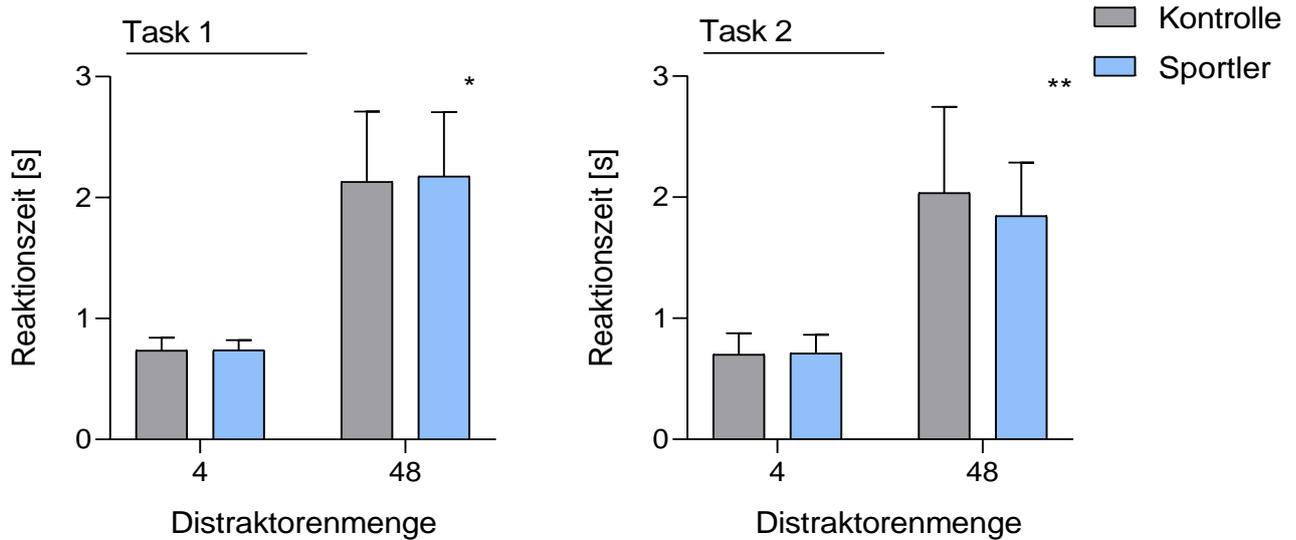


Abb. 13: Einfluss der Distraktorenmenge: Mittelwerte und Standardabweichung der Reaktionszeiten bei 4 und 48 Distraktoren zum Messzeitpunkt T6. Die Zunahme der Reaktionszeiten ließ sich in beiden Gruppen finden und zeigte sich im Gruppenvergleich nach Mann-Whitney-U unabhängig von der sportlichen Intervention - Task 1: * $p = 0,982$; Task 2: ** $p = 0,573$

Reaktionszeiten im zeitlichen Verlauf

Zum Zeitpunkt T0 gab es zwischen den beiden Gruppen keinen statistisch signifikanten Unterschied der Reaktionszeiten (Task 1: $p = 0,353$; Task2: $p = 0,542$). In beiden Tests kam zwischen der ersten und der letzten Messung sowohl bei den SportlerInnen als auch bei der Kontrolle zu einer signifikanten Verbesserung der Reaktionszeiten. Die post-hoc Analyse ergab bei den SportlerInnen bereits zwischen den ersten beiden Messzeitpunkten eine signifikante Verbesserung, die in der Kontrollgruppe nicht festzustellen war. Statistisch ließ sich kein Hinweis auf einen Zusammenhang der Verbesserung der Reaktionszeiten und der Gruppenzugehörigkeit finden.

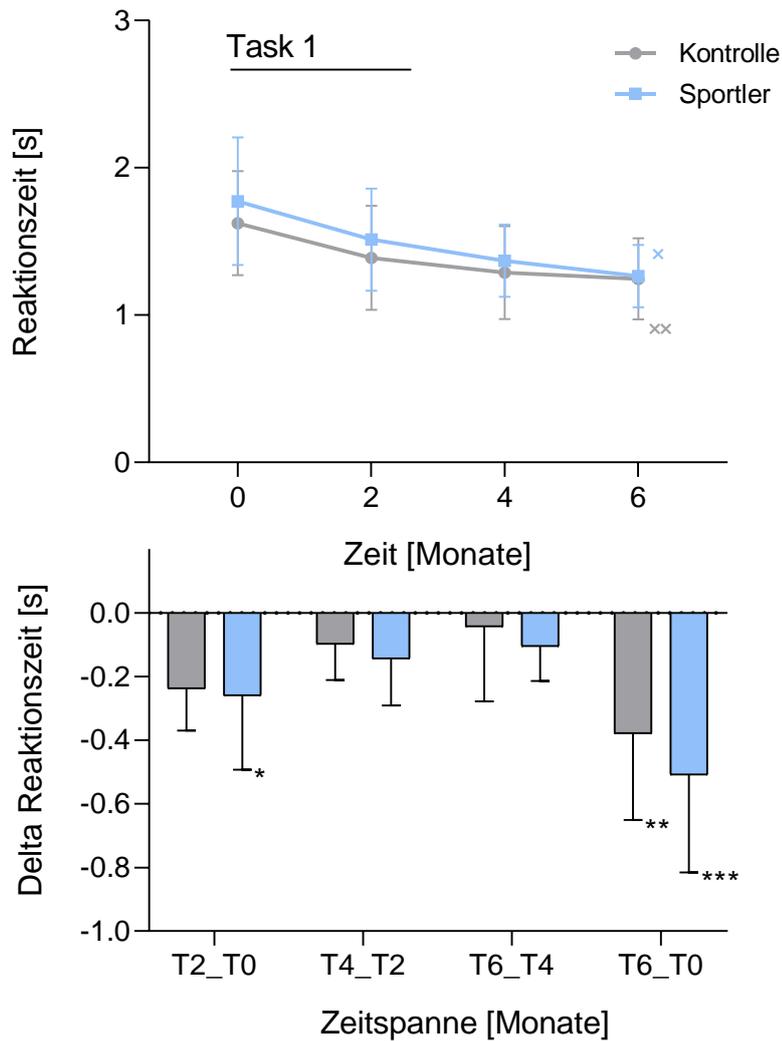


Abb. 14: Reaktionszeiten Test 1 im Verlauf: Oben: Mittelwerte der Reaktionszeiten mit Standardabweichung. Verbesserung über die 6 Monate ermittelt durch Friedman-Test: $\chi^2 p < 0,0005$; $^{**}p < 0,0005$. Gruppenvergleich mittels Mann-Whitney-U Test $p = 0,353$. Unten: Differenzen der Reaktionszeiten zwischen den einzelnen Messungen. Post-hoc-Analyse nach Bonferroni. $^*p = 0,034$; $^{**}p = 0,019$; $^{***}p < 0,0005$.

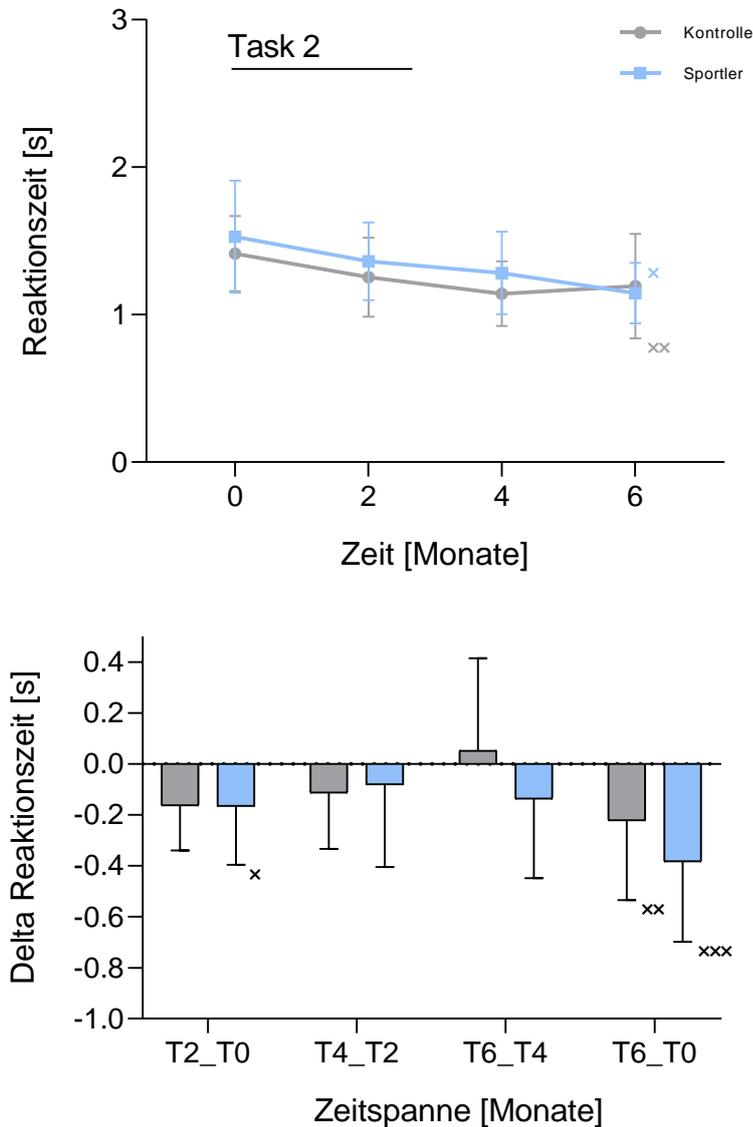


Abb. 15: Reaktionszeiten von Task 2 im Verlauf: Oben: Mittelwerte der Reaktionszeiten mit Standardabweichung. Sinkende Entwicklung des Parameters zwischen T0 und T6 im Friedman-Test: * $p = 0,002$; ** $p < 0,0005$. Gruppenvergleich mittels Mann-Whitney-U Test $p = 0,330$. Unten: Differenzen der Reaktionszeiten zwischen den einzelnen Messungen. Post-hoc-Analyse nach Bonferroni. * $p = 0,050$; ** $p < 0,0005$; *** $p < 0,006$.

Mit Ausnahme der letzten Messung erzielten die ProbandInnen der Kontrollgruppe schnellere Reaktionszeiten im Preview Search Task (Task 2) als im Conjunction Search Task (Task 1). In der Sportgruppe galt dies für die Zeitpunkte T0, T2 und T6. Der Unterschied zwischen den Reaktionszeiten war zu keinem der vier Zeitpunkte von der Gruppenzugehörigkeit der Probanden abhängig. Daher lässt sich kein Hinweis dafür

finden, dass die sportliche Intervention Einfluss auf die teils unterschiedlichen Reaktionszeiten der beiden Tasks nahm. Eine Zusammenstellung der Differenzen der Reaktionszeiten zwischen den beiden Tests sowie der Gruppenvergleich finden sich in Tab. 7.

Tab. 7: Testvergleich Reaktionszeiten: Mittelwerte und Standardabweichung der Differenzen der Reaktionszeiten [s] zwischen Task 1 und Task 2 zu den vier Messzeitpunkten getrennt nach Gruppe sowie die Signifikanz des Gruppenvergleichs.

	Delta RT [s] Task1_Task 2 T0	Delta RT [s] Task 1_Task 2 T2	Delta RT [s] Task 1_Taks 2 T4	Delta RT [s] Task 1_Task 2 T6
Sportler	-0,24±0,21	-0,15±0,15	-0,09±0,28	-0,12±0,16
Signifikanz der Differenz	0,000	0,000	0,126	0,007
Kontrolle	-0,21±0,18	-0,13±0,15	-0,15±0,22	-0,05±0,17
Signifikanz der Differenz	0,009	0,037	0,037	0,093
Signifikanz des Gruppenvergleichs	0,875	0,839	0,668	0,308

Während sich die TeilnehmerInnen der Kontrollgruppe in beiden Visual Search Tasks statistisch gesehen gleich stark verbesserten, verminderten sich die Reaktionszeiten der Sportgruppe in Task 1 im Verlauf der Studie signifikant stärker als in Task 2.

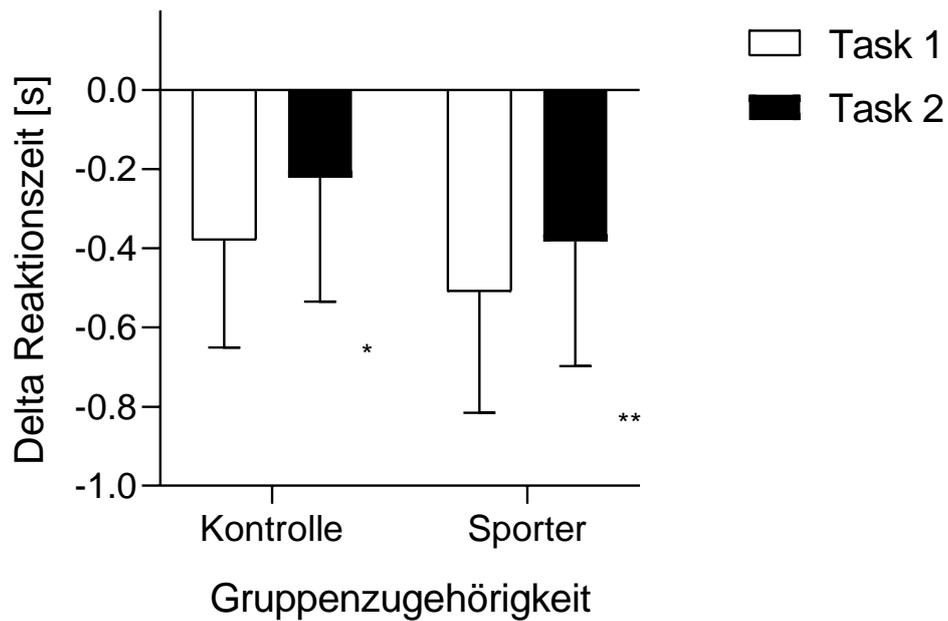


Abb. 16: Testvergleich Delta Reaktionszeiten: Delta der Reaktionszeiten zwischen T0 und T6 [s] von Task 1 und Task 2 getrennt nach Gruppe. Die Sportgruppe verbesserte sich signifikant stärker in Task 1 als in Task 2. * $p = 0,074$; ** $p = 0,027$.

Fehlerraten im zeitlichen Verlauf

Zum Zeitpunkt T0 gab es zwischen den beiden Gruppen keinen statistisch signifikanten Unterschied der Fehlerrate (Task 1 $p = 0,403$, Task 2 $p = 0,484$). Auch im zeitlichen Verlauf zeigte sich weder bei den SportlerInnen noch bei der Kontrollgruppe eine signifikante Veränderung zwischen den unterschiedlichen Messpunkten. Die Gruppenzugehörigkeit zeigte sich für die Entwicklung der Anzahl von Fehlern zwischen den Verläufen ebenfalls nicht von statistisch signifikanter Bedeutung (Delta_T6_T0: Task 1 $p = 0,946$, Task 2 $p = 0,926$).

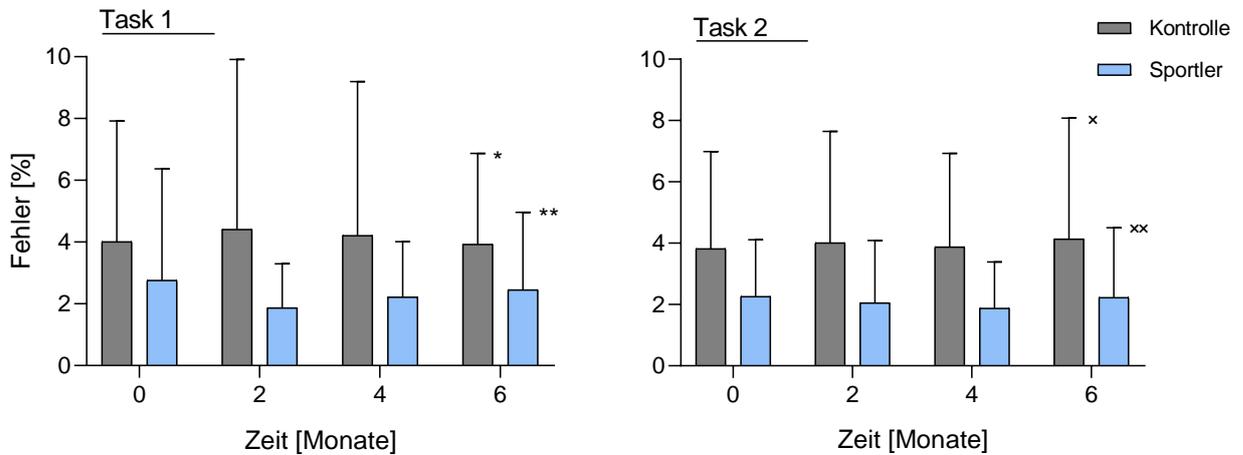


Abb. 17: Fehler im Verlauf: Fehler [%] zu den jeweiligen Zeitpunkten T0-T6. Entwicklung über die Zeit, berechnet mittels Friedman-Test * $p = 0,304$, ** $p = 0,997$, * $p = 0,816$, ** $p = 0,488$

Korrelationsanalyse

In den Rechnungen nach Spearman konnte keine signifikante Korrelation zwischen der Entwicklung der $VO_2\max$ -Werte, der Reaktionszeiten und der Fehlerraten festgestellt werden. Dies galt für Differenzen sämtlicher Zeitpunkte und ist in Tab. 8 beispielhaft für die Differenzen der Zeitpunkte T6 zu T0 aufgelistet. Eine graphische Darstellung der Korrelationen findet sich in Abb. 18 und Abb. 19.

Tab. 8: Korrelationsanalyse nach Spearman für die Werte Delta $relVO_2\max$ [ml $O_2/kg/min$], Delta Reaktionszeit [s] und Delta Fehlerrate [%] T6_T0.

T6_T0	Delta $VO_2\max$ – Delta RT p-Wert	Delta_ $VO_2\max$ – Delta Fehlerrate p-Wert
Task 1		
Sportler	0,918	0,400
Kontrolle	0,645	0,337
Task 2		
Sportler	0,374	0,066
Kontrolle	0,294	0,482

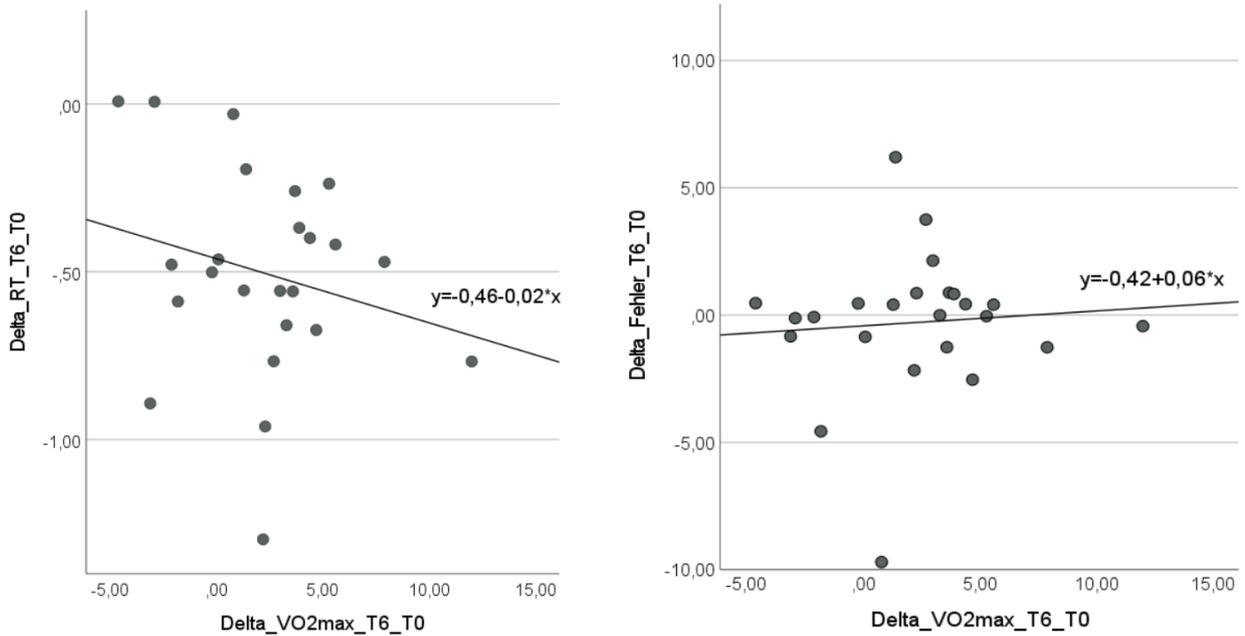


Abb. 18: Streudiagramme der Korrelationsanalysen für Test 1 für die Korrelation von Delta VO2max und Delta der Reaktionszeiten [s] (links) und Delta der Fehler [%] (rechts) zwischen den Zeitpunkten T6 und T0 mit Trendlinie.

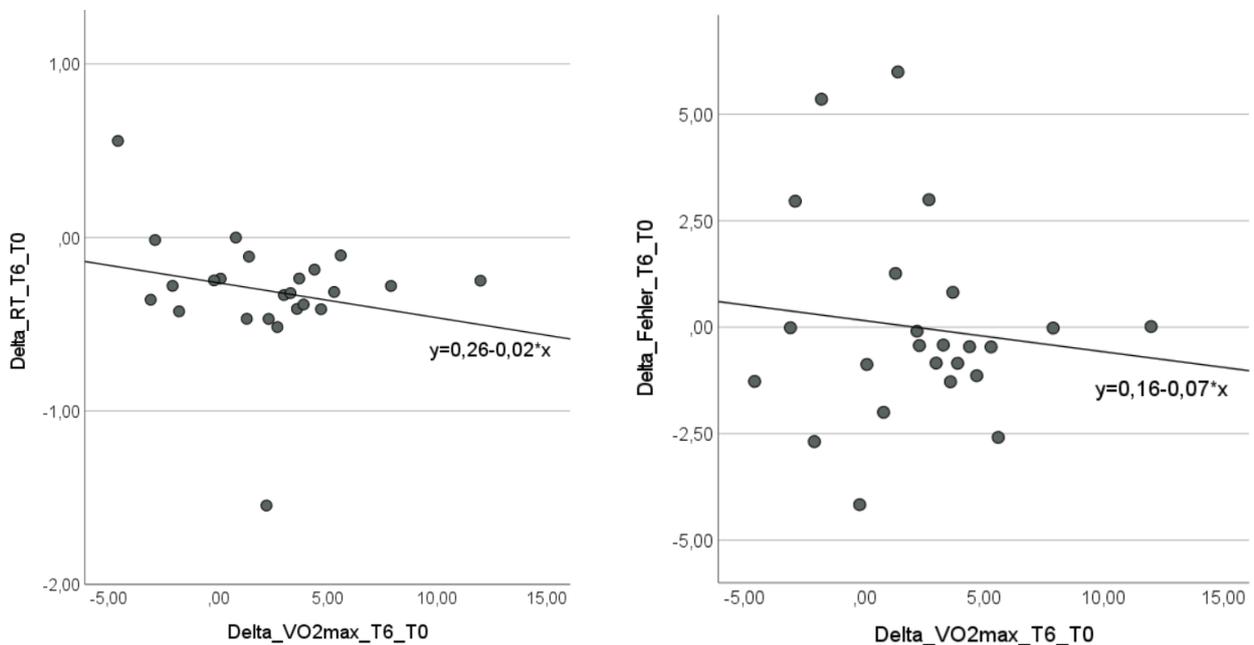


Abb. 19: Streudiagramme der Korrelationsanalysen für Test 2 für die Korrelation von Delta VO2max und Delta der Reaktionszeiten [s] (links) und Delta der Fehler [%] (rechts) zwischen den Zeitpunkten T6 und T0 mit Trendlinie.

Korrelationsanalyse Testvergleich

Die Analysen nach Spearman, welche die Deltas der Reaktionszeiten der beiden Tests mit den Deltas der Sportparameter T6_T0 in Korrelation setzten, ergaben die Tendenz fallender Reaktionszeiten mit zunehmenden VO₂max/Dmax_v-Werten für Task 1 und teilweise auch Task 2, auch wenn diese nicht signifikant waren (Tab. 8).

Tab. 9: Korrelationsanalyse Testvergleich: Analyse zwischen den Verbesserungen der Reaktionszeiten [s] im zeitlichen Verlaufe in Task 1 und Task 2 und der Steigerung (Delta) der relVO₂max- [ml O₂/kg/min] und Dmax_v [km/h]

		Delta_VO ₂ max 6_T0	Delta_Dmax_v T6_T0
„Sportler“			
Task01_RT_T6_T0	Korrelationskoeffizient	-0,27	-0,040
	Sig. (2-seitig)	0,918	0,870
Task02_RT_T6_T0	Korrelationskoeffizient	0,26	-0,098
	Sig. (2-seitig)	0,314	0,689
„Kontrolle“			
Task01_RT_T6_T0	Korrelationskoeffizient	-0,079	-0,188
	Sig. (2-seitig)	0,829	0,603
Task02_RT_T6_T0	Korrelationskoeffizient	-0,127	-0,491
	Sig. (2-seitig)	0,726	0,150

Einfluss des Geschlechts

In beiden Gruppen gab es zwischen Frauen und Männern keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich des Alters (Sportler: $p = 0,738$; Kontrolle: $p = 0,738$). In der Kontrollgruppe ließ sich kein Unterschied zwischen den Reaktionszeiten von weiblichen und männlichen ProbandInnen finden. Die Frauen der Sportgruppe zeigten hingegen bereits zu Beginn der Studie signifikant schnellere Reaktionszeit als ihre männlichen Kollegen.

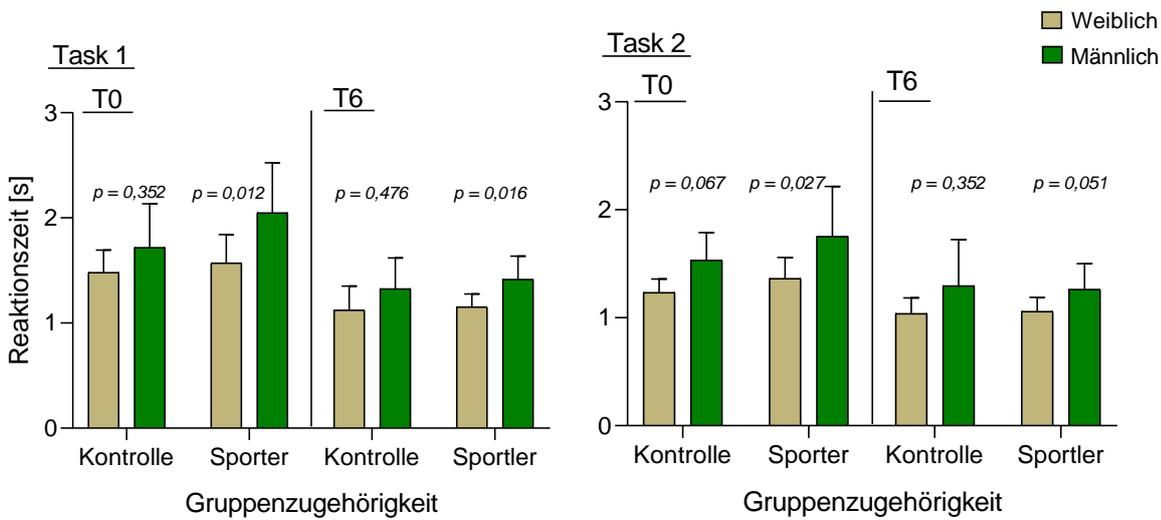


Abb. 20: Geschlechtervergleich: Mittelwerte und Standardabweichung der Reaktionszeiten [s] getrennt nach Gruppe und Geschlecht. Zusätzlich angegeben ist die Signifikanz des Mann-Whitney-U Test bezüglich des Unterschiedes zwischen beiden Geschlechtern.

Auf die Verbesserung der Reaktion zwischen den Messzeitpunkten schien das Geschlecht keinen Einfluss zu nehmen. Frauen und Männer verbesserten sich in beiden Gruppen ohne einen statistisch signifikanten Unterschied (Tab. 10)

Tab. 10: Einfluss des Geschlechts auf die Verbesserung der Reaktionszeiten [s] (Deltas) aufgeteilt nach Gruppe.

	Delta T6_T0 Task 1		Delta T6_T0 Task 2	
	Kontrolle	Sportler	Kontrolle	Sportler
p-Wert	0,941	0,177	0,171	0,395

4. Diskussion

Die Auswertungen der Herzfrequenzen konnten zeigen, dass die ProbandInnen sich vor den Fitnesschecks in körperlicher Ruhe befanden und während der Messung der Parameter $relVO_2max$ [$mlO_2/kg/min$] und $dmax_v$ [km/h] an ihre körperlichen Grenzen gingen. Der VO_2max -Wert ist ein etablierter Parameter zur Leistungsbestimmung bei AusdauersportlerInnen. Um trotz einer möglichen, in der Literatur beschriebenen, Plateauphase der VO_2max -Werte die sportliche Leistungszunahme bis zum Ende der Datenerhebung darstellen zu können, wurde die Auswertung um den Parameter $Dmax_v$ [km/h] erweitert, der im Rahmen unserer Messungen keine Plateauphase erreichte (Maier et al. 2016; Clénin 2019). Hierdurch ist eine objektive Darstellung des sportlichen Zugewinns als Folge der regelmäßigen Interventionen gegeben, was die Untersuchung der Ergebnisse des Visual Search Tasks auf mögliche Zusammenhänge mit dem Fitnesslevel erlaubt.

Durch die regelmäßige Durchführung des BDI, der als neuropsychologischer Screening-Test genutzt wurde, konnte zudem nachgewiesen werden, dass die Ergebnisse der ProbandInnenen der finalen Gruppe nicht durch das Vorliegen psychischer Erkrankungen wie etwa Depressionen verfälscht wurden (Zuckerman et al. 2018; Wagner 2016).

Wie zu erwarten, kam es mit steigender Anzahl der Distraktoren in beiden Visual Search Tasks zu einer signifikanten Verlängerung der Reaktionszeiten. Dies ist auf den fehlenden Pop-out-Effekt bei Search Tasks mit serieller Suche, wie sie in dieser Studie zum Einsatz kamen, zurückzuführen und steht mit der bisherigen Studienlage im Einklang (Treisman und Gelade 1980). Während bisherige Untersuchungen verkürzte Reaktionszeiten bei einer Suche mit wenigen Distraktoren unmittelbar nach einer sportlichen Intervention auf dem Laufband feststellen konnten (Aks 1998), ließ sich im Rahmen dieser Studie kein Hinweis darauf finden, dass regelmäßiges Training die Fokussierung selbst bei wenigen Störreizen beeinflusst. Dies spricht dafür, dass akute und chronische körperliche Betätigung auf unterschiedliche Weise Einfluss auf die Aufmerksamkeitsverteilung nehmen und der von Aks beschriebene positive Effekt auf die interne Aufmerksamkeitssteuerung nur direkt nach der Intervention zum Tragen kommt, jedoch keine längerfristigen Auswirkungen hat.

Die Reaktionszeiten während des Preview Search Task waren in der Mehrheit signifikant besser als die des einfachen Conjunction Search Tasks, was sich auf den Marking-Effekt unter Preview-Bedingungen zurückführen lässt. Auch hier kam es zu einer signifikanten Zunahme der Reaktionszeiten mit steigender Anzahl der Störreize. Auf den ersten Blick scheint dies verwunderlich, gilt die visuelle Suche, der eine Auswahl an Distraktoren vorangeht, allgemein hin als effizienter. Es wurden sogar Tendenzen verzeichnet, in denen sich die Reaktionszeiten eines Preview Task trotz der komplexen Anforderungen der seriellen Suche bei Zunahme der Störfaktoren wie ein Feature Search Task verhielten (Olivers et al. 2006). Bei genauerer Betrachtung ist jedoch eine mögliche Erklärung zu finden, weswegen dieser Effekt in der vorliegenden Arbeit nicht gezeigt werden konnte. Den beschriebenen Kurvenverläufen liegen Untersuchungen zu Grunde, in denen nach Ausblendung der Preview-Distraktoren eine parallele Suche durchzuführen war. In dem Task der vorliegenden Datenerhebung folgten die Suchbedingungen auch bei erfolgreichem Ausblenden des ersten Buchstabensets dem Prinzip der seriellen Suche. Die Reaktionszeit hing auch wesentlich von der Anzahl der später präsentierten Distraktoren ab, die ebenfalls im Verlauf anstieg.

Im Zentrum dieser Arbeit stand die Auswertung der Reaktionszeiten sowie der Fehlerraten der Visual Search Tasks, da sie Einflüsse auf die visuelle Aufmerksamkeit messbar machen. Obgleich sich die Reaktionszeiten über den Zeitraum der 6 Monate verbesserten, gab es keine Hinweise darauf, dass dies durch den Einfluss körperlicher Fitnesssteigerung geschah. Ähnliche Ergebnisse fanden sich auch bei den Untersuchungen von Kamijo und KollegInnen, bei denen sportliche Kinder ebenfalls keine signifikant schnelleren Reaktionszeiten zeigten als weniger sportliche (Kamijo et al. 2016). Auch die an SeniorInnen erhobenen Messungen von Kramer und KollegInnen stehen mit denen der vorliegenden Arbeit im Einklang (Fisk und Rogers 2001). Anders verhält es sich bei der Betrachtung der akuten Auswirkungen sportlichen Trainings, das durchaus positiven Einfluss auf die Reaktionszeiten des Test zu nehmen scheint (Aks 1998). Dies spricht dafür, dass die kognitiven Prozesse der visuellen Aufmerksamkeit zwar durch eine generelle Erregung des zentralen Nervensystems mit vermehrter Ausschüttung von Katecholaminen unmittelbar nach dem Sport vereinfacht werden (McMorris und Graydon 1997; Tomporowski und Ellis 1986), die neurophysiologischen Veränderungen durch

regelmäßiges Training jedoch keinen direkten Einfluss auf diesen Bereich der Kognition nehmen.

Dass es dennoch in beiden Gruppen zu einer Verbesserung der Reaktionszeiten kam, lässt sich vermutlich eher auf den bereits bekannten Wiederholungseffekt des Visual Search Task zurückführen (Clark et al. 2015; Sireteanu und Rettenbach 1995). Zu dieser Vermutung passt auch die Fehlerrate, die sich in beiden Tests unabhängig von der Gruppe und dem Messzeitpunkt konstant hielt, da auch diese von dem beschriebenen Wiederholungseffekt unbeeinflusst bleiben würde (Sireteanu und Rettenbach 1995), während bei Untersuchungen nach unmittelbar absolvierten Sporteinheiten signifikant weniger Fehler gefunden werden konnte (Aks 1998).

Dass die Anzahl der Fehler sich nicht von den Trainingseinheiten beeinflussen ließ, steht entgegen der Erwartung durch bisherige Forschungen. Zumindest bei Kindern konnte festgestellt werden, dass sportliche Jungen und Mädchen weniger Fehler zu machen scheinen als unsportliche (Kamijo et al. 2016). Die Unterteilung innerhalb der genannten Studie erfolgte jedoch anhand der Auswertung nur eines Messdurchlaufes und erlaubt keine Rückschlüsse auf weitere beeinflussende Parameter wie Motivation, IQ oder generelle körperliche Verfassung. Der Frage, ob dieser Effekt bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen tatsächlich festzustellen ist, muss daher in Zukunft durch weitere Datenerhebungen in randomisierten kontrollierten Sportinterventionsstudien wie der unsrigen nachgegangen werden, insbesondere auch, weil die Erkenntnisse der genannten KollegInnen auf einer kleinen Stichprobengröße von nur 32 ProbandInnen beruhen.

Durch einen Vergleich der Altersstruktur der weiblichen und männlichen ProbandInnen wurde sichergestellt, dass die gefundenen Abweichungen in den Ergebnissen tatsächlich auf das Geschlecht und nicht auf altersabhängige Leistungsunterschiede zurückzuführen sind. Beide Geschlechter wiesen keinen relevanten Altersunterschied auf und sind dem „jungen Erwachsenenalter“ zuzuordnen. Damit sind die gefundenen Unterschiede bei den Reaktionszeiten und Fehlerquoten als geschlechtsspezifische Abweichungen zu interpretieren.

Anders als in der Literatur bislang zu finden, erwiesen sich die Frauen in beiden Search Tasks den Männern in Bezug auf die Reaktionszeiten überlegen. Dies ließ sich jedoch nur innerhalb der Sportgruppe feststellen, wobei kein Zusammenhang mit der sportlichen Intervention selbst gefunden werden konnte. Zwar zeigten auch die Frauen der Kontrollgruppe in der Tendenz schnellere Reaktionszeiten als ihre männlichen Kollegen, diese war jedoch statistisch nicht signifikant. Dies steht im Kontrast zu den Ergebnissen der Untersuchung von Stoet, der entgegen der evolutionsgeschichtlichen Erwartung einen schnelleren Sucherfolg bei Männern verzeichnen konnte (Stoet 2011). Der von ihm ebenfalls beschriebene Trend einer höheren Genauigkeit bei männlichen Probanden ließ sich in den Daten der vorliegenden Untersuchung ebenfalls nicht erkennen. Frauen und Männer unterschieden sich in keiner der beiden Gruppen hinsichtlich ihrer Fehlerhäufigkeit. Da in der Literatur allerdings Hinweise darauf zu finden sind, dass Frauen in Abhängigkeit ihrer Beschwerdesymptomatik kurz vor Beginn der Periode (Prämenstruelles Syndrom) eine signifikante Leistungsdifferenz bezüglich der Reaktionszeiten bei der visuellen Suche aufweisen, müssen die genannten Ergebnisse dahingehend kritisch hinterfragt werden, da sie diese Unterscheidung innerhalb der Gruppe „Frauen“ nicht widerspiegeln. Dadurch könnten potenzielle Abweichungen verschleiert sein, die wesentliche Erkenntnisse über die zu Grunde liegenden Ergebnisdifferenzen von Männern und Frauen liefern könnten.

Bei der Auswertung der Ergebnisse im Rahmen dieser Studie ist hervorzuheben, dass sich die Reaktionszeiten der SportlerInnen im Verlauf von T0 zu T6 in Task01 signifikant stärker verbesserten als dies im Preview Task der Fall war. Es zeigte sich zudem eine leichte Tendenz sinkender Reaktionszeiten bei steigenden VO₂max-Werten, auch wenn diese nicht signifikant war. Diese Erkenntnis kann als möglicher Hinweis darauf gewertet werden, dass die sportliche Betätigung sich doch positiv auf die visuelle Suche unter schwierigen Bedingungen auswirken könnte (während der Marking-Effekt weniger stark beeinflusst wird). Dies ist besonders deshalb interessant, da sich diese Beobachtung mit bisherigen Erkenntnissen aus der Literatur in Verbindung bringen lässt. Takeda und KollegInnen stellten nach Auswertung der PLV ihrer ProbandInnen die Hypothese auf, dass aerobe Fitnessleistung in positivem Zusammenhang mit einer Verbesserung des Top-down-Effektes bei Conjunction Tasks steht (Kamijo et al. 2016). In früheren Arbeiten kamen die AutorInnen zudem bereits zu ähnlichen Schlussfolgerungen bei jungen

Erwachsenen. Es wäre laut ihrer Funde denkbar, dass sportlich leistungsfähigere Menschen eine erhöhte funktionale Verbindung von Hirnregionen aufweisen, die für die Mechanismen des Top-down-Effektes von Nöten sind (Kamijo et al. 2016; Kamijo et al. 2011; Kamijo und Takeda 2013). Diese Erkenntnis soll hier jedoch nur als Ausblick für weitere Forschung erwähnt sein, da sie mittels EEG-Aufzeichnungen während des Navon Task und Spatial Priming Task erhoben wurde und somit nicht direkt mit den Resultaten dieser Studie verglichen werden kann.

Die Ergebnisse dieser Arbeit stimmen größtenteils mit der bisherigen Forschung an Kindern und SeniorInnen überein. Sie unterstützen damit auch die Theorie von Kramer und Kolleginnen, dass regelmäßiger Sport keine langfristig positive Auswirkung auf die Leistung beim Visual Search Task hat, da Exekutivfunktionen keine Rolle spielen und er nicht in unmittelbarer Verbindung zum frontalen Cortex steht (Fisk und Rogers 2001). Bekräftigend hierfür kann die Tatsache herangezogen werden, dass auch beim Hippokampus, eine Formation des limbischen Systems mit hoher Relevanz für die Gedächtnisleistung, eine Volumenzunahme im Zusammenhang mit regelmäßiger körperlicher Belastung beobachtet werden kann (Pereira et al. 2007; Boecker et al. 2012; Firth et al. 2018), dieser jedoch ebenfalls nicht mit den Prozessen des Visual Search Tasks in Verbindung steht. Somit lassen sich Leistungszunahmen als Folge kontinuierlichen Trainings auf andere Bereiche kognitiver Prozesse bei gleichzeitigem Ausbleiben einer Verbesserung der visuellen Suche erklären. Um eine klare Aussage über die Zusammenhänge zwischen visueller Aufmerksamkeit und sportlicher Fitness fällen zu können, ist weitere Forschung notwendig, die eine bessere Vergleichbarkeit der angewandten Methodik ermöglicht.

4.1 Methodenkritik

Nach der notwendigen Streichung einiger Datensätze aufgrund eines Abbruchs der Studie oder unzureichender Compliance bestand das endgültig untersuchte Kollektiv aus 29 TeilnehmerInnen. Aus der Sportgruppe gingen aufgrund fehlender oder verfälschter Werte nur 24 Messungen in die Auswertung ein. Die Aussagekraft dieser tendenziell

kleinen Gruppengrößen muss im Vergleich zu größeren Stichproben kritisch betrachtet werden. Aufgrund des randomisierten Einteilungsverfahrens und der ungleich verteilten Dropouts bestanden die Gruppen „Sport“ und „Kontrolle“ zudem aus einer unterschiedlichen Anzahl an ProbandInnen.

Das Bewusstsein um die Gruppenzugehörigkeit stellt eine besondere Herausforderung an die Validität der Untersuchung dar und ermöglicht das Risiko eines Placeboeffektes. Eine Verblindung oder gar Doppelverblindung ist jedoch aus logistischen Gründen sowie der strengen Sportkarenz der Kontrollgruppe vermutlich auch in zukünftigen Studiendesigns nicht möglich.

Zudem wurde das individualisierte Sporttraining von vielen Teilnehmenden als eigentlicher Anreiz der Studie angegeben, wodurch sich ein unterschiedliches Maß an Engagement nicht ausschließen lässt.

Der $VO_2\text{max}$ -Wert, der in der Ermittlung der Sportlichkeit als wichtigster Parameter genutzt wurde, ist weiterhin ein Faktor, der ebenfalls stark von der Motivation des ProbandInnen abhängt, der bis an die absoluten Grenzen seiner sportlichen Leistungsfähigkeit gelangen muss. Um korrekte, aussagekräftige Werte zu erhalten, ist eine komplette Ausbelastung des ProbandInnen nötig, die objektiv nur annäherungsweise festgestellt werden kann (Meyer und Kermann 1999).

Zurecht wurde bereits in der Vergangenheit zu Bedenken gegeben, dass nur wenige Monate an Training eventuell nicht ausreichen würden, bedeutende Veränderungen in kognitiven Maßen zu detektieren, ließen diese sich doch womöglich erst nach Jahren der körperlichen Fitness feststellen (Fisk und Rogers 2001).

Bezüglich der Unterscheidung zwischen Mann und Frau sollte in Zukunft zudem über eine genauere Kategorisierung innerhalb der Gruppe „Frauen“ nachgedacht werden, die die signifikanten Zusammenhänge mit dem Beschwerdebild des prämenstruellen Syndroms und den Reaktionszeiten der visuellen Suche erfasst.

4.2 Ausblick

Die Ergebnisse dieser Studie unterstützen die bisherigen Erkenntnisse, dass regelmäßiges Training und die sportliche Fitness wenig bis keinen Einfluss auf den Visual Search Task und die visuelle Aufmerksamkeit nehmen. Da dies jedoch im Kontrast zu dem allgemeinen Trend des kognitiven Nutzens regelmäßiger Bewegung steht, könnte weitere Forschung auf diesem Gebiet wichtige Erkenntnisse liefern. Dies ist unter anderem deswegen anzunehmen, da in der vorliegenden Arbeit der Hinweis auf signifikant stärkere Verbesserungen der komplexen Suche im Vergleich zu vereinfachter Suche durch Sport geliefert werden konnte. Andererseits verdient die Hypothese von Kramer et al., welche einen Zugewinn primär in neuropsychologischen Tests mit Verbindung zum frontalen Cortex vermutet, in diesem Zusammenhang große Beachtung, da sie einen schlüssigen Erklärungsansatz für den ausbleibenden Fortschritt liefert. Hinsichtlich der geschlechterspezifischen Differenzierung sind zwei Fragen noch unzureichend geklärt. Zum einen lassen widersprüchliche Ergebnisse bisheriger Untersuchungen keine eindeutige Aussage zu, welchen Einfluss das Geschlecht der ProbandInnen auf die Reaktionszeiten der visuellen Suche hat. Zum anderen zeigte sich, dass die Reaktionszeiten von Frauen sehr stark vom Ausmaß ihrer prämenstruellen Beschwerden abhängen, was jedoch bisher keine Beachtung im Versuchsdesign fand. Diese Ergebnisse legen eine weitere Unterteilung und differenzierte Betrachtung der Gruppe der weiblichen Probandinnen nahe.

5. Zusammenfassung

Während im unmittelbaren Anschluss an eine körperliche Intervention wiederholt eine Steigerung der visuellen Aufmerksamkeit festgestellt werden konnte, sind die Erkenntnisse bezüglich der Auswirkungen regelmäßigen Trainings und einer damit einhergehenden höheren Fitness auf Reaktionszeiten und Fehlerquote im Visual Search Task bislang uneindeutig. Einerseits konnte beobachtet werden, dass sportliche Kinder in einem Feature and Conjunction Search Task weniger Fehler machten als unспортliche Kinder, andererseits scheinen SeniorInnen von einer regelmäßigen Intervention über den Zeitraum von sechs Monaten in Bezug auf die visuelle Suchleistung nicht zu profitieren (Fisk und Rogers 2001). Bekanntermaßen unterliegt die visuelle Suchleistung im Laufe des Lebens messbaren Schwankungen. Ziel dieser Arbeit war es, neue Erkenntnisse über mögliche Zusammenhänge regelmäßigen Sporttrainings auf den Visual Search Task und die visuelle Aufmerksamkeit bei jungen Erwachsenen beizutragen.

Im Rahmen einer longitudinalen, randomisierten Interventionsstudie wurden die Probanden der Gruppe „Sportler“ (n = 19) über einen Zeitraum von sechs Monaten einem personalisierten Trainingsprogramm unterzogen, während der Vergleichsgruppe „Kontrolle“ (n = 10) sportliche Betätigung untersagt war. Zu Beginn und Ende der Studienteilnahme sowie zu zwei intermediär gelegenen Zeitpunkten absolvierten alle TeilnehmerInnen eine Reihe von Untersuchungen, einschließlich dem Visual Search Task, sowie einen Fitnesscheck zur Individualisierung des Sporttrainings. Die Ergebnisse der Fitnessanalyse und des Visual Search Tasks wurden nach Ablauf der Studie ausgewertet und zwischen den beiden Gruppen verglichen.

Obwohl die Sportgruppe im Vergleich zur Kontrolle nachweislich von ihrem Training profitierte und ihre Fitness steigern konnte, zeigte sie keine signifikant besseren Ergebnisse in den Search Tasks. Insbesondere in Bezug auf die Fehlerraten ließ sich im Verlauf der Studie keine bedeutende Veränderung verzeichnen. In beiden Gruppen kam es über den Studienverlauf hinweg zwar zu schnelleren Reaktionszeiten, dies geschah jedoch ohne detektierbaren Einfluss durch das Training. Interessanterweise zeigte sich jedoch, dass sich die Reaktionszeiten der Sportler im Verlauf von T0 zu T6 in Task01, der von seinen Bedingungen her theoretisch als schwerer betrachtet werden könnte,

signifikant stärker verbesserten als in Task02. Die Korrelationsanalyse offenbarte zudem die Tendenz sinkender Reaktionszahlen mit steigenden $VO_2\text{max}$ - oder $d\text{max}_v$ -Parametern, auch wenn diese nicht signifikant waren. Dies deutet an, dass Sport möglicherweise doch zu einer stärkeren Verbesserung der Suchleistung unter schwereren Bedingungen im Vergleich zur erleichterten Suche beitragen könnte, müsste aber in weiteren größeren Kohorten wissenschaftlich untermauert werden.

Die Frauen der Sportgruppe zeigten signifikant schnellere Reaktionszeiten als die Männer. Dieser Unterschied bestand jedoch bereits zum Zeitpunkt T0 und ließ sich auch nicht mit sportlicher Leistungssteigerung in Verbindung bringen. Die Frage nach dem Einfluss des Geschlechts auf die Ergebnisse des Visual Search Tasks bleibt damit weiterhin spannend und birgt ein lohnenswertes Feld weiterer Forschung, bei der ein Augenmerk auf mögliche hormonelle Unterschiede im Menstruationszyklus innerhalb der Frauengruppe geachtet werden sollte. Insgesamt stehen die Ergebnisse im Einklang mit der bisherigen Literatur und unterstützen die Vermutung, dass sich der Visual Search Task, der weder mit dem Hippocampus noch mit dem frontalen Cortex in Verbindung steht, nicht durch körperliche Fitness beeinflussen lässt. Diese Hypothese gilt es in zukünftigen Forschungen weiter zu untersuchen, da sie einen vielversprechenden Ansatz zum Beweis komplexer Zusammenhänge zwischen sportlicher Leistungsfähigkeit und visueller Aufmerksamkeit liefern.

6. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Beispiel für den Single Feature Search Task.	11
Abb. 2: Beispiel für den Conjunction Search Task	12
Abb. 3: Beispiel für den Preview Search Task	14
Abb. 4: Schematische Darstellung der Feature Integration Theory	17
Abb. 5: Schematische Darstellung des Guided Search Modells	18
Abb. 6: Schematische Darstellung des Studienablaufs	37
Abb. 7: Werteerhebung Leistungsdiagnostik	39
Abb. 8: Trainingsablauf der Studie	42
Abb. 9: Vorabfragebogen	44
Abb. 10: Beispielhafte Darstellung eines Probanden bei der Testung	45
Abb. 11: Verlauf der VO ₂ max-Werte	51
Abb. 12: Verlauf der dmax _v -Werte	52
Abb. 13: Einfluss der Distraktorenmenge	53
Abb. 14: Reaktionszeiten Test 1 im Verlauf	54
Abb. 15: Reaktionszeiten von Task 2 im Verlauf	55
Abb. 16: Testvergleich Delta Reaktionszeiten	57
Abb. 17: Fehler im Verlauf	58
Abb. 18: Streudiagramme der Korrelationsanalysen für Test 1	59
Abb. 19: Streudiagramme der Korrelationsanalysen für Test 2	59
Abb. 20: Geschlechtervergleich	61

7. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Tabellarische Auflistung von Studien	23
Tab. 2: Übersicht über die Einschlusskriterien dieser Studie	31
Tab. 3: Übersicht über die Ausschlusskriterien dieser Studie	32
Tab. 4: M.I.N.I	35
Tab. 5: Aufzählung neuropsychologische Testbatterie	42
Tab. 6: Herzfrequenzen	50
Tab. 7: Testvergleich Reaktionszeiten	56
Tab. 8: Korrelationsanalyse	58
Tab. 9: Korrelationsanalyse Testvergleich	60
Tab. 10: Einfluss des Geschlechts	61

8. Literaturverzeichnis

Aks, D. J. (1998): Influence of Exercise on Visual Search: Implications for Mediating Cognitive Mechanisms. In: *Perceptual and Motor Skills*, S. 771–783.

An, K.; Yang, H.; Kang, D.; Courneya, K. S.; Jeon, J. Y. (2020): Development process of an evidence-based exercise program for post-operative colorectal cancer patients. In: *Supportive care in cancer : official journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer* 28 (2), S. 755–765. DOI: 10.1007/s00520-019-04864-4.

Barnes, Jill N. (2015): Exercise, cognitive function, and aging. In: *Advances in physiology education* 39 (2), S. 55–62. DOI: 10.1152/advan.00101.2014.

Beck, A. T.; Ward, C. H.; Mendelson, M.; Mock, J.; Erbaugh, J. (1961): An Inventory for Measuring Depression. In: *Arch Gen Psychiatry* 4 (6), S. 561–571.

Boecker, H.; Hillman, C. H.; Scheef, L.; Strüder, H. K. (2012): *Functional Neuroimaging in Exercise and Sport Sciences*. New York, NY: Springer-Verlag New York.

Borg, G. A. V. (1962): Psychophysical bases of perceived exertion. In: *Medicine and science in sports and exercise* 14 (5), S. 377–881.

Braithwaite, J.; Humphreys G. W. (2003): Inhibition and anticipation in visual search: Evidence from effects of color foreknowledge on preview search. In: *Perception and Psychophysics* 65 (2), S. 213–237.

Brouwer, R.; Wondergem, R.; Otten, C.; Pisters, M. F. (2021): Effect of aerobic training on vascular and metabolic risk factors for recurrent stroke: a meta-analysis. In: *Disability and rehabilitation* 43 (15), S. 2084–2091. DOI: 10.1080/09638288.2019.1692251.

Bullock, Tom; Giesbrecht, Barry (2014): Acute exercise and aerobic fitness influence selective attention during visual search. In: *Frontiers in psychology* 5, S. 1290. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.01290.

Carrasco, Marisa (2011): Visual attention: the past 25 years. In: *Vision research* 51 (13), S. 1484–1525. DOI: 10.1016/j.visres.2011.04.012.

Clark, K.; Appelbaum, L. G.; van den Berg, B.; Mitroff, S. R.; Woldorff, M. G. (2015): Improvement in visual search with practice: mapping learning-related changes in neurocognitive stages of processing. In: *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* 35 (13), S. 5351–5359. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1152-14.2015.

Clémin, G. (2019): Leistungsdiagnostik im Ausdauersport - anaerobe Schwelle, VO₂max, aerobe Kapazität - wohin geht die Reise? In: *Swiss Sports & Exercise Medicin* 67 (1), S. 6–14.

Dashti, S. G.; Win, A. K.; Hardikar, S. S.; Glombicki, S. E.; Mallenahalli, S.; Thirumurthi, S. et al. (2018): Physical activity and the risk of colorectal cancer in Lynch syndrome. In: *International journal of cancer* 143 (9), S. 2250–2260. DOI: 10.1002/ijc.31611.

Diener, D.; Greenstein, F. L.; Turnbough, P. D. (1992): Cyclical Variation in Digit-Span and Visual-Search performance in women differing in the severity of their premenstrual Symptoms. In: *Perceptual and Motor Skills* 74, S. 67–76.

Dunn, O. J. (1961): Multiple Comparisons Among Means. In: *Journal of the American Statistical Association* 56 (293), S. 52–64.

Eals, M.; Silverman, I. (1994): The Hunter-Gatherer Theory of Spatial Sex Differences: Proximate Factors Mediating the Female Advantage in Recall of Object Arrays. In: *Ethology and Sociobiology* 15, S. 95–105.

Eston, R. (Hg.) (2001): Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual. Volume 2, Exercise Physiology - Tests, Procedures and data. Unter Mitarbeit von Eston, R. Reilly, T. London: Routledge.

Firth, J.; Stubbs, B.; Vancampfort, D.; Schuch, F.; Lagopoulos, J.; Rosenbaum, S.; Ward, P. B. (2018): Effect of aerobic exercise on hippocampal volume in humans: A systematic review and meta-analysis. In: *NeuroImage* 166, S. 230–238. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2017.11.007.

Fisk, A. D.; Rogers, W. (Hg.) (2001): Human Factors Interventions for the Health Care of Older Adults. Exercise, Aging and Cognition: Healthy Body, Healthy Mind? 1. Aufl.: Lawrence Erlbaum Association.

Flykt, A. (2005): Visual search with biological threat stimuli: accuracy, reaction times, and heart rate changes. In: *Emotion (Washington, D.C.)* 5 (3), S. 349–353. DOI: 10.1037/1528-3542.5.3.349.

Friedman, M. (1937): The Use of Ranks to Avoid the Assumption of Normality Implicit in the Analysis of Variance. In: *Journal of the American Statistical Association* 32 (200), S. 675–701. DOI: 10.1080/01621459.1937.10503522.

Gallanagh, S.; Quinn, T. J.; Alexander, J.; Walters, M. R. (2011): Physical activity in the prevention and treatment of stroke. In: *ISRN neurology*, S. 223–233. DOI: 10.5402/2011/953818.

Gartlehner, G.; Wagner, G.; Matyas, N.; Titscher, V.; Greimel, J.; Lux, L. et al. (2017): Pharmacological and non-pharmacological treatments for major depressive disorder: review of systematic reviews. In: *BMJ open* 7 (6), 3-13. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-014912.

Grøntved, A.; Rimm, E. B.; Willett, W. C.; Andersen, L. B.; Hu, F. B. (2012): A prospective study of weight training and risk of type 2 diabetes mellitus in men. In: *Archives of internal medicine* 172 (17), S. 1306–1312. DOI: 10.1001/archinternmed.2012.3138.

Hautzinger, M.; Bailer, M.; Worall, H.; Keller, F. (1994): Beck-Depressions-Inventar (BDI). Bern: Huber.

Hillman, Charles H.; Motl, Robert W.; Pontifex, Matthew B.; Posthuma, Danielle; Stubbe, Janine H.; Boomsma, Dorret I.; Geus, Eco J. C. de (2006): Physical activity and cognitive function in a cross-section of younger and older community-dwelling individuals. In: *Health psychology : official journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association* 25 (6), S. 678–687. DOI: 10.1037/0278-6133.25.6.678.

Hollmann, Wildor; Knigge, Helge; Knicker, Axel; Strüder, Heiko K. (2012): Methods for Measurement of Physical Fitness and Training Recommendations in Studies on Humans. In: Henning Boecker, Charles H. Hillman, Lukas Scheef und Heiko K. Strüder (Hg.): *Functional Neuroimaging in Exercise and Sport Sciences*, Bd. 95. New York, NY: Springer New York, S. 79–107.

Hommel, Bernhard; Li, Karen Z. H.; Li, Shu-Chen (2004): Visual search across the life span. In: *Developmental Psychology* 40 (4), S. 545–558. DOI: 10.1037/0012-1649.40.4.545.

Jones, A. M.; Doust, J. H. (1996): A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. In: *Journal of Sports Sciences* 14 (4), S. 321–327. DOI: 10.1080/02640419608727717.

Kamijo, K.; Takeda, Y. (2013): Physical Activity and Trial-by-Trial Adjustments of Response Conflict. In: *Journal of Sport Exercise Psychology* 35, S. 398–407.

Kamijo, K.; Takeda, Y.; Hillman, C. H. (2011): The relation of physical activity to functional connectivity between brain regions. In: *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology* 122 (1), S. 81–89. DOI: 10.1016/j.clinph.2010.06.007.

Kamijo, K.; Takeda, Y.; Takai, Y.; Haramura, M. (2016): The relationship between childhood aerobic fitness and brain functional connectivity. In: *Neuroscience Letters* (632), S. 119–123.

Kandola, A.; Ashdown-Franks, G.; Hendrikse, J.; Sabiston, C. M.; Stubbs, B. (2019): Physical activity and depression: Towards understanding the antidepressant mechanisms of physical activity. In: *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 107, S. 525–539. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2019.09.040.

Kircher, T.; Gauggel, S. (2008): Neuropsychologie der Schizophrenie. Symptome, Kognition, Gehirn. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-71147-6>.

Knaepen, K.; Goekint, M.; Heyman, E. M.; Meeusen, R. (2010): Neuroplasticity - Exercise-Induced Response of Peripheral Brain-Derived Neurotrophic Factor. A Systematic Review of Experimental Studies in Human Subjects. In: *Sports Med* 40 (9), S. 765–801.

Lecrubier, Y.; Sheehan, D. V.; Weiller, E.; Amorim, P.; Bonora, I.; Harnett Sheehan, K. et al. (1997): The Mini International Neuropsychiatric Interview (MINI). A short diagnostic structured interview: reliability and validity according to the CIDI. In: *Eur Psychiatry* 12, S. 224–231.

Maier, T.; Gross, M.; Trösch, S.; Steiner, T.; Müller, B.; Bourbach, P. et al. (2016): Manual Leistungsdiagnostik. Unter Mitarbeit von M. Wilhelm, G. E. Clénin, P. Züst und R. Seidel. Januar 2016: Swiss Olympic.

Mann, By H. B.; Whitney, D. R. (1947): On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. In: *Annals of mathematical Statistics*. 18, S. 50–60.

Masataka, N.; Shibasaki, M. (2012): Premenstrual enhancement of snake detection in visual search in healthy women. In: *Scientific reports* 2, S. 307–310. DOI: 10.1038/srep00307.

McMorris, T.; Graydon, J. (1997): The effect of exercise on cognitive performance in soccer-specific tests. In: *Journal of Sports Sciences* 15, S. 459–468.

Meyer, T.; Kermann, W. (1999): Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max). In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 50 (9).

Moser, K. A. (2010): Die Effekte des Sporttreibens auf die kognitive Leistungsfähigkeit im schulischen Kontext.

Neumann, N.; Frasch, K. (2008): Neue Aspekte zur Lauftherapie bei Demenz und Depression. klinische und neurowissenschaftliche Grundlagen. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 59 (2), S. 28–33.

Oldfield, R. C. (1997): The Assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. In: *Neuropsychologia* 9, S. 97–113.

Olivers, Christian N. L.; Humphreys, Glyn W.; Braithwaite, Jason J. (2006): The preview search task: Evidence for visual marking. In: *Visual Cognition* (14), S. 716–735. DOI: 10.1080/13506280500194188.

Pereira, A. C.; Huddlestone, D. E.; Brickman, A. M.; Sosunov, A. A.; Hen, R.; McKhann, G. M. et al. (2007): An in vivo correlation of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. In: *PNAS* 104 (13), S. 5638–5643.

Pflueger, M. O.; Gschwandtner, U. (2003): Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) Version 1.7. In: *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie* 32 (2), S. 155–157. DOI: 10.1026//1616-3443.32.2.155.

Posner, M. I.; Gilbert, C. D. (1999): Attention and primary visual cortex. In: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96, S. 2585–2687.

Reimers, C.; Knapp, G.; Tettenborn, B. (2012): Einfluss körperliche Aktivität auf die Kognition. Ist körperliche Aktivität Demenz-präventiv? In: *Akt Neurol* 39 (06), S. 276–291. DOI: 10.1055/s-0032-1316354.

Richards, M.; Hardy, R.; Wadsworth, M. E. J. (2003): Does active leisure protect cognition? Evidence from a national birth cohort. In: *Social Science and Medicine* (56), S. 785–792.

Rittel, Tobias (2004): Theorien der visuellen Aufmerksamkeit und Suche.

Röhling, M.; Herder, C.; Roden, M.; Stemper, T., Müssig, K. (2016): Effects of Long-Termin Exercise Interventions on Glycaemic Control in Typ 1 and Typ 2 Diabetes: a Systematic Review. In: *Exp Clin Endocrinol Diabetes*, S. 487–494.

Schmidt, K.; Metzler, P. (1992): WST-Wortschatztest. Weinheim: Beltz Test GmbH.

Schulz, K. H.; Meyer, A.; Langguth, N. (2012): Körperliche Aktivität und psychische Gesundheit. In: *Bundesgesundheitsblatt* 55, S. 55–65.

Sireteanu, R.; Rettenbach, R. (1995): Perceptual Learning in Visual Search: Fast, Enduring, but Non-specific. In: *Vision research* 35 (14), S. 2037–2043.

Sofi, F.; Valecchi, D.; Bacci, D.; Abbate, R.; Gensini, G. F.; Casini, A.; Macchi, C. (2011): Physical activity and risk of cognitive decline: a meta-analysis of prospective studies. In: *Journal of internal medicine* 269 (1), S. 107–117. DOI: 10.1111/j.1365-2796.2010.02281.x.

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

Spielberger, C. D.; Gorsuch, R. L.; Lushene, R.; Vagg, P. R.; Jacobs, G. A. (1983): Manual for the State-Trait Anxiety Inventory. In: *Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press*.

Stoet, G. (2011): Sex differences in search and gathering skills. In: *Evolution and Human Behavior* 32 (6), S. 416–422. DOI: 10.1016/j.evolhumbehav.2011.03.001.

Theeuwes, J.; Kramer, A. F.; Atchley, P. (1998): Visual marking of old objects. In: *Psychonomic Bulletin & Review* 5 (1), S. 130–134.

Tomprowski, P. D.; Ellis, N. R. (1986): Effects of Exercise on Cognitive Processes: A Review. In: *Psychological Bulletin* (3), S. 338–346.

Treisman, Anne M. (1986): Features and Objects in Visual Processing. In: *Scientific American* 255 (5), S. 114–125.

Treisman, Anne; Gelade, Garry (1980): A Feature-Integration Theory of Attention. In: *Cognitive Psychology* (12), S. 97–136.

Trick, L. M.; Enns, J. T. (1998): Lifespan Changes in Attention: The Visual Search Task. In: *Cognitive Development* 13, S. 369–386.

Tuanama-Schuler, H. (2017): Burnouterleben bei stationär behandelten depressiven Patienten und Wirksamkeit stationärer kognitiv-behavioraler Therapie bei Patienten mit Burnouterleben. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität, München.

Utz, Kathrin S.; Hankeln, Thomas M. A.; Jung, Lena; Lämmer, Alexandra; Waschbisch, Anne; Lee, De-Hyung et al. (2013): Visual search as a tool for a quick and reliable assessment of cognitive functions in patients with multiple sclerosis. In: *PloS one* 8 (11), e81531. DOI: 10.1371/journal.pone.0081531.

Wagner, S. (2016): Kognitive Defizite bleiben bestehen. In: *Info Neurologie Psychiatrie* 18, S. 7–8.

Watson, Derrick G.; Humphreys, Glyn W.; Olivers, Christian N.L. (2003): Visual marking: using time in visual selection. In: *Trends in Cognitive Sciences* 7 (4), S. 180–186. DOI: 10.1016/S1364-6613(03)00033-0.

Watson D.G.; Humphreys, G. W. (1997): Visual Marking: Prioritizing Selection for New Objects by Top-Down Attentional Inhibition of Old Objects. In: *Psychological Review* (Vol. 104 No. 1), S. 90–122.

Wen, C. P.; Wai, J.; Tsai, M.; Yang, Y. C.; Cheng, T.; Lee, M. et al. (2011): Minimum amount of physical activity for reduced mortality and extended life expectancy: a prospective cohort study. In: *The Lancet* 378 (9798), S. 1244–1253. DOI: 10.1016/S0140-6736(11)60749-6.

Wild-Wall, N.; Falkenstein, M.; Gajewski, P. D. (2012): Neural correlates of changes in a visual search task due to cognitive training in seniors. In: *Neural plasticity*. DOI: 10.1155/2012/529057.

Winter, B.; Breitenstein, C.; Mooren, F. C.; Voelker, K.; Fobker, M.; Lechtermann, A. et al. (2007): High impact running improves learning. In: *Neurobiology of Learning and Memory* 87, S. 597–609.

Wolfe, J. M.; Cave, K. R.; Franzel, S., L. (1989): Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 15 (3), S. 419–433. DOI: 10.1037/0096-1523.15.3.419.

Wolfe, Jeremy M. (2010): Visual Search. In: *Current biology : CB* 20 (8), 346-349. DOI: 10.1016/j.cub.2010.02.016.

Womersley, J.; Durnin, J. V.; Boddy, K.; Mahaffy, M. (1976): Influence of muscular development, obesity, and age on the fat-free mass of adults. In: *Journal of Applied Physiology* 41 (2), 223-229.

Zuckerman, H.; Pan, Z.; Park, C.; Brietzke, E.; Musial, N.; Shariq, A. S. et al. (2018): Recognition and Treatment of Cognitive Dysfunction in Major Depressive Disorder. In: *Frontiers in psychiatry* 9, S. 655. DOI: 10.3389/fpsy.2018.00655.

9. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Henning Boecker für die Möglichkeit der Teilnahme an dieser spannenden Studie und für seine engmaschige Betreuung im Verlaufe des Projekts.

Ein herzliches Dankeschön möchte ich an Herrn Dr. med. Dipl. Phys. Lukas Scheef richten, der uns stets in Sachen Technik und Methodik unterstützte.

Ein besonderes Wort des Dankes geht an Frau Angelika Maurer als kompetente und zuverlässige Ansprechpartnerin von der Phase der Datenerhebung bis zur Abgabe dieser Dissertation.

Allen Probanden dieser Studie möchte ich herzlich für die Teilnahme, ihre investierte Zeit und Energie danken.

Ganz besonders bedanke ich mich bei Yanis Ben Hamida und Dirk Philippi für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Auch bedanke ich mich bei meinem Partner, meiner Familie und meinen Freunden, deren Unterstützung ich mir immer gewiss sein konnte. Danke für Zuspruch, Rat und die nötige Abwechslung, die ihr mir in diese Zeit habt zukommen lassen.