

# **Auswirkungen von Life Kinetik<sup>®</sup>-Training auf Jugendliche**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. med.)

der Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Bonn

**Verena Caroline Richter**

aus Krefeld

2026

Angefertigt mit der Genehmigung  
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Johannes Breuer
2. Gutachterin: PD Dr. Carmen Pizarro Touron

Tag der mündlichen Prüfung: 25.03.2026

Aus dem Zentrum für Kinder- und Jugendmedizin

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1	Die Entwicklung des Gehirns in Kindheit und Jugend	7
1.1.1	Hormoneller Einfluss	8
1.1.2	Leistungsfähigkeit und Aufmerksamkeit	8
1.1.3	Intelligenz und kognitive Flexibilität	9
1.2	Der Einfluss von Sport	11
1.2.1	Effekte des Ausdauertrainings	11
1.2.2	Messbare Hormon- und Transmitterveränderung	12
1.2.3	Differenzielles Lernen	15
1.3	Life Kinetik®	15
1.3.1	Das Konzept Life Kinetik®	15
1.3.2	Bisherige Studien zu Life Kinetik®	17
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>19</b>
2.1	Idee der Studie	19
2.2	Aufbau der Studie	19
2.3	Stichprobenrekrutierung	19
2.4	Trainingseinheiten	21
2.4.1	Exemplarische Trainingseinheit	22
2.5	Verhaltensuntersuchungen und Datenerhebung	23
2.5.1	Test für Kurzzeiteffekte	24
2.5.2	Tests für Langzeiteffekte	25

2.5.3	Fragebögen	26
2.6	Datenverarbeitung und Analysemethoden	26
2.7	Stichprobendesign	27
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>29</b>
3.1	Demographie	29
3.2	Test d2-Revision Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest	31
3.3	CogniFit® - Testungen	34
3.3.1	Farben und Wörter (Stroop)	34
3.3.2	Nummern und Formen	36
3.3.3	Der Ball und die Farben	40
3.3.4	Differenzierter Zeitpunktvergleich	42
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>43</b>
4.1	Test d2-Revision Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest	43
4.1.1	Ergebnisanalyse	44
4.1.2	Einordnung	44
4.2	CogniFit® - Testungen	46
4.2.1	Ergebnisanalyse	46
4.2.2	Einordnung	50
4.3	Limitationen der Studie	52
4.4	Verbesserungsvorschläge	53
4.5	Ausblick	55
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>60</b>

<b>8</b>	<b>Anhang</b>	<b>61</b>
8.1	Tab. 7: Ausführliche Darstellung des Zeitpunktvergleichs der Ergebnisse der CogniFit®-Erhebung	61
8.2	Trainingseinheiten	63
<b>9</b>	<b>Erklärung zum Eigenanteil</b>	<b>71</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>72</b>
<b>11</b>	<b>Danksagung</b>	<b>82</b>

## Abkürzungsverzeichnis

021	Der Ball und die Farben-Test
029	Farben und Wörter-Test (Stroop)
063	Nummern und Formen- Test
Acc	Accuracy (Genauigkeit)
BDNF	Brain-derived Neurotrophic Factor
BZO	Bearbeitete Zielobjekte
F %	Fehlerprozent
G	Gruppe
I	Interventionsgruppe
K	Kontrollgruppe
KL	Konzentrationsleistung
rt	reaction time (Reaktionszeit)
VEGF	Vascular Endothelial Growth Factor
Z	Zeitpunkte

## 1. Einleitung

Obwohl der Mensch (*homo sapiens sapiens*) das am höchsten entwickelte Säugetier ist (Ulmschneider, 2014), ist er zu Beginn seines Lebens am hilflosesten, stehen dem Gehirn des Neugeborenen doch noch elementare Entwicklungsschritte bevor (Lesinski et al., 2020). Der aufrechte Gang und die damit einhergehende Verkleinerung des weiblichen Beckenausgangs bedingen, dass menschliche Nachkommen nach nur 40 Entwicklungswochen geboren werden. Zu diesem Zeitpunkt ist das Gehirn das unreifste Organ, dessen Ausreifung noch etwa 30 Jahre lang andauert (Warkentin, 1991).

### 1.1 Die Entwicklung des Gehirns in Kindheit und Jugend

Zum Zeitpunkt der Geburt haben alle Menschen mit 100 Milliarden in etwa dieselbe Menge an Nervenzellen (Textor, 2023); Unterschiede in der Intelligenz manifestieren sich im Laufe des Lebens durch eine verschieden große Anzahl an Synapsen. Umwelteinflüsse und die genetische Grundlage nehmen etwa hälftig Einfluss auf die Intelligenzentwicklung (Lohaus und Vierhaus, 2019). Die neuronale Entwicklung ist in den ersten beiden Lebensjahren quantitativ am stärksten ausgeprägt und basale sensorische und motorische Fähigkeiten entwickeln sich zuerst (Thyen und Konrad, 2020). Neuere Ansätze unterteilen die motorische Entwicklung in drei Phasen, währenddessen unökonomische, reflexartige Mitbewegungen weitgehend abnehmen und eine hochdifferenzierte Willkürmotorik entsteht (Thyen und Konrad, 2020). Um das fünfte Lebensjahr herum erreicht das Gehirnvolumen sein Maximum. Danach geht man davon aus, dass es ausgewachsen ist, bis zum Jugendalter kommt es aber zu physiologischen Umbauprozessen und regionalen Vergrößerungen oder Verminderungen (Giedd et al., 1999). Der Anteil grauer Substanz erreicht im Bereich des Frontalhirns bei gesunden Kindern um das zwölfte Lebensjahr seinen Höhepunkt und nimmt danach bis zum Erwachsenenalter wieder ab, während der Anteil weißer Substanz fortlaufend bis in die späte Adoleszenz hinein ansteigt. Im Allgemeinen verläuft die Myelinisierung von inferior nach superior sowie von posterior nach anterior (Thyen und Konrad, 2020). Das limbische und das dopaminerge System entwickeln sich daher vor den kortikalen Kontrollzentren. Dies erklärt, warum die jugendliche Phase der Gehirnentwicklung besonders sensibel gegenüber äußeren Einflüssen (u.a. Drogen) und regelhaft anfällig für affektive Störungen und Stimmungsschwankungen ist.

### 1.1.1 Hormoneller Einfluss

Das menschliche Gehirn, das etwa 20 % des Gesamtenergieverbrauchs ausmacht, reagiert äußerst sensibel auf Steroidhormone (Dai und Scherf, 2019). Der Anstieg der Geschlechtshormone Östrogen und Testosteron folgt der Ausprägung der Hypothalamus-Hypophysen-Achse. Er löst den Beginn körperlicher Veränderungen aus, etwa die Zunahme des Muskel- und Fettanteils, sowie Wachstums- und Stoffwechselsteigerungen (Dahl, 2004). Welche konkreten Einflüsse die Hormone auf die Entwicklung des Gehirns haben, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen. Es gilt jedoch als sicher, dass sie die Ausbildung neuronaler Kreisläufe fundamental beeinflussen (Sisk und Zehr, 2004; 2005) und Sexualhormone wesentlichen Einfluss auf Urteilskraft, Denk- und Merkfähigkeit nehmen (Lutz, 2020).

Dai und Scherf suchten in ihrer Arbeit 2019 außerdem eine objektive Begründung für den Umstand, dass Jugendliche im Allgemeinen zu risikoreichem Verhalten tendieren (Steinberg et al., 2008) und untersuchten dafür den Belohnungsprozess auf neurobiologischer Ebene. Die Veränderungen des dopaminergen Systems verstärken das Belohnungsgefühl und motivieren Jugendliche zu riskanteren Verhaltensweisen, sodass die positive Stimulation häufiger eintritt. Relevante Entwicklungsschritte der Amygdala, die als Teil des limbischen Systems Verbindungen von Ereignissen und Emotionen schafft, Wiedererkennung und Furchtkonditionierung moduliert (Adolphs, 2006), scheinen ebenfalls in die volatile Phase zwischen Kindheit und Jugend zu fallen. Dies folgte Scherf aus Studien (Moore et al., 2012; Tyborowska et al., 2016), in denen Jugendliche besonders ausgeprägt auf unterschiedliche Gesichtsausdrücke reagierten. Testosteron führte zur funktionellen Entkopplung zwischen orbitofrontalem Kortex und der Amygdala, was ausgeprägte Amygdalaaktivität auf Emotionen zur Folge hatte, die in ihrer Studie zum Ende der Pubertät aber wieder etwas abklang (Dai und Scherf, 2019).

### 1.1.2 Leistungsfähigkeit und Aufmerksamkeit

Obwohl Jugendlichen im Wesentlichen schon ein ähnlich großes Leistungsvermögen eingeräumt wird wie Erwachsenen (Thyen und Konrad, 2020), kommt es erst in der mittleren

Adoleszenz zur Entwicklung der kortikalen Kontrollstrukturen, insbesondere des präfrontalen Kortex (PFC). Dessen essentielle Funktionen beinhalten das Arbeitsgedächtnis, die kognitive Flexibilität und die Antizipation von Handlungskonsequenzen (ebd.). Das späte Jugendalter kann als Phase der Verfeinerung von neuronalen Netzwerken und Knotenpunkten angesehen werden, was die im Vergleich zu Grundschulkindern mehr als doppelt so große Gedächtnisleistung erklärt (Baker et al., 2015). Dem Arbeitsgedächtnis, das die Grundlage für Reaktionen und Schlussfolgerungen bildet, werden verschiedene kognitive Funktionen zugeschrieben. Neben Speicherfunktionen gehören die Supervision und relationale Integration (Aufbau neuer Verknüpfungen) sowie Inhibition und das Shifting (Wechsel zwischen verschiedenen kognitiven Anforderungen) dazu (Miyake et al. 2000; Oberauer et al. 2008). In keinem anderen Lebensabschnitt entwickelt sich das Arbeitsgedächtnis so sehr weiter wie zwischen dem fünften und 20. Lebensjahr, wobei die maximale Leistungsfähigkeit mit etwa 30 Jahren erreicht wird (Alloway und Alloway, 2013). Ein Bestandteil der Leistungsfähigkeit ist die Aufmerksamkeit, die sich aus verschiedenen Unterfunktionen zusammensetzt. Bereits bei Kindern scheint eine Differenzierung der Aufmerksamkeitsaspekte in Wachheit (Alertness), selektive Aufmerksamkeit und geteilte Aufmerksamkeit möglich (Földenyi et al., 1999). Diese Funktionen sind keinem einzelnen Hirnareal zuzuordnen, sondern es erfordert ein Zusammenspiel kortikaler und subkortikaler Strukturen, um den willkürlichen Prozess der Aufmerksamkeit zu ermöglichen. Aufgrund der begrenzten Aufmerksamkeitskapazitäten muss bereits im Unterbewusstsein eine Selektion stattfinden. Das limbische System, der präfrontale Kortex und der Gyrus cinguli signalisieren dem Nukleus reticularis thalami, welche Reize gehemmt und weitergeleitet werden sollen (Birbaumer und Schmidt, 1996). Dieser gliedert dabei in somato-, visuo- und audiotopische Afferenzen (Gaupp, 2007), sodass Einflüsse und ihre Reize selektiert und einzelne bewusst verarbeitet und fokussiert werden.

### 1.1.3 Intelligenz und kognitive Flexibilität

Wie die Umwandlung neurophysiologischer Aktionspotentiale in einen konkreten Gedanken funktioniert, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht verstanden. Infolgedessen stellt sich auch die Intelligenz als etwas Abstraktes dar und die finale Lokalisation im Gehirn ist nicht geklärt (Langohr, 2011). Erstaunlicherweise besteht in der frühen Kindheit

ein negativer Zusammenhang zwischen Kortexdicke und Intelligenzleistung, der sich ab dem späten Kindesalter aber in eine positive Korrelation umwandelt. Hierbei gilt die Kortexdicke als maßgeblicher Indikator für das Gehirnvolumen (Shaw et al., 2006). Diese Veränderungen fielen insbesondere im präfrontalen Kortex auf (ebd.).

Im Wesentlichen setzte sich die Unterteilung in zwei Intelligenzformen durch: die fluide Intelligenz, die angeboren und maßgeblich ist für flexible Gedankengänge und die Fähigkeit, auf neuauftretende Situationen zu reagieren sowie die kristalline Intelligenz, der erworbenes und Faktenwissen zugeschrieben wird (Lindberg und Hasselhorn, 2018).

Wie oben angedeutet kann sich die Intelligenzleistung, die durch den Intelligenzquotienten (IQ) angegeben wird, im jugendlichen Alter noch verändern. Dieser Umstand wird im Wesentlichen durch persönliche Bildungs- und Förderungsverläufe erklärt und selbst kurzfristige Leistungsgewinne und -verluste zeigen Abhängigkeit von der individuellen kognitiven Beschäftigung (Lohaus, 2018). Hier scheint eine Abnahme der Intelligenzleistung über etwa eine Dekade mit einer Abnahme der grauen Substanz einherzugehen und umgekehrt. Dennoch korreliert der IQ im Kindesalter in hohem Maße mit jenem im fortgeschrittenen Alter (Deary et al., 2004). Im Allgemeinen ist die Bedeutung des IQ aber ein wenig in den Hintergrund gerückt, da es die Unterfunktionen des Arbeitsgedächtnis sind, die maßgeblich die Anpassungsfähigkeit und schnelle Lösungsfindung beeinflussen. Als bedeutender wird die kognitive Flexibilität erachtet, die eine effiziente Anpassung an sich verändernde Herausforderungen ermöglicht (Sahakin et al., 2021). Geistige Leistungen mit Planung, problemlösendem Denken, Handlungsentwurf und Handlungskontrolle sowie einer situationsadäquaten Verhaltensanpassung erscheinen in der schnelllebigen Zeit der fortschreitenden Digitalisierung und Implementierung von künstlicher Intelligenz entscheidender als eine Kennzahl, die das intellektuelle Leistungsvermögen beschreibt (Uddinn, 2021). Wichtig für die erfolgreiche Durchführung einer Aufgabe, die kognitive Flexibilität erfordert, ist es, habituelle und präpotente Antworten zu hemmen (Braver et al., 2002; Jahanshahi et al., 2000; Towse und Valentine, 1997; alle zitiert nach (Hartmann, 2012) und automatisierte Denkmuster zu verlassen.

## 1.2 Der Einfluss von Sport

Der positive Einfluss von Sport auf die körperliche Gesundheit des Menschen und sein Wohlbefinden ist schon länger unumstritten. Mittlerweile gibt es außerdem ausreichend Evidenz, dass Bewegung sich zusätzlich vorteilhaft auf kognitive Fähigkeiten auswirkt. Spirduso und Clifford veröffentlichten bereits 1978 eine Studie, in der sie Reaktionszeiten sportlich aktiver und inaktiver Männer innerhalb ihrer Altersklasse und auch mit jüngeren Männern verglichen, wobei die sportlich aktive Gruppe immer besser abschnitt als ihre gleichaltrige Kontrollgruppe. Die Gruppe der sportlichen, älteren Männer erreichte sogar das Niveau der inaktiven jüngeren Vergleichsgruppe.

### 1.2.1 Effekte des Ausdauertrainings

Regelmäßige körperliche Aktivität, insbesondere moderates Ausdauertraining an der Schwelle zum anaeroben Bereich (Zimmer P , Oberste M , Bloch W, 2015) hat einen messbar protektiven Effekt auf kardiovaskuläre Risikofaktoren und Fettstoffwechselstörungen (Hansmeier, 2014) und steigert das Hirnvolumen sowie die kognitive Leistungsfähigkeit (Zimmer et. al, 2015). Selbst einmaliges sportliches Training kann bis ins hohe Alter kurzzeitig positive Auswirkungen auf die kognitiven Fähigkeiten haben. Die strukturelle und funktionelle Anpassung an neue Belastungen wird als neuronale Plastizität bezeichnet (Müller, 2020).

In jüngeren Forschungsarbeiten konnte allgemein gezeigt werden, dass ein positiver Effekt der Bewegung sowohl auf die exekutiven Funktionen als auch auf die sogenannten visuell-räumlichen Fähigkeiten, also Orientierung im Raum, Wahrnehmung von Gegenständen und sinnvolle Verknüpfung, nachzuweisen ist. Welche motorischen Aktivitäten welche kognitiven Fähigkeiten zu welchem Zeitpunkt im Kindes- und Jugendalter beeinflussen, ist allerdings noch nicht erforscht und beschrieben (Jansen, 2022).

Während bei Erwachsenen das aerobe Ausdauertraining Botenstoffe zur Genese von Synapsen und plastischen Strukturen induziert (Grünke, 2011), scheinen es bei Kindern eher gezielt koordinative Bewegungsabläufe zu sein, die die kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit erhöhen (Graf et al., 2011).

### 1.2.2 Messbare Hormon- und Transmitterveränderung

Der komplexe Aufbau des zentralen Nervensystems, die eingeschränkte Zugänglichkeit des Gehirns sowie die schwermögliche Übertragung aus Tiermodellen bedingen, dass die Ursachen und Zusammenhänge der durchweg positiven Auswirkungen von Bewegung noch nicht detailliert verstanden und daher Gegenstand vieler aktueller Forschungsprojekte sind.

Gut messbar sind Botenstoffe, deren Konzentration durch sportliche Aktivität und Anstrengung beeinflusst wird (Beck, 2008). Obwohl die Übertragung von Ergebnissen aus Tiermodellen aufgrund der Komplexität des Gehirns schwierig ist, geben solche Studien erste Anhaltspunkte und Orientierung für weitergehende Untersuchungen. Die Daten bzgl. der Neurogenese nach körperlicher Aktivität und sportlichem Training sowie die darauffolgende potentielle Integration in bestehende neuronale Netzwerke sind kontrovers und die neurobiologischen Mechanismen bislang kaum verstanden. Allenfalls scheint im Tierversuch jedoch ein positiver Zusammenhang zwischen der körperlichen Leistungsfähigkeit, die anhand der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_2 \text{ max}$ ) angegeben wird, dem Hippocampusvolumen und entsprechend gesteigerter Zellproliferation, der Gedächtnisleistung und kognitiven Fähigkeiten zu bestehen (Cotman et al., 2002). Weitere Untersuchungen legten den positiven Zusammenhang von bilateralem Hippocampusvolumen und besserem deklarativem Gedächtnis auch für sportliche Kinder dar (Chaddock et al., 2010). Ergänzende Studien weiteten diesen Zusammenhang auch auf Erwachsene aus (Chaddock et al., 2010).

Im Wesentlichen sind drei Wachstumsfaktoren, das Hormon Dopamin und Laktat, das in diesem Zusammenhang als Stoffwechselprodukt und Brennstoff diskutiert wird, als interne Einflussfaktoren zu betrachten.

#### a Brain-derived Neurotrophic Factor

Das Protein BDNF, das bei akuter Ausdauerbelastung im Serum messbar steigt, bewirkt durch Rezeptorbindung insbesondere im Prosencephalon, Hippocampus und motorischen Kortex eine signifikante Verbesserung von Konzentration und motorischen Gedächtnisleistungen (Skriver et al., 2014), weil es die synaptische Erregbarkeit und Übertragung modifiziert (Gomez-Pinilla und Feng, 2012). Es bedarf aber weiterer Klärung, inwiefern die basale BDNF-Konzentration mit der peripheren korreliert, und ob die besseren

kognitiven Leistungen nicht eher mit einer optimierten Verwertung zusammenhängen als mit einer höheren BDNF-Konzentration (Zimmer et al., 2015).

#### b Vascular Endothelial Growth Factor

Der Wachstumsfaktor VEGF führt ebenfalls zur vermehrten Neurogenese und synaptischen Plastizität (Ruiz de Almodovar, 2008). Des Weiteren kommt es bei körperlicher Belastung zur Zunahme von IGF-1, der zur verstärkten Neurogenese vor allem im Hippocampus führt, welcher die menschlichen Gedächtnisleistungen fundamental beeinflusst (Zimmer et al., 2015). Langzeitpotenzierung (Verstärkung des synaptischen Signals) und Langzeitdepression (Abnahme des synaptischen Signals) beeinflussen bei sich wiederholenden, weniger komplexen Bewegungsabläufen synaptische Stärkenveränderungen, ausgelöst durch eine vermehrte Bildung von Aktionspotenzialen. Sie führen so zu synaptischer Plastizität (Martin und Morris, 2002; Rioult-Pedotti und Donoghue, 2003; Sanes und Donoghue, 2000).

#### c Dopamin

Das Hormon Dopamin hat vielfältige Wirkungen und spielt eine Rolle für Motivation, Belohnung und Sucht, beim Lernen und für die Aufmerksamkeit.

Die Bedeutung von Dopamin aus Neuronen der Substantia nigra wird durch das Krankheitsbild des Morbus Parkinson eindrücklich vor Augen geführt. Der Verlust der dopaminergen Neurone führt bei Erkrankten zu einem schleichenden Verlust von Kognition und Emotion. Dass wesentliche Enzyme der Dopaminsynthese durch Sport induziert werden und diese so verstärkt werden kann, konnte im Tierversuch nachgewiesen werden (O'Dell et al., 2007). Ein zur prä- und postsynaptischen Aktivität simultaner Dopaminanstieg stärkt auch die kortikostriatale synaptische Plastizität (Beck und Beckmann, 2009 b; Reynolds und Wickens, 2002).

Erste Untersuchungen dokumentierten darüber hinaus einen Anstieg des Dopaminspiegels nach drei monatigem Life Kinetik®-Training (Lutz, 2020).

Folglich nimmt Sport mittlerweile sowohl in der Prävention als auch in der Therapie von neurodegenerativen Erkrankungen wie Multipler Sklerose, M. Parkinson oder M. Alzheimer, aber auch bei Depressionen einen hohen Stellenwert ein (Imboden und Hatzinger, 2016; Reuter und Ebersbach, 2012).

In Bezug auf das Neuerlernen von Bewegungsabläufen scheint aber nicht nur das nigrostriatale, sondern auch das mesolimbische Dopaminsystem von Bedeutung. Permanente Dopaminausschüttungen sind maßgeblich für motorische Abläufe; kurzzeitige Aktivierungen sind für Lernprozesse relevant (Cagniard et al., 2006; Smith et al., 2006) und treten auf, wenn ein Handlungsergebnis besser ist als erwartet (Beck und Beckmann, 2009 a), eine verminderte Aktivierung ist bei weniger gutem Ergebnis zu verzeichnen (Bayer und Glimcher, 2005; Hollermann und Schultz, 1998; Mirenowicz und Schultz, 1994; Waelti et al., 2001). Der klassischen Konditionierung nach Pawlow entsprechend, tritt nach einer gewissen Übungsphase der Belohnungseffekt bereits beim Stimulus, der regelhaft die Belohnung verspricht, ein. Bei unsicherem Belohnungseintritt scheinen einige dopaminerge Neurone graduell ihre Aktivität zu steigern (Fiorillo et al., 2003; Schultz, 2002).

Die neurowissenschaftlichen Befunde zeigen eine enge Verbindung zwischen Lernen und dopaminergem Aktivierung und stützen damit die Vermutung, dass Dopamin ein globales sowie sportmotorisches Lernsignal darstellt. Da Dopamin außerdem als Belohnungssignal fungiert, kann mangelnde Bewegung zu eben solchen Entzugserscheinungen, bspw. Nervosität, Herzrasen oder Verhaltensstörungen, führen, wie sie auch bei Suchtverhalten auftreten (Aidman und Woollard, 2003; Annett et al., 1997).

Die Ausführung motorischer Bewegungen beansprucht viele Hirnareale und eine große Anzahl von Neuronen. Um zeitgleich auf mehrere wahrgenommene Reize adäquat reagieren zu können, kommt es auf neuronaler Ebene kurzfristig zur Interaktion mehrerer Neuronenpopulationen und einer Synchronisation der Entladungstätigkeiten. So kann auf verschiedene Anforderungen, bspw. auf visueller wie motorischer Ebene, simultan eingegangen werden, ohne dass es zum neuronalen Umbau kommt. Greifbewegungen (Murthy und Fetz, 1996a; 1996b) und visuell gesteuerte Zielbewegungen (Prut et al., 1998) können zeitgleich durchgeführt werden.

In welcher Weise die oben erläuterten Botenstoffe die Hirnplastizität und motorische Abläufe im Detail beeinflussen, gilt es weiter zu untersuchen (Absatz angelehnt an Beck, 2008).

### 1.2.3 Differenzielles Lernen

Seit über 20 Jahren findet die Idee des differenziellen Lernens bereits Anwendung in der Sportdidaktik und Trainingskonzeption. Im Technikerwerbstraining beispielsweise werden multiple Situationen einmalig präsentiert und anschließend mit extremen Variationen trainiert (Schöllhorn et al., 2007). So besteht ständig die Chance für unerwarteten Bewegungserfolg, der mit dopaminergem Aktivität einhergeht. Je unterschiedlicher Bewegungsabläufe sind, desto variabelere Aktivierungstopologien entstehen und umso größer wird das Netzwerk eingebundener Neuronen. Dies ermöglicht Veränderungen und Verbesserungen nahezu automatisierter Bewegungstechniken durch einfachere Integration weiterer Neurone in die Bewegungsrepräsentation (Beck, 2008). Grundgedanken dieses Lernkonzepts finden sich auch im Life Kinetik®-Training wieder.

## 1.3 Life Kinetik®

### 1.3.1 Das Konzept Life Kinetik®

Der Diplomsportlehrer und Inhaber der A-Trainerlizenz im Fußball Horst Lutz hat ein Trainingskonzept entwickelt, das visuelle Wahrnehmung, Motorik und kognitive Leistungen eng miteinander verzahnt. Er knüpft dabei an den neusten Stand sport-neurologischer Forschung an. Bereits bekannt ist, dass zwar im Wesentlichen in der Embryogenese und Fetalperiode, aber auch post partum (Vaz et al., 2022) noch neue Neuronen entstehen, diese aber ausschließlich bei Beanspruchung erhalten bleiben (Kempermann, 1997; Eriksson, 1998). Eine zunehmende Intensität rein körperlicher Beanspruchung verstärkt die hippocampale Neurogenese. Um einen besonders rasch einsetzenden Effekt zu erzielen, ist die Neuartigkeit einer Bewegungsaufgabe von entscheidender Bedeutung (Beck, 2005). Des Weiteren fiel auf, dass durch sportliche Aktivität die Erhaltungswahrscheinlichkeit der neu generierten Neuronen steigt, je komplexer die Aufgabenstellung ist (Shors, 2010). Neue synaptische Vernetzungen von Neuronen, die im Rahmen von sportlicher Aktivität ausgebildet wurden, können nicht nur für die eine körperliche Bewegung, die sie generiert hat, profitabel sein. Darüber hinaus fördern sie die Wahrnehmung und ermöglichen zügigere Reaktionen auf externe Reize; so lassen sich positive Auswirkungen auch auf weitere Denkvorgänge übertragen (Hummel, 2022).

Bei der ursprünglichen Konzeption seiner Trainingsmethode berief Lutz sich auf das Gehirn-Körper-Modell nach Josef Mohr, der kongruent zur Steuerung der rechten Körperhälfte durch die linke Hirnhemisphäre und umgekehrt (Lateralität), das Gehirn auch noch in eine vordere und hintere (Fokussierung) sowie obere und untere (Zentrierung) Hirnhälfte einteilt. Aus diesen drei Dimensionen ergeben sich verschiedene Bausteine, die bei der Zusammensetzung der Übungen eine Rolle spielen. Das Trainingskonzept fußt auf interessanten, abwechslungsreichen und herausfordernden Übungen (Müller, 2018), mit automatisationsfreiem Üben durch unbegrenzte Steigerungsformen. In Grundformen wird zunächst einzeln in den Dimensionen, anschließend abwechselnd und später parallel trainiert, sodass beispielsweise Sprünge mit kreisenden Armbewegungen und Zählen gekoppelt werden. Die sich stetig ändernden Anforderungen beanspruchen das Arbeitsgedächtnis und verlangen kognitive Flexibilität und eine starke inhibitorische Kontrolle (Kubesch et al., 2009), um Bewegungsimpulse zu unterdrücken (Grünke, 2011). Die immer wechselnden motorischen Anforderungen generieren eine hohe motorische Variabilität in der Bewegungskaskaden, die das Erlernen neuer Bewegungskaskaden für das sensomotorische System begünstigt (Dhawale et al., 2017).

Ein besonderer Fokus liegt zusätzlich auf dem visuellen System. Dabei wird das mentale Training in Form von Vorstellungskraft mit Training der Augenmuskulatur und des Sehbereichs kombiniert. Wie die typische Skelettmuskulatur muss auch die Augenmuskulatur trainiert werden und degeneriert bei Nichtbeanspruchung. Die visuelle Wahrnehmung macht schätzungsweise 85 % der menschlichen Sinneswahrnehmung aus und beeinflusst damit nachhaltig kognitive Leistungen und die Auge-Hand- bzw. Auge-Fuß-Koordination (Demirakca et al., 2016). Diese Koordinationsfähigkeiten nehmen in der frühen Jugend mit steigendem Alter zu, wobei Jungen im Alter von acht bis 16 Jahren durchweg bessere Leistungen erbrachten als Mädchen (Wicks et al., 2015). Zur peripheren Wahrnehmung spielt der Sehbereich eine Rolle, welcher im Wesentlichen durch die Verarbeitungskapazität der Sehrinde bestimmt wird. Überdies fällt eine Übertragung der Vorteile funktionaler Augenfolgebewegungen in den Alltag leicht, bspw. zur Einschätzung von Entfernungen oder Geschwindigkeiten.

Beim multimodalen Life Kinetik®-Training nach Lutz ist die permanente Anforderung und Neuheit einer Aufgabe, bei deren ungewissem Erfolg ein Belohnungsgefühl eintritt, gegeben.

Die oben angesprochene Übertragung neuronaler Vernetzungen erklärt, warum Life Kinetik® zur Steigerung des Selbstbewusstseins, der Selbstständigkeit und der Stressresistenz führt und Kinder, die regelmäßig Life Kinetik®-Übungen absolvieren, aufgeschlossener, kreativer und ordentlicher sind als Gleichaltrige (Lutz, 2020).

### 1.3.2 Bisherige Studien zu Life Kinetik®

Die neuartige Kombination aus kognitiven und simultanen koordinativ-motorischen Anforderungen erwies sich bereits bei Kindern mit gravierenden Lernauffälligkeiten zwischen neun und zwölf Jahren als vorteilhaft. Nach einem über fünf Wochen stattfindenden Training wies die Testgruppe deutliche Steigerungen der Aufmerksamkeits- und Intelligenzwerte auf (Grünke, 2011). Darüber hinaus manifestierte sich bei Grundschulkindern bei identischer Studiendauer nach dem Life Kinetik®-Training eine gesteigerte kognitive Flexibilität im Vergleich zur gleichaltrigen Kontrollgruppe (Pietsch et al., 2017). Die multiplen motorischen Anforderungen lassen hierbei keine Rückschlüsse auf konkrete Übungen und Auslöser zu. Interessanterweise offenbarte auch das Beherrschen eines Musikinstruments ähnliche Effekte (Pietsch et al., 2017).

Ebenso konnte im Bereich des Leistungssports eine vorteilhafte Wirkung des Life Kinetik®-Trainings festgestellt werden. In vielen professionellen Sportmannschaften kommt dem Life Kinetik®-Training mittlerweile eine große Bedeutung zu. Neben dem alpinen Skifahrer Felix Neureuther, der nach einer erfolglosen Saison mit dieser Trainingsform bei ihrem Begründer Horst Lutz in Kontakt kam, absolvierte auch die Erstliga-Fußballmannschaft von Borussia Dortmund von 2008 bis 2010 ein wöchentlich einstündiges Life Kinetik®-Training. Inwiefern ein Zusammenhang mit den Meistertiteln 2011 und 2012 besteht, kann indes nicht geklärt werden (Hummel, 2022). Nach sieben Wochen mit 60-minütigem spezifischem Training pro Woche erzielte die Testgruppe des Drittliga-Handballteams signifikant bessere Ergebnisse bezüglich ihrer Entscheidungsqualität und -geschwindigkeit als ihre Kontrollgruppe derselben Mannschaft (Gras P, 2011: Untersuchung zur spieltaktischen Leistungsfähigkeit im Handballsport und Life Kinetik®. Diplomarbeit an der Sporthochschule Köln, Institut für Kognitions- und Sportspielforschung, unveröffentlicht). Ski-Alpin-Profiathlet Felix Neureuther erwähnt eine Beschleunigung der Entscheidungsgeschwindigkeit (Neureuther, 2015).

Auch international gibt es Studien u.a. mit Jugendfußballern, die zeigen, dass schon nach zwei Monaten mit wöchentlich einstündigem Training nach der Idee von Horst Lutz die Proband:innen bessere Leistungen in den Bereichen der Konzentration, der Reaktionsgeschwindigkeit und hinsichtlich ihres Fehlerprozentsatzes im sportlichen Kontext aufweisen sowie ein gesteigertes Selbstbewusstsein haben (Komarudin et al., 2021). Anhand von Urin- und Speichelproben wurde bei Proband:innen mit einstündigem Life-Kinetik®-Training über drei Monate ein deutlich besserer und erholsamerer Schlaf dokumentiert, einhergehend mit abnehmender Stressempfindung und -belastung (Hummel, 2022).

Vor Durchführung der eigenen Studie gab es keine Untersuchung, die den Einfluss eines in dieser besonderen Weise komplexen Trainings auf Jugendliche im Kontext des Schulsports eruierte. Die geplante Studie sollte den Effekt des Life Kinetik®-Trainings für diese Zielgruppe untersuchen, um dieses zukünftig als Bestandteil im Sportunterricht zu etablieren, von dessen Nutzen die Jugendlichen sowohl im schulischen Alltag als auch im Freizeit- und Leistungssport profitieren könnten.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Idee der Studie**

Primärziel dieser Studie war es, die Effekte von fünf Life Kinetik<sup>®</sup>-Einheiten in fünf Wochen auf die Aufmerksamkeit und kognitive Flexibilität von Jugendlichen im Alter von 14-16 Jahren darzustellen.

Ursprünglich sollten die erzielten Effekte des Life Kinetik<sup>®</sup>-Trainings zwischen den Schüler:innen der Gymnasialklassen und jugendlichen Volleyballer:innen verglichen werden. Auf den Vergleich dieser beiden Gruppen, musste aufgrund der ungewissen Situation im Vereinssport durch die COVID-19-Pandemie kurzfristig verzichtet.

### **2.2 Aufbau der Studie**

Es handelt sich um ein Messwiederholungsdesign mit verschiedenen Messzeitpunkten und einem Zwischensubjektfaktor (Life Kinetik<sup>®</sup> vs. klassisches Training). Die teilnehmenden Sportkurse wurden randomisiert der Interventions- und Kontrollgruppe zugeteilt. Die Trainingseinheiten fanden regelmäßig einmal wöchentlich im Rahmen des Sportunterrichts in fünf aufeinanderfolgenden Wochen statt. Während die Interventionsgruppe nach Life Kinetik<sup>®</sup> trainierte, absolvierte die Kontrollgruppe ein klassisches Bewegungstraining. Der Schulsport zum Ende der Mittel- und zu Beginn der gymnasialen Oberstufe hat zum einen Entwicklungsförderung durch Bewegung, Spiel und Sport und zum anderen Erschließung der Bewegungs-, Spiel-, und Sportkultur zum Ziel (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019). Im Rahmen dessen absolvierten die unterrichteten Gruppen der Kontrollgruppe entweder eine Reihe zu ballgebundenen Sportarten oder eine Reihe zu Lauftechniken und Ausdauer. Die Zuteilung wurde gemeinsam mit den Lehrkräften nach den Maßgaben der Praktikabilität bezogen auf die Stundenpläne der Schüler:innen und die Kapazität der Lehrkräfte erarbeitet.

### **2.3 Stichprobenrekrutierung**

Die Studie wurde am Lise-Meitner-Gymnasium in Willich-Anrath durchgeführt. In Zusammenarbeit mit dem Mittelstufenkoordinator und Sportlehrer der Schule Ralph Reckeweg

wurde dieses Projekt in den Lehrplan im Rahmen der neu zu etablierenden Reihe „Vital Kinetik“ integriert.

Als Proband:innen fungierten alle drei Kurse der Einführungsphase (EF) sowie eine neunte Klasse, wobei zwei Kurse der 10. Jahrgangsstufe (EF) als Interventionsgruppe unterrichtet wurden. Die fünf Life Kinetik®-Einheiten waren für alle Teilnehmenden identisch. Sie wurden Herrn Reckeweg sowie den betreuenden Sportlehrer:innen vor Beginn des Trainingszyklus übermittelt und mithilfe von detailliertem Text sowie Erklärvideos durch die Lehrkräfte und Verena Richter angeleitet. Jede Life Kinetik®-Einheit beinhaltete ein 60-minütiges Training pro Proband:in und wurde jeweils im Zweierteam durchgeführt, wobei einige Übungen paarweise, andere auch einzeln zu absolvieren waren. Die Testungen, die an vier Trainingsterminen durchgeführt wurden, nahmen jeweils etwa zehn bis 15 Minuten in Anspruch. Nach sechs weiteren Wochen, in denen für alle vier Lerngruppen regulärer Sportunterricht gegeben wurde, erfolgte eine abschließende Testung. Vor dem ersten Termin wurden die Teilnehmenden über den Ablauf der Studie mündlich und schriftlich informiert, füllten gemeinsam mit ihren Eltern die Einwilligung und Eingangsfragebögen aus und wurden mit dem Trainingskonzept vertraut gemacht.

Alle Proband:innen wurden über das Studienziel und die Durchführung der Untersuchung in allgemein verständlicher Form aufgeklärt. Ausschlusskriterien wurden explizit erfragt. Außerdem wurden die Schüler:innen darauf hingewiesen, dass die Teilnahme an der Studie absolut freiwillig ist und jederzeit widerrufen werden kann, ohne dass hierdurch Nachteile zu befürchten sind.

Das Einverständnis der Proband:innen wurde schriftlich mittels einer in allgemein verständlicher Form abgefassten Erklärung (siehe Anlagen) eingeholt. Die Proband:innen und ihre gesetzlichen Vertreter:innen erklärten hierin ihr Einverständnis für die Teilnahme an der Studie.

Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Uni Bonn mit der Laufenden Nr. 407/20 geprüft und genehmigt.

Für die Schüler:innen ergab sich kein Mehraufwand oder Nachteil, da alle Life Kinetik®-Einheiten im Rahmen ihres Sportunterrichts und vollumfänglich entsprechend der derzeit gebotenen Hygiene- und Abstandsregelungen stattfanden. Schüler:innen, die nicht an der

Life Kinetik®-Studie teilnahmen, absolvierten dieselben Übungen, die als angebotener Sportunterricht verstanden wurden, unterzogen sich aber nicht den verschiedenen Testungen zur Verlaufsbeobachtung. Die komplette Studiendurchführung verlief pseudonymisiert, sodass lediglich die Präsentation im Sportunterricht, nicht jedoch die Testergebnisse in die Schulnote mit einfließen konnten.

Abb. 1 zeigt den Gesamtaufbau und Verlauf der Studienbestandteile.



**Abb. 1:** zeitlicher Ablauf der Studie

## 2.4 Trainingseinheiten

Alle Übungen wurden im Vorfeld mit den anleitenden Lehrkräften eingeübt und zusätzlich durch umfangreiche Erklärvideos visualisiert. Die Übungen dienen der Verknüpfung motorischer Fähigkeiten mit kognitiver Leistung und peripherer Wahrnehmung und sind für Jugendliche der Jahrgangsstufen neun und zehn umsetzbar. Jede Übung ist mit Steigerungsformen versehen, wobei nicht erst zur nächstschwereren Form übergegangen werden sollte, wenn die vorherige Stufe automatisiert wurde. Beim Beherrschen der Grobform

werden wechselnde Situationen geschaffen und neue Reize gesetzt. Eine latente Reizüberflutung fördert die Handlungsschnelligkeit, wobei nicht auf Überforderung abgezielt wird.

Exemplarisch soll im Folgenden eine Trainingseinheit ausführlich erläutert werden, alle weiteren Trainingseinheiten finden sich im Anhang. Es wird deutlich, welche Sinneswahrnehmungen zeitgleich angesprochen werden und inwieweit reflexartige Bewegungen inhibiert werden müssen.

#### 2.4.1 Exemplarische Trainingseinheit

Diese Übung beinhaltet viele koordinative Anforderungen des Alltags. Eine Bewegungskette von einfachen Bewegungen mit Armen und Beinen wird gekoppelt mit einer Drehbewegung. Die Befehle werden akustisch verdeutlicht, wobei später auch Aufgaben für das visuelle System folgen.

Es wird zu zweit trainiert. Bevor eine Übung gesteigert wird, wechseln zunächst werfende und trainierende Person. Bei frustrierten Übungen kann auch zunächst gewechselt und anschließend die Übung wiederholt werden. Dies gilt fortlaufend für alle Übungen.

##### *Grundübung:*

Die Partner:innen stehen mit einem Abstand von etwa zweieinhalb Metern gegenüber, wobei die Trainingsperson der/dem Werfenden den Rücken zukehrt. Die/der Werfende wirft zunächst einen Ball und gibt zudem ein Kommando – links oder rechts – um welche Schulter sich die Übungsperson drehen soll, um dann den Ball mit derselben Hand zu fangen.

Vorschlag Wiederholungsanzahl/Trainierende: drei (danach Wechsel)

→ Erfordert die akustische Wahrnehmung der Anweisung und die Übertragung auf zwei aktive Bewegungsausführungen.

1. Steigerungsform: Es wird genau das Gegenteil vom erteilten Kommando getan.  
→ Erfordert die Inhibition der bislang geläufigen Bewegungsantworten auf das akustische Signal und die Verknüpfung mit der jeweils gegenteiligen Bewegungsrichtung.

2. Steigerungsform: Ein Kommando – links oder rechts – gilt sowohl für die Drehung als auch für die Fanghand und das vorne stehende Bein.

→ Erfordert die akustische Wahrnehmung der Anweisung und die Übertragung auf drei aktive Bewegungsausführungen.

3. Steigerungsform: Zum Kommando der Drehung kommt das Kommando der Fanghand, wobei immer das zur Fanghand entgegengesetzte Bein vorne stehen soll.

→ Erfordert das Erschließen der dritten Bewegungshandlung abhängig von der Anweisung zur zweiten Bewegungshandlung.

4. Steigerungsform: Das Kommando zur Drehung wird nun durch eine Zahl von eins bis neun angegeben. Gerade Zahl – links herum, ungerade Zahl – rechts herum. Das Kommando zur Fanghand bleibt, welches Bein vorne steht, ergibt sich daraus.

→ Erfordert neben dem akustischen Verständnis das Übersetzen des Kommandos in die Bewegungsanweisung, bevor der Bewegungsablauf eingeleitet werden kann.

5. Steigerungsform: Das Kommando zur Drehung wird weiterhin durch eine Zahl angegeben, jenes zur Fanghand durch ein Obst – links, oder ein Gemüse – rechts. Das entgegengesetzte Bein steht jeweils vorne.

→ Erfordert den kognitiven Transfer von akustischer Wahrnehmung bis zur Deutung der Anweisung für zwei Elemente, woraus sich die Anweisung für die dritte Bewegungshandlung ergibt.

6. Steigerungsform: Zusätzlich zum Kommando der Drehung wird jetzt auch das Kommando für den Fuß durch eine Zahl angegeben, sodass jetzt zusammengesetzte Zahlen entstehen. Die Fanghand wird weiterhin durch Obst oder Gemüse angegeben.

→ Erfordert den kognitiven Transfer von akustischer Wahrnehmung bis zur Deutung der Bewegungsanweisung für drei Bewegungshandlungen. Dabei verändert sich die Reihenfolge der Ansage der Anweisungen und es entstehen neue Kombinationsmöglichkeiten.

## **2.5 Verhaltensuntersuchungen und Datenerhebung**

Die Auswirkungen des Life Kinetik®-Trainings auf Aufmerksamkeit und kognitive Flexibilität wurden mithilfe von unterschiedlichen neuropsychologischen Tests untersucht. Hier ging es einerseits um Kurzzeiteffekte, die mittels Papier-Bleistift-Testung zwei Mal direkt

vor der Intervention erfasst wurden, sowie Langzeiteffekte, die mit Hilfe einer Handy-App aufgezeichnet wurden. Diese wurde von CogniFit® bereitgestellt und jede:r Teilnehmende bekam die Testbatterien zur Verfügung gestellt. Die Kosten wurden von der Abteilung Kinderkardiologie des Universitätsklinikum Bonn übernommen. CogniFit® ist ein anerkanntes Trainingsprogramm, das von wissenschaftlichen Zeitschriften unabhängig validiert wurde (Shah et al., 2017). Alle Brain-Fitness-Programme wurden klinisch getestet. Die Rohdaten wurden von dem Unternehmen übermittelt und durch das Studienteam ausgewertet.

### 2.5.1 Test für Kurzzeiteffekte

Test d2 – Revision: Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest (Brickenkamp, Schmidt-Atzert & Liepmann, 2010):

Dieser Test misst die Konzentration bei Aufgaben, die Aufmerksamkeit verlangen (konzentrierte Aufmerksamkeit). Er erfasst Konzentrationsfähigkeit, Schnelligkeit und Genauigkeit bei der Unterscheidung ähnlicher visueller Reize (Detail-Diskrimination). In der Papier-Bleistift-Version des Tests ist die Aufgabe der Proband:innen, unter Zeitbegrenzung bestimmte Zeichen zu finden und zu markieren, während alle übrigen ignoriert werden sollen.

Der Wert der Konzentrationsleistung ist unabhängig von der individuellen Akzentuierung von Tempo oder Genauigkeit robust in Bezug auf das Phänomen des speed-accuracy tradeoff. Das heißt, der Kennwert ist unabhängig von der Schwerpunktsetzung der Proband:innen zugunsten der Geschwindigkeit oder der Genauigkeit möglichst immer gleich. Im Gegensatz zum Vorgängertest d2 ist durch die Erweiterung von 47 auf 57 Zeichen pro Zeile allgemein nicht mit einem Deckeneffekt zu rechnen. Der Deckeneffekt beschreibt hier die Problematik, dass eine Testzeile nicht ausreichend Zeichen hat, um auch bei besonders hoher Bearbeitungsgeschwindigkeit der Proband:innen die Ergebnisse noch differenzieren zu können. Das Verhältnis von Zielobjekten, also der Zeichen, die richtigerweise abgestrichen werden müssen, zu Distraktoren, Zeichen, die ähnlich, aber anders sind, liegt bei 1 : 2,22 (Brickenkamp et al., 2010). Zur Übung bearbeiteten die Studienteilnehmenden im Vorfeld der ersten Testung zunächst einen Probebogen. Obwohl auch der

Test d2-R händisch ausgewertet wird, besteht eine nahezu perfekte Auswertungsobjektivität. Für eine Testwiederholung nach zehn Tagen ergaben vorangegangene Studien eine recht hohe Retest-Reliabilität für die Bearbeitungsgeschwindigkeit (0,92) und die Konzentrationsleistung (0,85), während die Fehlerprozentzahl deutlich sank (0,47). Hierfür scheinen zunächst keine plausiblen Gründe erkennbar, wobei für die letztgenannte Variable bei Testwiederholung allgemein mit deutlich niedrigeren Werten zu rechnen ist (Briekenkamp et al., 2010). Übungsgewinne durch Testwiederholung sind keineswegs spezifisch für den Test d2, denn auch für andere Konzentrationstests wurden vergleichbare Effekte beobachtet (Bühner, 2001; Westhoff und Dewald, 1990). So müssen sie im Allgemeinen auch bei den Testungen durch die CogniFit®-App berücksichtigt werden.

### 2.5.2 Tests für Langzeiteffekte

Die folgenden Tests zur Erhebung der Langzeiteffekte wurden mittels CogniFit®-Anwendung durchgeführt:

#### Stroop Test

Zur Testung von Inhibitionsfähigkeit und Interferenzkontrolle wird der Stroop Test verwendet. Hierbei werden den Teilnehmenden farbige Wörter präsentiert. Die Wörter bezeichnen selbst eine Farbe, die von der Farbe des Worts abweichen kann (also inkongruent ist und interferiert) oder dieselbe sein kann (kongruent ist). Die Aufgabe der Teilnehmenden ist es, eine Taste zu drücken, wenn Wort und Farbe kongruent sind. Insgesamt dauert die Aufgabe ca. vier Minuten. Primäre Endpunkte sind die Reaktionszeiten und die Anzahl der korrekt beantworteten Durchgänge.

#### Der Ball und die Farben

Dieser Test dient der Erfassung von geteilter Aufmerksamkeit und Inhibitionsfähigkeit und dauert zwei Minuten. Er besteht aus zwei Aufgaben, die gleichzeitig ausgeführt werden sollen. Die Teilnehmenden sollen einen Ball mit dem Mauszeiger verfolgen und gleichzeitig werden in der Mitte des Bildschirms nacheinander Farbwörter in verschiedenen Farben präsentiert. Sobald der Name der Farbe mit der Farbe der angezeigten Buchstaben übereinstimmt, soll eine Taste gedrückt werden. Primäre Endpunkte sind die Reaktionszeiten und die Anzahl der korrekt beantworteten Durchgänge.

### Nummern und Formen

Dieser Test dient der Erfassung von Interferenzkontrolle und kognitiver Flexibilität und dauert ca. drei Minuten. In jedem Durchgang werden nebeneinander zwei Kreise gezeigt, in denen jeweils eine Zahl zu sehen ist. Die Größe der Kreise und die Zahlen variieren in jedem Durchgang. Im ersten Teil des Tests ist es die Aufgabe der Teilnehmenden, so schnell wie möglich auf den größeren der beiden Kreise zu klicken. Nach der Hälfte der Zeit ändert sich die Aufgabe und sie sollen sie auf den Kreis klicken, in dem die größere Zahl präsentiert wird.

### 2.5.3 Fragebögen

Mithilfe von den drei im folgenden genannten Fragebögen (Tab. 1) wurden einmalig zu Beginn der Studie, vor dem ersten Training und nach Vorlage des schriftlichen Einverständnisses demographische sowie bewegungsrelevante Daten erhoben, um ggf. die erhobenen Testergebnisse entsprechend einordnen zu können.

**Tab. 1:** Übersicht der einbezogenen Fragebögen

<b>Verfahren</b>	<b>Funktion</b>
Demographischer Fragebogen	Zur Erfassung demographischer Daten wie Alter, Gewicht, Händigkeit, etc.
Fragebogen zur Ausgangslage	Erfassung von Ereignissen am Testtag (z.B. Zeitpunkt der letzten Nahrungsaufnahme, Medikamenteneinnahme)
Exercise-Motivation-Inventory (EMI-2; Markland and Ingledew, 1997)	Sportmotivation

## 2.6 Datenverarbeitung und Analysemethoden

Zur Auswertung der erhobenen Daten wurden t-Tests und Varianzanalysen, nicht-parametrische Alternativen zur Varianzanalyse sowie Korrelationsanalysen mit SPSS Statistics 29 (IBM, Armonk, NY, USA) durchgeführt.

## 2.7 Stichprobendesign

**Tab. 2:** Ein- und Ausschlusskriterien zur Studienteilnahme

<b>allgemeine Einschlusskriterien</b>	<b>Ausschlusskriterien</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alter zwischen 13 und 16 Jahren</li> <li>• Der Proband/Die Probandin ist in der Lage, alle mündlich und schriftlich erteilten Informationen vollständig zu erfassen und ist damit einverstanden, an der Studie teilzunehmen.</li> <li>• Der Proband/Die Probandin muss eine rechtswirksame Einverständniserklärung abgeben (sowie eine Einverständniserklärung beider Erziehungsberechtigter).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht unterzeichnete Einverständniserklärung.</li> <li>• Limitierende Erkrankungen.</li> </ul>

Zuvor existierte keine Studie zu den Effekten von Life Kinetik® bei Jugendlichen, sodass sich die Fallzahlberechnung an einer vorherigen Studie, die durch das Life Kinetik®-Training positive Effekte auf kognitive Funktionen von Kindern mit Lernauffälligkeiten erzielen konnte, orientierte. Grünke (2011) konnte einen positiven Einfluss des Life Kinetik®-Trainings auf die Aufmerksamkeit von 19 lernauffälligen Kindern im Alter von neun bis zwölf Jahren zeigen. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe (n=15) zeigte die Life Kinetik® Gruppe eine mittelgroße Verbesserung im Test d2-R (Cohen's  $d=0.52$ ). Da die teilnehmenden Jugendlichen in unserer Studie in der Regel keine Lernschwierigkeiten aufwiesen und älter waren als die Stichprobe von Grünke (2011), erwarteten wir etwas kleinere Effektgrößen. Zudem fand in der Studie von Grünke (2011) ein 25-minütiges Training fünf Wochen lang dreimal wöchentlich statt, der zeitliche Umgang war also etwas höher als in unserer Studie.

Zur Stichprobenumfangsplanung wurde das Programm G\*Power 3.1 benutzt ([www.gpower.hhu.de](http://www.gpower.hhu.de)). Dabei wurde die Stichprobengröße als Funktion des Power-Levels  $1-\beta$ , des Signifikanzlevels  $\alpha$  und der Populationseffektgröße berechnet. Die Berechnungen wurden für verschiedene statistische Modelle durchgeführt, die für unsere Untersuchung relevant sind (z.B. Testungen auf Mittelwertunterschiede). Bei kleinen bis moderaten Effektgrößen,  $\alpha = 0.05$  und einigen wenigen erwarteten Dropouts sollten pro Gruppe in etwa 30 Proband:innen (insgesamt 60 Proband:innen) rekrutiert werden, um eine Power von 0.95 zu erreichen.

Alle Teilnehmenden wurden darüber aufgeklärt, dass sie jederzeit und ohne Angabe von Gründen die Untersuchung abbrechen können.

Ein:e Proband:in wäre bei Rückzug der Einwilligungserklärung oder nicht erfüllten Einschlusskriterien (Tab. 2) aus der Studie ausgeschlossen worden; durch vorzeitigen Studienabbruch oder innerhalb einer Testreihe unvollständige Datensätze konnten die Ergebnisse einiger Teilnehmenden nicht vollständig in die Auswertung einfließen.

### 3. Ergebnisse

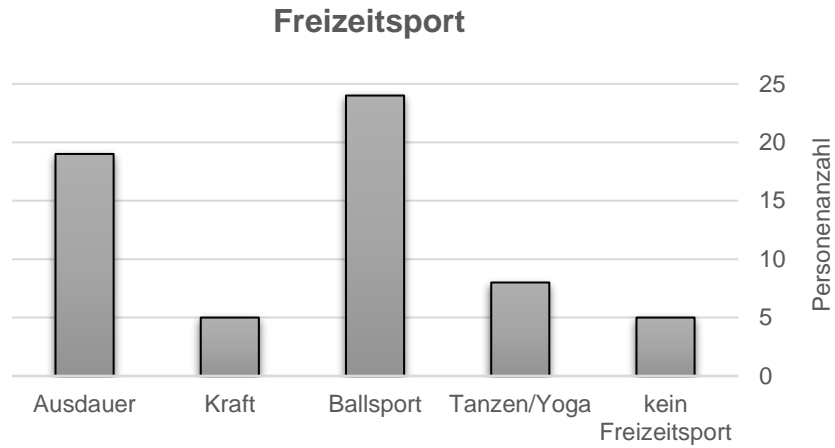
Im Folgenden werden die Ergebnisse der Proband:innenfragebögen sowie der kognitiven Tests präsentiert. In die statistische Auswertung letzterer fließen nur Daten derjenigen Teilnehmenden mit ein, die an allen Testzeitpunkten einer jeweiligen Testreihe anwesend waren. Das verhindert grobe Verfälschungen durch einzelne Testpersonen und bedingt die unterschiedlichen Gruppengrößen.

#### 3.1 Demographie

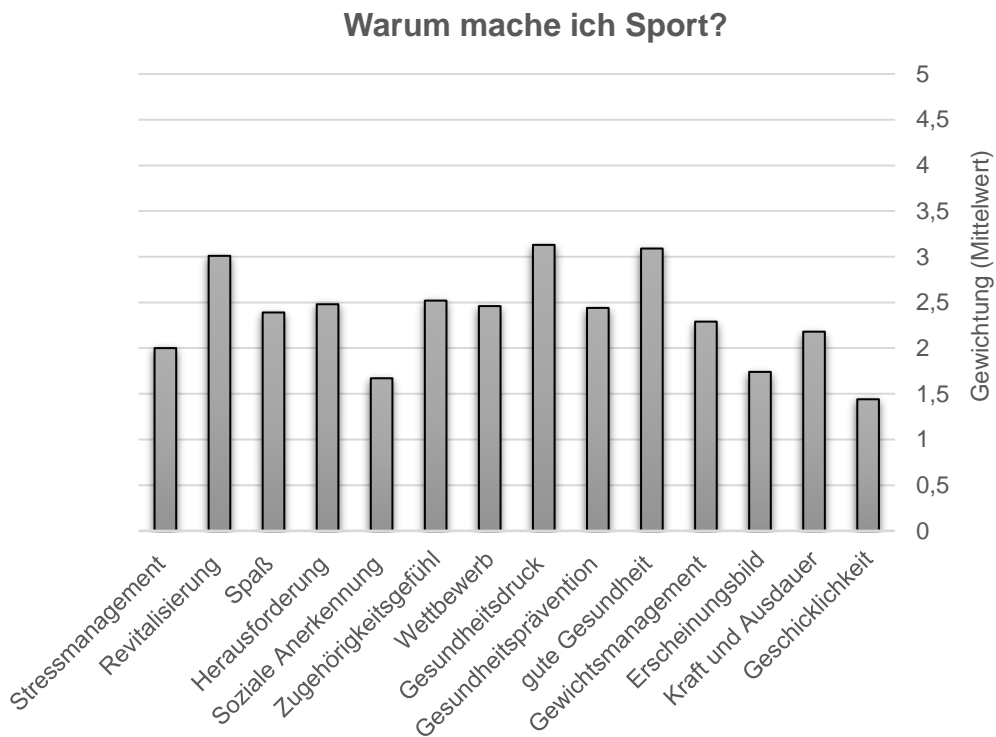
**Tab. 3:** Stichprobencharakteristika, Mittelwerte mit Standardabweichungen.

	<b>Kontrollgruppe (n = 26)</b>	<b>Interventionsgruppe (n = 25)</b>
<b>Alter in Jahren</b>	14,46 ± 0,71	15,16 ± 0,37
<b>Größe in cm</b>	170,23 ± 10,29	172,88 ± 9,99
<b>Gewicht in kg</b>	59,36 ± 10,41	61,72 ± 10,71

Genaue Charakteristika der Stichprobe sind der Tabelle 3 zu entnehmen. Aus konzeptionellen Gründen bilden zwei Sportkurse aus der zehnten Klasse die Proband:innen für die Interventionsgruppe, die Kontrollgruppe setzt sich hälftig aus Schüler:innen des neunten und des zehnten Schuljahrs zusammen. Grundsätzlich treten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Studiengruppen bezogen auf Größe und Gewicht auf. Alle Teilnehmenden verfügen über sehr gute Deutschkenntnisse. Bis auf wenige Ausnahmen treiben alle Jugendlichen, die an der Studie teilnehmen, regelmäßig Sport in ihrem Alltag. Mehrfachnennungen sind bei verschiedenen Kategorien möglich, wobei Ball- und Ausdauersport die größten Anteile der betriebenen Sportarten der Jugendlichen bilden (Abb. 2).



**Abb. 2:** Art des regelmäßig betriebenen Freizeitsports der Proband:innen, Mehrfachnennung möglich.



**Abb. 3:** Anreize, Sport zu treiben der Proband:innen.

Bei der untersuchten Stichprobe herrschen insgesamt recht heterogene Gründe für sportliche Aktivität in ihrer Freizeit, was durch die Mittelwerte, die nur gering vom Median der Ordinalskala abweichen, unterstrichen wird. Den höchsten Stellenwert nimmt bei den Gymnasiast:innen im Mittel der positive Effekt auf die Gesundheit (3,1/5) ein, während gesellschaftliche Anerkennung (1,7/5) oder das äußere Erscheinungsbild (1,7/5) die Motivation, Sport zu treiben, nicht auffällig positiv beeinflussen (Abb. 3).

### **3.2 Test d2-Revision Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest**

Die Ergebnisse des d2-Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest nach Brickenkamp wurden händisch zusammengefasst und mittels ANOVA mit Messwiederholung mit dem Zwischensubjektfaktor Gruppe und der Innersubjektvariable Messzeitpunkte ausgewertet. Dabei liegt der Fokus auf den Variablen Geschwindigkeit, Konzentrationsleistung und Fehlerprozentzahl.

Die ANOVA (Tab. 4) zeigt, dass sich die durchschnittliche Geschwindigkeit, also die Summe der bearbeiteten Zielobjekte (BZO), für die zwei Gruppen zu den beiden Testzeitpunkten statistisch signifikant unterscheidet,  $p < 0,001$ . Während die Interventionsgruppe ihre Leistung um 18,4 % von im Mittel 168 auf 199 bearbeitete Zielobjekte bei der Wiederholungstestung steigert, verbessert sich die Kontrollgruppe nur um knapp 8 %, bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 179 Zeichen zum ersten und 193 Zeichen zum zweiten Testzeitpunkt.

Zur Gewährleistung der Normalverteilung wurde bei der Analyse der Fehlerprozentzahl (F %) ein Fall ausgeschlossen, wobei die Tendenzen und die Signifikanz der Daten dadurch nicht beeinflusst wurden. Die durchschnittliche Fehlerprozentzahl, die sich aus Auslassungs- und Verwechslungsfehlern zusammensetzt, unterscheidet sich zu den beiden Zeitpunkten statistisch signifikant,  $p = 0,04$ . Die Wechselwirkung der Gruppe und des Zeitpunkts für die Summe der Konzentrationsleistung ist nicht signifikant,  $p = 0,858$ , die Verbesserung der beiden Gruppen fast identisch. Die Kontrollgruppe verbessert sich von neun auf sieben Fehlerprozent, die Interventionsgruppe von zehn auf sieben.

Beide Studiengruppen verbessern sich ebenfalls signifikant ( $p < 0,001$ ) in Bezug auf die Konzentrationsleistung (KL) vom ersten zum zweiten Testzeitpunkt. Die Kontrollgruppe

erlangt bei der ersten Testung eine durchschnittliche Leistung von 160 Punkten, zwei Wochen später liegt sie bei 178 Punkten, was einer Verbesserung von 11,2 % entspricht. Die Steigerung der Interventionsgruppe erweist sich als signifikant größer,  $p = 0,02$ ; sie erreicht im Schnitt 152 Punkte zu Beginn und 185 beim Verlaufstest, verbessert sich also um 21,6 %.

**Tab. 4:** Übersicht der erzielten Mittelwerte im Test d2-R beim ersten und zweiten Testzeitpunkt, *Signifikanzprüfung mittels ANOVA*

BZO: bearbeitete Zielobjekte, F%: Fehlerprozentzahl, KL: Konzentrationsleistung

Z/G: Korrelation Zeitpunkt und Studiengruppe

K: Kontrollgruppe, I: Interventionsgruppe

	1. Testung		2. Testung		F	<i>p</i>	$\eta_p^2$	F	<i>p</i>	$\eta_p^2$
	K n = 19	I n = 29	K n = 19	I n = 29						
<b>BZO</b>	178,63 ± 30,68	168,38 ± 26,66	192,84 ± 37,10	198,62 ± 36,65	46,467	< 0,001	0,16	61,09	< 0,001	0,50
<b>F%</b>	10,25 ± 9,52	9,54 ± 7,30	8,55 ± 10,66	6,83 ± 6,99	9,39	0,04	0,173	0,03	0,858	0,001
<b>KL</b>	160,16 ± 32,10	151,86 ± 23,90	178,05 ± 44,76	184,66 ± 33,54	61,09	< 0,001	0,50	6,04	0,02	0,12

### 3.3 CogniFit® - Testungen

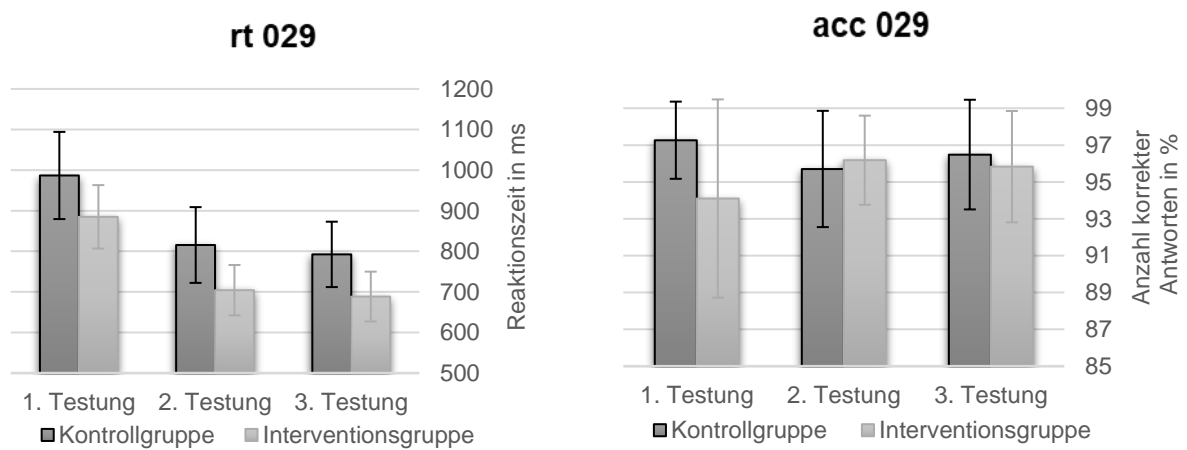
Die verschiedenen Variablen der drei CogniFit®-Testungen wurden mit unterschiedlichen statistischen Verfahren analysiert.

#### 3.3.1 Farben und Wörter (Stroop)

Beide Studiengruppen erzielen vor Interventionsbeginn durchschnittlich deutlich unterschiedliche Reaktionszeiten für richtige Antworten (K:  $986,76 \pm 201,52$  ms; I:  $884,82 \pm 157,23$  ms) und verbessern sich fast gleichermaßen um 170 ms zum Interventionsabschluss. Im Follow-up ist die Differenz zwischen den beiden Gruppen im Vergleich zum Vortest im Mittel lediglich um 2 ms erhöht und liegt bei 104 ms, da sich die Interventionsgruppe ebenso steigert ( $688,46 \pm 123,47$  ms) wie die Kontrollgruppe ( $792,44 \pm 151,07$  ms), vgl. Abb. 4a und Abb. 4b. Insgesamt ermittelte eine Mixed-ANOVA mit Messwiederholung mit dem Zwischensubjektfaktor Kontroll- und Interventionsgruppe, sowie dem Zeitpunkt als Innersubjektvariable (Tab. 5), dass die Reaktionszeitveränderung über die Zeit für korrekt ausgewählte Antworten als signifikant zu betrachten ist,  $p < 0,001$ . Die Wechselwirkung der Gruppe und des Zeitpunkts für die Reaktionsgeschwindigkeit korrekter Antworten ist nicht signifikant. Beide Gruppen tendieren in dieselbe Richtung, wobei die Veränderungen der Kontrollgruppe, wie oben beschrieben, größer sind als die der Interventionsgruppe,  $p = 0,899$ .

Bei unklarer Normalverteilung wurde für die Anzahl der, von 16 möglichen, korrekten Antworten eine Robustheitsanalyse mittels nicht parametrischen Tests durchgeführt. Dessen Ergebnisse weichen qualitativ nicht von denen der ANOVA ab, sodass weiterhin die Daten der ANOVA ausgewertet werden. Sie ergibt keine signifikanten Unterschiede für die beiden Gruppen,  $p = 0,952$ . Die Wechselwirkung der Gruppe und des Zeitpunkts für die Anzahl korrekter Antworten erweist sich, wie der Übersichtstabelle zu entnehmen ist, als nicht signifikant,  $p = 0,476$ .

## Farben und Wörter (Stroop)



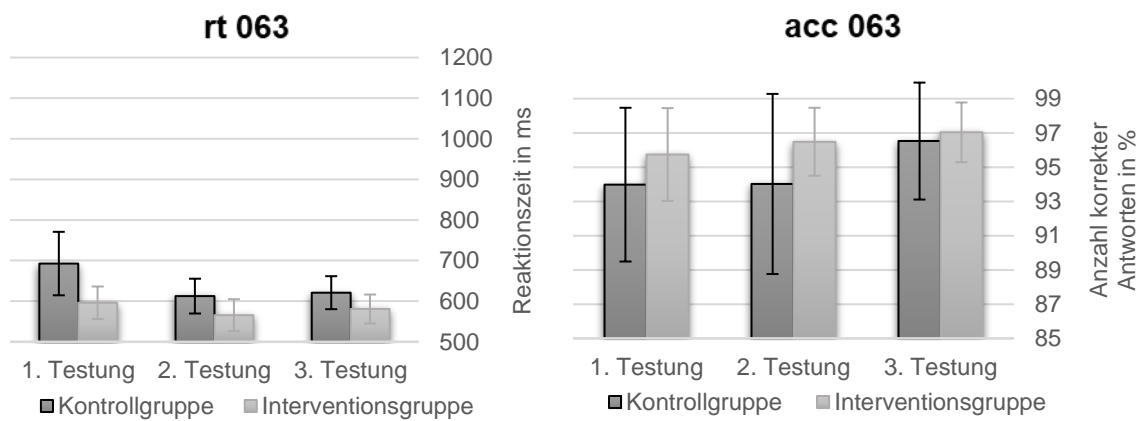
**Abb. 4:** Reaktionszeit (links) und Bearbeitungsgenauigkeit (rechts) „Farben und Wörter“ jeweils mit einfacher Standardabweichung

### 3.3.2 Nummern und Formen

Für den Test „Nummern und Formen“ zeigte eine Mixed-ANOVA mit Greenhouse-Geisser-Korrektur (Tab. 5), dass sich die durchschnittliche Reaktionszeit für korrekt ausgewählte Antworten in den beiden Gruppen statistisch signifikant unterscheidet,  $p = 0,011$ , wobei sich die Interventionsgruppe durchweg auf einem höheren Niveau befindet (K:  $692,59 \pm 146,69$  ms; I:  $596,06 \pm 85,57$  ms). Beide Studiengruppen verkürzen ihre Reaktionszeit vom ersten zum zweiten Testzeitpunkt, also parallel zur Intervention (Verbesserung um etwa 30 ms) bzw. zum Training der Kontrollgruppe (Verbesserung um etwa 80 ms). Bei der Testung auf anhaltende Effekte sechs Wochen nach Interventionsabschluss sind die Proband:innen zwar immer noch besser als zu Studienbeginn, das hohe Niveau des zweiten Testzeitpunkts können sie im Mittel aber nicht halten, wobei sich die beiden Gruppen annähern (K:  $620,83 \pm 76,27$  ms; I:  $580,70 \pm 76,23$  ms), vgl. Abb. 5a und Abb. 5b. Die Wechselwirkung der Gruppe und des Zeitpunkts für die Reaktionsgeschwindigkeit korrekter Antworten ist nicht signifikant,  $p = 0,221$ .

Für die Anzahl der korrekten Antworten dividiert durch die Anzahl der möglichen Antworten ergeben sich für keine der zwei Gruppen signifikante Unterschiede,  $p = 0,26$ . Die Ergebnisse liegen in beiden Gruppen allerdings durchweg bei über 90 %, sodass sich beide Studiengruppen im Verlauf zwar verbessern, die Wechselwirkung von Gruppe und Zeitpunkt sich allerdings nicht als signifikant erweist,  $p = 0,72$ .

## Nummern und Formen



**Abb. 5:** Reaktionszeit (links) und Bearbeitungsgenauigkeit (rechts) „Nummern und Formen“ jeweils mit einfacher Standardabweichung

**Tab. 5:** Übersicht der erzielten Werte der CogniFit®-Erhebung mit Standardabweichung, Signifikanzprüfung mittels ANOVA mit Messwiederholung

Rt: Reaktionszeit in Millisekunden (ms), Acc: Genauigkeit  
 Z/G: Korrelation Zeitpunkt und Studiengruppe  
 K: Kontrollgruppe, I: Interventionsgruppe

021: Der Ball und die Farben  
 029: Farben und Wörter  
 063: Nummern und Formen

	Vor Intervention		Zum Interventionsabschluss		Sechs Wochen nach Interventionsabschluss		F	p	$\eta_p^2$	F Z/G	p Z/G	$\eta_p^2$
	K	I	K	I	K	I						
<b>Rt (ms)</b>	1072,97	963,10	1009,21	914,78	964,63	834,25	4,725	0,012	0,132	0,109	0,90	0,04
<b>021</b>	± 215,78	± 185,37	± 253,30	± 200,19	± 168,94	± 109,42						
<b>Acc (%)</b>	73,13	91,17	81,80	96,67	92,07	96,44	18,37	<0,001	0,372	6,34	0,007	0,170
<b>021</b>	± 24,49	± 7,00	± 18,90	± 3,66	± 7,70	± 5,07						
<b>Rt (ms)</b>	986,76	884,82	815,53	704,20	792,44	688,46	29,208	<0,001	0,477	0,019	0,890	0,001
<b>029</b>	± 201,52	± 157,23	± 175,12	± 124,77	± 151,07	± 123,47						
<b>Acc (%)</b>	97,26	94,10	95,70	96,18	96,48	95,83	0,49	0,952	0,002	0,751	0,476	0,023
<b>029</b>	± 3,93	± 10,82	± 5,92	± 4,86	± 5,58	± 6,06						

**Fortführung Tab.5:** Übersicht der erzielten Werte der CogniFit®-Erhebung mit Standardabweichung, Signifikanzprüfung mittels ANOVA mit Messwiederholung  
 Rt: Reaktionszeit in Millisekunden (ms), Acc: Genauigkeit  
 Z/G: Korrelation Zeitpunkt und Studiengruppe  
 K: Kontrollgruppe, I: Interventionsgruppe

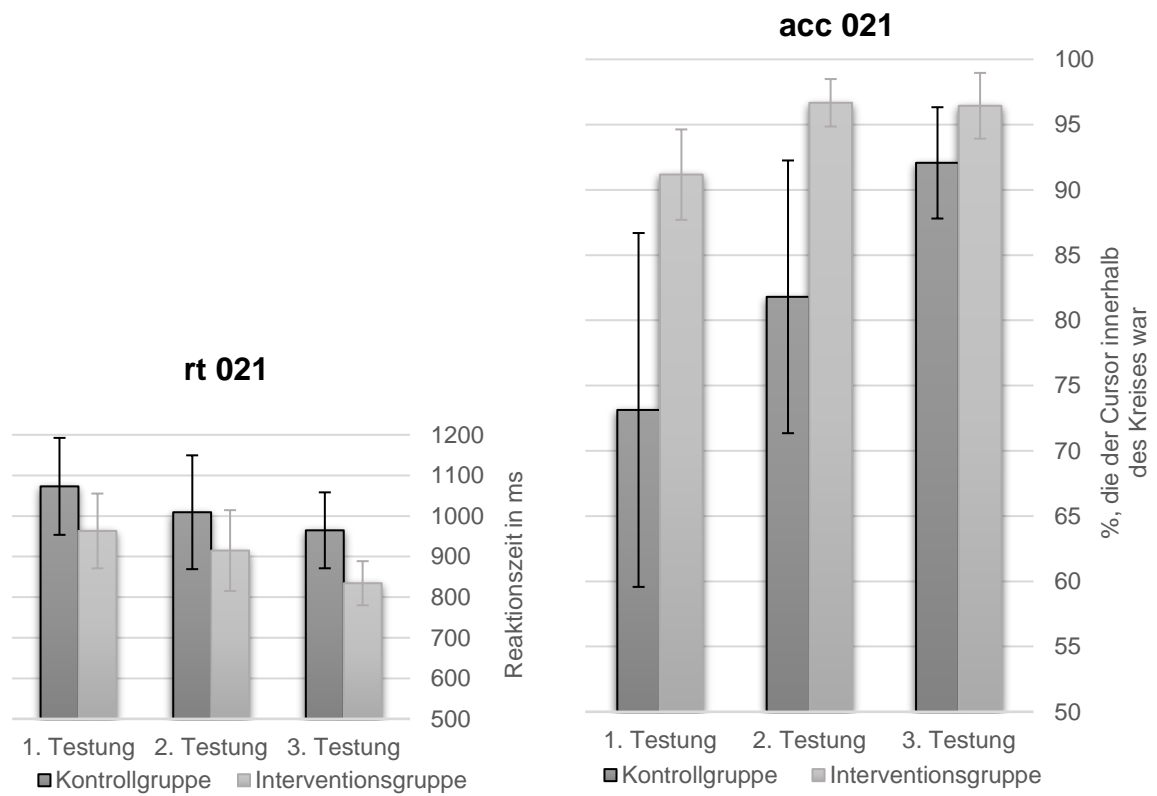
	Vor Intervention		Zum Interventionsabschluss		Sechs Wochen nach Interventionsabschluss		F	p	$\eta_p^2$	F Z/G	p Z/G	$\eta_p^2$
	K	I	K	I	K	I						
<b>Rt 063 (ms)</b>	692,59 ±146,69	596,06 ± 85,57	612,46 ± 80,50	565,47 ± 84,09	620,83 ± 76,27	580,70 ± 76,23	5,62	0,011	0,142	1,56	0,221	0,044
<b>Acc 063 (%)</b>	93,98 ± 8,43	95,74 ± 5,80	94,02 ± 9,87	96,48 ± 4,24	96,53 ± 6,41	97,04 ± 3,72	1,38	0,26	0,04	0,33	0,72	0,01

### 3.3.3 Der Ball und die Farben

Eine Mixed-ANOVA (Tab. 5) zeigte, dass sich die durchschnittliche Reaktionszeit für korrekt ausgewählte Antworten in beiden Gruppen an den drei Testzeitpunkten statistisch signifikant unterscheidet,  $p = 0,012$ . Im Mittel verbessern sich die Teilnehmenden beider Gruppen vom Vortest (K:  $1072,97 \pm 215,78$  ms; I:  $963,10 \pm 185,37$  ms) zum Test zum Abschluss der Intervention um gut 60 ms in der Kontrollgruppe und knapp 50 ms in der Interventionsgruppe (K:  $1009,21 \pm 253,30$  ms; I:  $914,78 \pm 200,19$  ms). Auch nach sechs weiteren interventionsfreien Wochen verkürzen sich die Reaktionszeiten in beiden Gruppen noch einmal (K:  $964,63 \pm 168,94$ ; I:  $834,25 \pm 109,42$ ), vgl. Abb. 6a und Abb. 6b. Hier ist die Verbesserung der Interventionsgruppe mit 80 ms deutlich größer als die der Kontrollgruppe (45 ms). Die Wechselwirkungen der Gruppe und des Zeitpunkts für die Reaktionsgeschwindigkeit korrekter Antworten sind nicht signifikant,  $p = 0,90$ . Keine Studien­gruppe weist hier eine auffällige Veränderung im Verlauf der Erhebung auf.

Für den Prozentsatz zu dem der Cursor richtig innerhalb des Kreises war, ergibt eine Mixed-ANOVA in beiden Gruppen signifikante Unterschiede für die drei Testzeitpunkte,  $p < 0,001$ . Die Wechselwirkungen der Gruppe und des Zeitpunkts sind ebenfalls signifikant ( $p = 0,007$ ) zugunsten der Kontrollgruppe. Diese steigert sich im gesamten Studienzeitraum um fast 20 % ( $73,13 \pm 24,49$  % auf  $92,07 \pm 7,70$  %), während sich die Interventionsgruppe lediglich um 5 % verbessert, am Ende aber eine Genauigkeit von 96,44 % erzielt.

## Der Ball und die Farben



**Abb. 6:** Reaktionszeit (links) und Bearbeitungsgenauigkeit (rechts) „Der Ball und die Farben“ jeweils mit einfacher Standardabweichung

### 3.3.4 Differenzierter Zeitpunktvergleich

Die Ergebnisse der CogniFit®-Testungen wurden im Anschluss mithilfe von drei zweizeiligen ANOVAs (Tab. 6) näher aufgeschlüsselt. Ausschnitte daraus werden im Folgenden knapp beschrieben, wobei eine ausführliche Darstellung der Tabelle 7 im Anhang (S. 61) zu entnehmen ist.

**Tab. 6:** Differenzierte statistische Analyse für die Ergebnisse der CogniFit® -Erhebung, Signifikanzprüfung mittels ANOVA mit Messwiederholung  
Rt: Reaktionszeit, Acc: Genauigkeit  
Z: Zeitpunkt, Z/G: Korrelation Zeitpunkt und Studiengruppe

	1. zum 2.		2. zum 3.		1. Zum 3.	
	Testzeitpunkt		Testzeitpunkt		Testzeitpunkt	
	<i>p</i> Z	<i>p</i> Z/G	<i>p</i> Z	<i>p</i> Z/G	<i>p</i> Z	<i>p</i> Z/G
<b>Rt 021</b>	0,385	0,775	0,404	0,158	0,004	0,441
<b>Acc 021</b>	< 0,001	0,196	0,003	0,003	< 0,001	0,016
<b>Rt 029</b>	< 0,001	0,988	0,232	0,642	< 0,001	0,919
<b>Rt 063</b>	0,011	0,290	0,289	0,653	0,239	0,465
<b>Acc 063</b>	0,299	0,914	0,352	0,538	0,138	0,486

Zur weitergehenden Differenzierung wurden die Veränderungen der Testergebnisse zwischen dem ersten und zweiten, dem zweiten und dritten sowie dem ersten und dritten Erhebungszeitpunkt separat beleuchtet. Im Wesentlichen können keine signifikanten Wechselwirkungen von Zeitpunkt und Gruppe festgestellt werden. Die intergruppalen Unterschiede insbesondere beim Vergleich des ersten und zweiten Testzeitpunkts sowie des ersten und dritten Testzeitpunkts stechen jedoch hervor.

## 4. Diskussion

Abschließend gilt es nun, die Ergebnisse der Umfragen und der Erhebungen zu diskutieren und einzuordnen. Darauf folgend werden Limitationen der Studie und Verbesserungsoptionen für spätere Forschungsprojekte aufgeführt, anhand derer ein kurzer Ausblick gegeben werden soll.

Die Tendenzen zu etwas höheren Werten bezogen auf Alter, Größe und Gewicht in der Interventionsgruppe lassen sich durch die logistisch bedingte Zuteilung der Sportkurse zu den beiden Studiengruppen erklären. Im Wesentlichen unterscheidet sich unsere Stichprobe nicht von der Allgemeinbevölkerung und ihren Gründen, Sport zu treiben, wie eine Statista-Umfrage aus dem Jahr 2018 erhob. Auch hier steht die Gesundheit an erster Stelle (Kunst, 2018), während das äußere Erscheinungsbild zweitrangig ist.

Die Datenlage, in welchem Umfang Jugendliche im Bundesdurchschnitt Sport treiben, ist nicht eindeutig durchsichtig. Während Pawlik (Pawlik, 2022) beschreibt, dass nur 46,2 % der 14- bis 19-jährigen im Jahr 2021 mehr als einmal in der Woche Sport treiben, resümiert das Robert Koch-Institut, dass es zwischen 2009 und 2012 76 % der 14- bis 17-jährigen waren, zwischen 2014 und 2017 immerhin noch 67 % (Robert Koch-Institut, 2020). In diesem Zusammenhang müssen die Einflüsse und Einschränkungen durch die COVID 19-Pandemie Berücksichtigung finden, die die bereits in den Vorjahren ersichtlichen Tendenzen intensiviert haben. Inwieweit der soziale Hintergrund und das Umfeld eine Rolle dabei spielen, dass die Proband:innen unserer Studie im Jahr 2021 zu über 90 % regelmäßig Sport treiben, bleibt offen.

### 4.1 Test d2-Revision Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest

Der Test d2-R nach Rolf Brickenkamp liefert drei Kennwerte, welche die Konzentrationsfähigkeit, das Arbeitstempo und die Genauigkeit bei der Bearbeitung des Tests indizieren sollen. Diese drei Messvariablen sollen bei konzentriertem Arbeiten valide sein, wie es beispielsweise im Beruf oder in Prüfungssituationen der Fall ist (Brickenkamp et al., 2010). Dem Auswertungsmanual entsprechend war für die Interventionsgruppe mit ihrem leicht höheren Durchschnittsalter zu Beginn ein etwas besseres Abschneiden zu erwarten.

#### 4.1.1 Ergebnisanalyse

Zum ersten Testzeitpunkt, zu dem bereits eine Interventionsstunde stattgefunden hatte, erzielten die Proband:innen dieser Gruppe allerdings deutlich schlechtere Ergebnisse als die Vergleichsgruppe. Auf den an den Schulalltag angepassten Studienaufbau zurückzuführen, nahmen letztlich drei einstündige Trainingseinheiten Einfluss auf die zweite Erhebung mittels Test d2-R. Sowohl bei der Bearbeitungsgeschwindigkeit als auch bei der Konzentrationsleistung, die zusätzlich die Fehlerprozentzahl berücksichtigt, steigerte sich die Interventionsgruppe stärker als die Kontrollgruppe. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Interventionsgruppe auf einem niedrigeren Niveau startete und vermeintlich mehr Verbesserungspotential bestand. Der ausschlaggebende Unterschied im Vergleich zur ersten Testung ist im Wesentlichen auf die verschieden starke Veränderung der Geschwindigkeit zurückzuführen, die Fehlerprozentzahl divergiert kaum; Kontrollgruppe - 26,51 %, Interventionsgruppe - 28,41 %. Die Interventionsgruppe präsentierte sich damit bei allen drei erhobenen Variablen bei der zweiten Testung besser. Der Revision des d2-Tests im Jahr 2008 geschuldet, verfügt das aktuelle Manual (2010) noch nicht über eine hinreichende Datenlage in Bezug auf Übungseffekte. Eine einzige aufgeführte Studie legt nahe, dass bei einer Testwiederholung innerhalb eines Tages die durchweg leicht verbesserten Werte als Übungseffekt interpretiert werden können, bei einer Testwiederholung nach zehn Tagen ein solcher aber nicht nachzuweisen ist. Für die Vorgängerversion wurden im Allgemeinen noch stärkere Übungseffekte konstatiert (Brickenkamp et al., 2010).

#### 4.1.2 Einordnung

Die durch den Test d2-R aufgezeichneten, signifikanten Ergebnisse im Rahmen dieser Studie legen auch unter Berücksichtigung eines potentiellen Übungseffekts insgesamt einen bereits kurzzeitig nachweisbaren, positiven Effekt des Life Kinetik®-Trainings bezogen auf die kognitiven Leistungen nahe. Damit entsprechen die Ergebnisse unserer Erhebung den Ergebnissen vorausgegangener Studien, die die Effekte von Life Kinetik®-Training mit dem Test d2-R überprüften, häufig aber über eine längere Studienphase verfügten.

Aus Tierversuchsstudien sind vor geraumer Zeit bereits Vorteile der Kombination von simultanem körperlichem und kognitivem Training, wie es auch der Ursprungsidee von Life

Kinetik<sup>®</sup> entspricht, hervorgegangen. Insbesondere die Leistung des Arbeitsgedächtnis konnte so erheblich verbessert werden (Langdon und Corbett, 2011). In dieselbe Richtung, wenn auch etwas weniger abstrakt, zielen die Feststellungen von Winkler (2014). So fördern Spielsportarten die Exekutivfunktionen, also übergeordnete kognitive Kontrollfunktionen wie Planen, Entscheidungsfindung und mentale Flexibilität, deutlich stärker als Sportarten mit monotonen, sich gleichartig wiederholenden Bewegungsabläufen. Ähnlich sind auch die Ergebnisse einer Studie an gesunden Senior:innen des Deutschen Zentrums für neurodegenerative Erkrankungen einzuordnen. Eine 18-monatige Intervention mit kreativen Tanzstunden steigerte nicht nur das Hippocampusvolumen, wie auch nach traditionellem Gesundheitsfitnessstraining observiert, sondern zeigte darüber hinaus Volumenzunahmen im linken Gyrus dentatus und im rechten Subiculum sowie einen signifikant besser funktionierenden Gleichgewichtssinn (Rehfeld et al., 2017).

Hier knüpft das Life Kinetik<sup>®</sup>-Konzept ebenso an wie an die Grundlagen des Erlernens neuer Fertigkeiten. So wie Life Kinetik<sup>®</sup>-Begründer Horst Lutz es voraussetzt, war bereits in den 1980-er Jahren (Hirtz, 1988) bekannt, dass die Neuartigkeit einer Aufgabe und das Trainieren über dem individuellen Niveau sich positiv auf die koordinativen Fähigkeiten auswirken (Wimmler, 2018). Bei einer Gruppe von zwölf gesunden Erwachsenen (Durchschnittsalter  $48 \pm 9$  Jahre) wies die Forschungsgruppe um Psychologin Demirakca mittels MRT verstärkte Konnektivität des visuellen Kortex mit dem prämotorischen Kortex nach zwölfwöchigem Life Kinetik<sup>®</sup>-Training nach. Im Vergleich zur Kontrollgruppe gab es zudem funktionelle Veränderungen in Subregionen des visuellen Kortex, bspw. zur Bewegungswahrnehmung und für das periphere Sehen (Demirakca et al., 2016). Die in Rede stehende Forschungsarbeit zeigte überdies intensivierete Verknüpfungen des auditorischen Kortex mit somatosensorischen Arealen.

Weitere neuroradiologische Nachweise wären zweifelsohne auch für das jugendliche Alter von immensem Interesse.

Des Weiteren ist erwähnenswert, dass die Mittelwerte der Ergebnisse unserer Studienteilnehmenden durchweg über dem Allgemeindurchschnitt des Auswertungsmanuals lagen. Per Konvention wird der Bereich  $\pm 0,5$  Standardabweichungen um den Mittelwert als Durchschnitt klassifiziert, Abweichungen von 0,5 bis 1,5 Standardabweichungen gelten als hoch oder niedrig, solche mehr als 1,5 Standardabweichungen als sehr hoch oder

sehr niedrig. Zum ersten Testzeitpunkt befanden sich die Proband:innen verglichen mit gleichaltrigen Testpersonen etwa im Durchschnitt (Ausnahme Kontrollgruppe für BZO und KL: hohes Niveau), bei der zweiten Erhebung erzielten alle Gruppen für die Bearbeitungsgeschwindigkeit und für die Konzentrationsleistung Ergebnisse, die in hohem Maße über dem Allgemeindurchschnitt der entsprechenden Altersklasse liegen. Da die Stichprobe mit Schüler:innen eines Gymnasiums erhoben wurde und damit nicht den vollständigen Querschnitt der jugendlichen Gesellschaft widerspiegelt, überrascht dieses Resultat nicht.

## **4.2 CogniFit® - Testungen**

### 4.2.1 Ergebnisanalyse

Auf die Entwicklungen der CogniFit®-Ergebnisse soll nachfolgend näher eingegangen werden.

Wie den Diagrammen zu entnehmen ist, verhielten sich die Veränderungen in Bezug auf die Reaktionszeiten für richtig gewählte Antworten für alle drei Untertests bei beiden Gruppen sehr ähnlich. Unterschiedlich präsentieren sich hingegen die damit einhergehenden Veränderungen in der Beantwortungsgenauigkeit.

Bezogen auf die Reaktionszeit (rt 029) für richtige Antworten für den Test „Farben und Wörter“ (Stroop-Test) verlaufen die Veränderungen annähernd parallel, sodass der Rückschluss auf eine einwirkende Intervention nicht gezogen werden. Die allgemein diffusen Entwicklungen und unklare Ergebnislage bei der Anzahl richtiger Antworten (acc 029) im Stroop-Test, der Inhibitionsfähigkeit und Interferenzkontrolle misst, sind nicht abschließend zu ergründen. Weder bei der Interventions- noch bei der interventionsfreien Vergleichsgruppe zeichnen sich klare Richtungen ab. Während die Kontrollgruppe sich vom ersten bis zum dritten Testzeitpunkt leicht verschlechterte, verbesserte sich die Interventionsgruppe in demselben Zeitraum. Beide Gruppen erreichten in der Follow-up-Testung damit sehr ähnliche Werte. Insofern ist dieser Variable keine spezifische Aussagekraft zu entnehmen.

An dieser Stelle ist jedoch zu erwähnen, dass sich alle in unserer Studie erzielten Ergeb-

nisse auf einem hohen Niveau befinden, während die Schwankungen bei beiden Studiengruppen sehr gering waren. Es sticht hervor, dass die gesamte Stichprobe unserer Studie bei der Variablen, die die Genauigkeit der genannten Aufgabe (acc 029) beschreibt, schlechter abschnitt, als der Durchschnitt der 14-16-Jährigen. Die Vergleichsdaten für 11- bis 13-Jährige und 14- bis 16-Jährige wurden von CogniFit® zur Verfügung gestellt. Analog zu den Ergebnissen des Tests d2-R liegen bei allen anderen erhobenen Variablen die mitgeteilten Durchschnittsergebnisse geringfügig bis deutlich unter denjenigen, die sowohl die Interventions- als auch die Kontrollgruppe im Mittel erreicht haben. Zudem weisen mit einer Ausnahme (Kontrollgruppe in acc 029) alle Mittelwerte in unseren Studiengruppen eine kleinere Standardabweichung auf, als es durchschnittlich bei den kumulierten Daten der Firma CogniFit® der Fall ist. Dies überrascht im Allgemeinen nicht, da Schüler:innen eines Gymnasiums die Kohorte bildeten.

Die Aufgabe „Nummern und Formen“ dokumentiert Interferenzkontrolle und kognitive Flexibilität. Hier zeigte sich bei beiden Studiengruppen eine Verbesserung der Reaktionszeit (rt 063) vom ersten zum zweiten Testzeitpunkt, also parallel zur Intervention bzw. dem Training der Kontrollgruppe. Bei der Testung auf anhaltende Effekte sechs Wochen nach Interventionsabschluss waren die Proband:innen zwar immer noch besser als zu Studienbeginn, das hohe Niveau des zweiten Testzeitpunkts wurde im Mittel aber nicht gehalten. Dafür stieg in beiden Gruppen die Bearbeitungsgenauigkeit immer weiter an, wobei die Verbesserung der Kontrollgruppe aus einer schlechteren Ausgangslage kommend relativ etwas größer war. Die deutlichen Unterschiede der Ausgangsleistungen und intergrupale Tendenzänderungen in den beiden Studienintervallen erschweren die finale Interpretation der Ergebnisse. Anhand dieser Testung kann kein klarer Einfluss des Life Kinetik®-Trainings erfasst werden. In Anlehnung an die Ergebnisse des Tests d2-R wäre eine signifikante Leistungssteigerung der Interventionsgruppe parallel zur Intervention erwartbar, die daraufhin stagniert oder leicht abnimmt, während die Kontrollgruppe stets dieselben Tendenzen aufweist.

Ebenso sind bei beiden Gruppen bei der Aufgabe „Nummern und Formen“ keine signifikanten Veränderungen abhängig von der Gruppenzugehörigkeit hinsichtlich der Genauigkeit (acc 063) zu berichten. Wie auch bei den anderen Aufgaben liegen die

Ergebnisse der Interventionsgruppe von Beginn an über dem Niveau der Kontrollgruppe und beide Gruppen verbessern sich im Verlauf. Im Unterschied zu den anderen beiden CogniFit®- Aufgaben ist aber eine leichte Steigerung aller Proband:innen zu verbuchen.

Die Proband:innen der Interventionsgruppe erzielten beim Test „Der Ball und die Farben“ gemittelt bessere Ergebnisse und befanden sich zum ersten Testzeitpunkt vor Beginn der Intervention bereits auf einem erkennbar höheren Niveau. Die Verbesserung der Geschwindigkeit (rt 021) bei richtigen Antworten, die ein Indikator für die Inhibitionsfähigkeit ist, gestaltet sich in beiden Gruppen nahezu identisch; vier Wochen nach Studienbeginn haben sich beide Gruppen um etwa 50 ms verbessert, im Follow up nach weiteren sechs Wochen sind beide Gruppen durchschnittlich 110 ms schneller als beim ersten Testzeitpunkt. Hier scheint es sich insgesamt um einen Übungseffekt in ähnlichem Ausmaß zu handeln, während die Intervention keinen signifikanten Einfluss auf die Testergebnisse nahm.

Die geteilte Aufmerksamkeit der Teilnehmenden spiegelt der Prozentsatz, zu dem der Cursor innerhalb des Kreises war, wider (acc 021). Auch hier lieferten die Schüler:innen, die anschließend Life Kinetik®-Übungen absolvierten, bereits zu Beginn deutlich bessere Werte, sodass ihr Verbesserungspotential im Verlauf geringer ausfiel. Obwohl sich die Interventionsgruppe über die drei Testzeitpunkte um nur fünf Prozentpunkte verbesserte, erreichte sie auch bei der letzten Erhebung einen höheren Prozentsatz. Hier ist gleichfalls von einem Übungseffekt auszugehen. Die sehr ähnlichen Werte für die Genauigkeit ab dem zweiten und insbesondere am Testzeitpunkt für potentielle Langzeiteffekte liegen im Deckeneffekt des Aufgabentyps begründet.

Im Gesamtvergleich mit allen ermittelten Daten erscheinen die Veränderungen in der Genauigkeit beim Test „Der Ball und die Farben“ besonders in der Kontrollgruppe auffällig. Bei dieser Variablen sind die größten intergruppalen Unterschiede zu erkennen und das Niveau der Kontrollgruppe blieb bei der Eingangstestung deutlich hinter dem der Interventionsgruppe zurück. Im Studienverlauf wurde die Diskrepanz zwar zusehends kleiner, eine abschließende Interpretation dieser Entwicklung wird aber gleichfalls durch das Phänomen des Deckeneffekts verwehrt. Ins Auge fällt hier die große Standardabweichung bei den Ergebnissen der Kontrollgruppe zu den ersten beiden Testzeitpunkten, sodass ein Anwendungsfehler bei der digitalen Testdurchführung hier vor dem Hintergrund der sonst

ähnlichen Testergebnisse plausibel scheint.

Auf die Auswertung weiterer Outcome-Maße musste mangels Normalverteilung verzichtet werden. Infolgedessen wurde ein differenzierter Zeitpunktvergleich für die drei Testungen mittels CogniFit® angestellt.

Die bereits zu Beginn deutlichen intergruppalen Leistungsunterschiede indizieren, wie für einzelne Variablen bereits erwähnt, unterschiedliches Entwicklungspotential, was eine abschließende Interpretation des Interventionseinflusses erschwert. Im Studienverlauf minimierte sich der zunächst signifikante Unterschied der Gruppen. Das lässt vermuten, dass sich Veränderungen durch die Intervention nicht in den Testergebnissen widerspiegeln, sondern eher ein Übungs- und Kennenlernerfolg bei wiederholter Testung Einfluss auf die Resultate genommen hat, sodass sich die Entwicklung als annähernd parallel darstellt.

Die Interventionsgruppe zeigte bei fünf von sechs erhobenen Variablen zu jedem Zeitpunkt bessere Leistungen. Die Gruppengröße und Anzahl der Testungen sind zudem ursächlich für eine hohe Sensibilität in Bezug auf Abweichungen und Ausrutscher und erschweren die Interpretation der durchgeführten Studie. Im Allgemeinen ist nicht abschließend nachvollziehbar, wie die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Gruppen zustande kommen. Die randomisierte Zuteilung der vier Sportkurse zu den beiden Studiengruppen könnte die heterogenen Ausgangsleistungen erklären, wie sie sich auch in der demographischen Zusammensetzung bemerkbar macht. Die Aufgaben mit unterschiedlichen Anforderungen sind besonders sensitiv, um den Effekt des Life Kinetik®-Trainings auf kognitive Leistungen aufzuschlüsseln.

Da sich insgesamt aber keine einheitlichen Tendenzen abzeichnen, ist der Einfluss der Übungseinheiten im Rahmen dieser Studie nicht endgültig auszumachen.

#### 4.2.2 Einordnung

Zum aktuellen Zeitpunkt existieren keine Studien, die die Testbatterie des Anbieters CogniFit® vor einem ähnlichen Hintergrund wie unserem analysiert haben. Daher können keine direkten Vergleiche angestellt werden, sondern es kann lediglich diskutiert werden, welche Ergebnisse erwartbar waren und plausibel erscheinen.

Grundsätzlich entsprechen die Ergebnisse des Tests d2-R der Erhebung den zuvor formulierten Erwartungen und den Berichten ähnlicher Studien. Aufgrund der gewählten Testzeitpunkte übersteigt der aufgezeigte Effekt diese sogar. Angesichts der diversen Ergebnisse durch die CogniFit®-Testungen und der etwas kürzeren Studiendauer als es bisher in anderen Forschungsprojekten der Fall war, muss nunmehr kritisch hinterfragt werden, wodurch diese Diskrepanz entstand und inwieweit alle Studienergebnisse vollumfänglich auf die Intervention zurückzuführen sind. Dies sollte bei der Betrachtung der Ergebnisse nicht vernachlässigt werden.

Zunächst scheint unklar, warum eine Intervention, die auf langfristige Effekte abzielt, positive Entwicklungen im Kurzzeittest d2-R widerspiegelt, länger anhaltende Effekte aber nicht aufgezeichnet werden können. Die Testbatterie, die digital mit der CogniFit®-Anwendung absolviert wurde, verspricht, genau die gefragten Fähigkeiten – Reaktionsgeschwindigkeit, Genauigkeit, Inhibition, Interferenzkontrolle – zu dokumentieren. Dennoch erbringt die statistische Auswertung keine signifikanten Einflüsse nach fünf-wöchigem Training, was angesichts der Ergebnisse des Tests d2-R unplausibel erscheint. Nicht aufzudecken ist, ob dieser Umstand an einer ungeeigneten Testauswahl liegt, die Testbatterie keine ausreichende Sensitivität aufweist oder eine fehlerhafte Durchführung der CogniFit®-Anwendung durch die Proband:innen dem zugrunde liegt. Eventuell spielte auch der Experimentcharakter der Studie für die Schüler:innen eine Rolle, denn die Teilnehmenden waren mit dem Aufbau und der Zielsetzung eines wissenschaftlichen Forschungsprojekts zuvor nicht vertraut. Eine subjektive Verschlechterung im Training und in den Leistungstests, niedrige Frustrationstoleranz und das Bedürfnis nach Erfolgserlebnissen provozieren potentiell eine abnehmende Verlässlichkeit (Compliance) der Teilnehmenden. Daher muss auch ein unkonzentriert durchgeführtes Training im Rahmen der Intervention in Be-

tracht gezogen werden. Letztlich kann nicht abschließend eruiert werden, ob alle Proband:innen das Interventionstraining ernsthaft durchgeführt haben, stets gewillt waren, ihre Leistungen zu verbessern und sich mit den in ihrer Komplexität zunehmenden Übungen auseinanderzusetzen. Weitergehende Anreize zu setzen, die die Leistungssteigerung der Jugendlichen hätten begünstigen können, war im Schulzusammenhang nicht möglich, sodass die intrinsische Motivation zur Verbesserung sowie die Benotung der praktischen Mitarbeit im Vordergrund standen. Die begleitenden Lehrkräfte subsumierten diesbezüglich eine gute Leistungsbereitschaft mit heterogenen sportlichen Ergebnissen und beschrieben sich selbst als aktiv anleitend und differenziertes Korrekturverhalten der Trainingspartner:innen. Diese Einschätzung stimmt im Wesentlichen auch mit den Ergebnissen der SINUS-Jugendstudie von 2020 im Auftrag der Bundeszentrale für politische Bildung überein. Die Autor:innen beschreiben als gemeinsame Kernwerte der 14- bis 17-Jährigen Hilfsbereitschaft und Toleranz, aber auch Leistung und Selbstbestimmung, die individuell aber unterschiedlich stark gewichtet werden (Calmbach et al., 2020). Insofern darf angenommen werden, dass die Proband:innen, die an allen Test- und Trainingseinheiten anwesend waren, zuverlässig und gewissenhaft teilgenommen haben.

Anhand des unklaren Zwischenstands sind fortführend daher auch keine Rückschlüsse auf eine Erhaltung des Trainingseffekts nach Abschluss der Intervention zu ziehen. Erwartbar wäre, dass sich der positive Effekt und seine Übertragbarkeit auf Fähigkeiten im Alltag abschwächt, sofern kein regelmäßiges Training mehr durchgeführt wird. Zum Verlust des Trainingseffekts bei koordinativen Übungen liegen zum aktuellen Zeitpunkt keine empirischen Daten vor. Der Verlust von reiner Skelettmuskulatur bei Trainingspausen oder nach Trainingsstopp von Krafttraining wurde in unterschiedlichen Studien untersucht und ist im Allgemeinen abhängig von der Konstitution bei Trainingsstart sowie dem Alter. Kleinere Trainingspausen haben auf Leistungssportler:innen einen geringeren Einfluss in Bezug auf den Abbau der Muskulatur als auf Anfänger:innen (Ogasawara et al., 2011; Ogasawara et al., 2013; Staron et al., 1990). Dieses Wissen zur Trainingserhaltung wird auf ein Training, das nicht die reine Skelettmuskulatur in den Vordergrund stellt, sondern dessen Effekte eher das implizite, prozedurale Gedächtnis und nur zu kleinen Teilen den Muskelaufbau beeinflussen, aber nicht uneingeschränkt zu übertragen sein.

### 4.3 Limitationen der Studie

Um unter den gegebenen Voraussetzungen die Studie reibungslos durchzuführen, wurde ein ökonomisches Design gewählt. Dies ermöglicht die unmittelbare Einsetzbarkeit des Trainingskonzepts und des hier verwendeten Trainingsplans im Schulalltag, wobei zum universalen Einsatz über alle Altersstufen hinweg die Übungen zu modifizieren sind.

Darüber hinaus ergeben sich aus der gewählten Methodik dieser Studie mögliche Limitationen, da die beiden Testbatterien zwar per se schlüssige Ergebnisse lieferten, gemeinsam betrachtet aber nicht vollumfänglich mit den Prognosen nach bisher veröffentlichten Daten übereinstimmen. In letzter Konsequenz erschwert dieser Umstand die Interpretation und fordert die differenzierte Analyse sowie das Aufdecken potentieller Fehlerquellen (dazu siehe Verbesserungsvorschläge auf S.53). Da im Rahmen dieser Studie kein weitergehend zu interpretierender, signifikanter, langanhaltender Einfluss des Life Kinetik®-Trainings erfasst wurde, obliegt es weiteren Untersuchungen, herauszuarbeiten, wie diese Resultatkonstellation zustande kommen konnte.

Die Arbeit konzentrierte sich ausschließlich auf die analog bzw. digital messbaren Parameter Bearbeitungsgeschwindigkeit, Konzentrationsleistung, Genauigkeit und Inhibition; bildgebende Verfahren waren nicht inkludiert. Daher weisen die Ergebnisse eine gute Richtung für nachfolgende neuroradiologische Messungen.

Eine weitergehende Translation in den klinisch-therapeutischen Alltag wäre denkbar, wenn Resultate der erwähnten Bildgebung oder labormedizinischer Untersuchungen vorliegen. Dass diese Arbeit letztere nicht einschloss, muss ebenfalls als begrenzend betrachtet werden. So können aus den vorliegenden Ergebnissen dieser Studie keine Aussagen über spezifische Auswirkungen des Life Kinetik®-Trainings auf den Stoffwechsel getroffen werden. Entsprechende Effekte sind auch aus dem Bereich des Leistungssports noch nicht belegt, obwohl Life Kinetik®-Training seit über einer Dekade fester Bestandteil professionellen Trainings ist (Lutz, 2020).

In der Gedächtnistherapie, vornehmlich für Patient:innen mit beginnender und leichter Demenz, haben die multimodalen Übungen ebenfalls bereits Einzug erhalten. Gleichfalls profitieren gesunde Senior:innen von diesen Anforderungen. Im Rahmen dieser Arbeit

findet die Frage, ob die skizzierte Praxis auch für Jugendliche mit affektiven oder psychosozialen Störungen von Vorteil ist, keine Beantwortung, da dies nicht Bestandteil der Erhebungen war.

#### **4.4 Verbesserungsvorschläge**

Nach Abschluss von Studiendurchführung und Auswertung offenbaren sich einige Punkte, anhand derer bei einer Wiederholung weitere Akzente gesetzt werden könnten, ohne den Fokus der Studie zu verändern. Diese Verbesserungsvorschläge sollen im Folgenden kurz umrissen werden.

1. Gruppenzusammensetzung

Die Zusammenstellung der Gruppen erfolgt nicht randomisiert. Damit fallen der Freizeitsport und Vorkenntnisse in Bezug auf verschiedene Trainingsformen ins Gewicht.

2. Gruppengröße

Um die unter 1. formulierte Gruppenzusammensetzung adäquat zuzuteilen und auszuwerten, bedarf es einer deutlich größeren Stichprobe.

3. Differenziertere Auswertung

Nach Auswertung der ersten Erhebung einer jeweiligen Testreihe formieren sich zwei Gruppen. Zur übersichtlicheren Einordnung des Leistungsverlaufs werden schwächere Ergebnisse als der Mittelwert getrennt von solchen ausgearbeitet, die im ersten Anlauf über dem Mittelwert lagen.

4. Abschlussfragebogen

Ein Fragebogen erfasst die subjektive Einschätzung zur Verbesserung des Stressempfindens, der Laune und der Konzentration sowie der daraus resultierenden Leistung.

5. Erwärmung

Ausgiebig aktivierende Übungen fördern Durchblutung und Aufnahmefähigkeit, so dass der Einfluss des Life Kinetik<sup>®</sup>-Trainings steigt.

#### 6. Trainingspensum

Eine Aufteilung der mindestens einstündigen, wöchentlichen Trainingszeit steigert die Aufnahmefähigkeit. Trainingseinheiten in der ersten Tageshälfte sind solchen in der zweiten Tageshälfte vorzuziehen.

#### 7. Betreuungsschlüssel

Ein besserer Betreuungsschlüssel während des Trainings ermöglicht individuelle Korrekturen und fasst die richtige Durchführung der Übungen stärker ins Auge.

#### 8. Testintervalle

Kürzere Testintervalle erfassen auch geringere Leistungsveränderungen und Tendenzen.

#### 9. (finanzieller) Anreiz

Die Verbindlichkeit von jugendlichen Proband:innen erhöht sich durch eine Aufwandsentschädigung entsprechend der Vorstellung der Teilnehmenden.

#### 10. Testaufsicht

Unter Aufsicht arbeiten die Proband:innen während der Testdurchführung konzentrierter.

#### 11. Beobachtungsbogen

Eine stichprobenartige Beobachtung von Trainingsstand und -verlauf fördert die Motivation der Teilnehmenden und ermöglicht einen Abgleich mit den Ergebnissen der Testinstrumente.

#### 4.5 Ausblick

Dass das von Horst Lutz entwickelte multimodale Training, Life Kinetik<sup>®</sup>, durchweg positive Wirkungen entfaltet, ist im Breiten- und Leistungssport mittlerweile belegt und so ist dieses Konzept bereits umfassend verankert. Um es ganz gezielt in den Alltag, den Schulunterricht, aber auch in klinisch-therapeutische Ansätze zu integrieren, bedarf es unterdessen weiterer Untersuchungen.

Menschen jeden Alters sind besonders motiviert, ein Training zu absolvieren, von dem sie spürbar profitieren (Winkler et al., 2012). Breit angelegte Studien mit höheren Proband:innenzahlen, individuelleren Trainingsplänen und einer angepassten Studiendauer würden es ermöglichen, potentielle Vorteile des Trainings bezogen auf alltägliche Tätig- und Fähigkeiten zu dokumentieren und den Trainingsanreiz zu verdeutlichen. Offenbart eine Erhebung eine gesteigerte Effektivität und bessere Konzentrationsfähigkeit bei kognitiv anspruchsvollen Tätigkeiten, wäre es denkbar, dass Life Kinetik<sup>®</sup>-Sequenzen auch in den Arbeitsalltag implementiert und durch Arbeitgebende gefördert werden. Ähnliche Konsequenzen könnten sich auch für den Schulalltag abzeichnen. Bisherige Studiendesigns schlossen maßgeblich Stichproben mit besonderen Charakteristika, von Förderschulgruppen und Senior:innen bis zum Leistungssport, ein. Trotz der sehr unterschiedlichen Merkmale konnte stets ein Mehrwert für die Teilnehmenden ausgemacht werden (vgl. Beck, 2008; Grünke, 2011; Wicks et al., 2015). Die Kombination von Life Kinetik<sup>®</sup>-Übungen mit Unterrichtsinhalten anderer Fächer vermag es, evidente Synergien hervorzubringen. Insofern ist es überaus wahrscheinlich, dass sich regelmäßige koordinativ-kognitiv kombinierte Übungen langfristig im Schulalltag auszahlen und ihnen daher auch ein fester Platz im Unterricht zustehen sollte. Vorangegangene Studien haben positive Effekte von täglichem Bewegungsunterricht auf die kognitiven Leistungen bereits dokumentiert und dennoch ist die tägliche Sportstunde weiterhin die Ausnahme in den Schulen in Deutschland (Haas et al., 2009). Die gewonnenen Ergebnisse werfen die Frage auf, ob einzelne Übungen für jedes Alter und jeden Kenntnisstand gleichermaßen geeignet und wirksam sind und durch weitere Beiträge ergänzt werden könnten. Vorstellbar wäre beispielsweise, dass Fußballer:innen Bein-betonte Life Kinetik<sup>®</sup>-Übungsformen deutlich routinierter absolvieren und somit der Zuwachs an kognitiver Flexibilität geringer ausfällt als bei Handballer:innen, wohingegen letztere weniger Schwierigkeiten haben bei Übungen, in denen Fangen und

Werfen im Vordergrund steht. Eine Differenzierung der einzelnen Übungen des multimodalen Trainings kann nicht nur zum Verständnis der Wirkungsweise beitragen, sondern auch nahelegen, in welchen Sportarten und Alltagsdisziplinen welche Übungen den größten Benefit aufweisen. Beispielsweise ist es denkbar, dass Übungen wie der Richtungslauf und die Liniensprünge (Erläuterung im Anhang ab S.73) strukturiertes Denken und Ordnung fördern, während der Drehballtanz die Reaktionsgeschwindigkeit im Handballtor verkürzt. Zur Detektion solcher Effekte bedarf es großer Studiengruppen.

Um den offensichtlichen Nutzen aber nicht nur empirisch zu belegen, sondern auch die zugrundeliegenden Mechanismen zu verstehen, müssen etwaige medizinische bildgebende und labortechnische Verfahren einbezogen werden. Diese sind in der Lage, Ausgangspunkt, Mitarbeit und Auswirkungen adäquat zu untersuchen. Daher wäre es lohnenswert, in zukünftige Studienkonzepte klinische Parameter wie die Herzfrequenz und Elektroenzephalographie, laborchemische Parameter im Sinne von Neurotransmittern wie Dopamin und bildgebende Verfahren, wie die funktionelle Magnetresonanztomographie sowie validierte klinische Fragebögen zu integrieren.

Es liegt nahe, dass einem Trainingskonzept, das Leistungsoptimierung, Sturz-Prophylaxe, Stressreduktion und Intelligenzzuwachs fördert, bei hinreichenden Belegen auch in der psychologischen Kinder- und Jugendtherapie ein Platz eingeräumt werden könnte. Hier ergibt sich ein weites Spektrum für zukünftige Untersuchungen.

## 5. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Frage nach Auswirkungen des Life Kinetik<sup>®</sup>-Trainings auf Schüler:innen im Alter von 14-16 Jahren. Dabei findet Berücksichtigung, dass der Nutzen und die Effekte von Sport und Bewegungsunterricht schon intensiv diskutiert wurden und sich das neuartige, multimodale Trainingskonzept in anderem Kontext bereits als vorteilhaft erwiesen hat. Daraus resultiert die Forschungsfrage, inwieweit Life Kinetik<sup>®</sup>-Training als Teil des Sportunterrichts einen Mehrwert erzielt, der über den allgemeinen Nutzen von körperlicher Aktivität hinausgeht. Dazu wurde sich mit der Entwicklung des menschlichen Gehirns mit dem Schwerpunkt der vulnerablen Phase der Adoleszenz auseinandergesetzt. Daran schließt sich die Beschreibung der gegenwärtig bekannten neurobiologischen Einflüsse insbesondere das Dopamin betreffend an. Bisherige Forschungsprojekte, die die Vorteile des Life Kinetik<sup>®</sup>-Trainings dokumentieren, umfassen Studien von der Förderschule über kognitives Training im Alter bis hin zum professionellen Leistungssport.

In der hier vorgelegten Studie partizipierten 14-16-jährige Gymnasiast:innen. Die Interventionsgruppe absolvierte über fünf Wochen ein facettenreiches Life Kinetik<sup>®</sup>-Training, während die Kontrollgruppe umfassende Bewegungsübungen im klassischen Sportunterricht durchführte. Trotz des kurzen Interventionseinflusses steigerten sich die Leistungen der Proband:innen in der Interventionsgruppe beim Test d2-R. Die mit diesem Test erfassten Kurzzeiteffekte dokumentierten mit Messwiederholung signifikante Verbesserungen der Interventionsgruppe in Bezug auf Bearbeitungsgeschwindigkeit und Konzentrationsleistung im Vergleich zur Kontrollgruppe, die sich zwar auch, aber signifikant weniger verbesserte. Mittels digitaler Testbatterie von CogniFit<sup>®</sup> sollten längerfristige und anhaltende Effekte aufgezeichnet werden. Die durch CogniFit<sup>®</sup> ermittelten Werte zeigen unterdessen nur teilweise Verbesserungen. Hier konnten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe darstellen lassen. Stattdessen zeigten beide Gruppen einen positiven Trend, der sich aber bei unterschiedlichem Ausgangsniveau und geringer Fallzahl nicht signifikant differenzieren ließ.

In Teilen decken sich die Ergebnisse mit Erwartungen anhand vorausgegangener Studien an anderen Personengruppen (vgl. Beck, 2008; Grünke, 2011; Wicks et al., 2015). Im Zusammenspiel der beiden Aufzeichnungen kann nicht eindeutig geklärt werden, ob tatsächlich keine längerfristige Leistungssteigerung vorlag oder eine Erfassung anhand der

ausgewählten Testbatterie nicht ausreichend möglich ist. Für die Implementierung dieser Trainingsform in den Schulalltag oder in klinisch-therapeutische Therapiekonzepte müssen die oben genannten Punkte Beachtung finden und entsprechend Studien mit einer größeren Fallzahl und einem modifizierten Studiendesign aufgelegt werden.

## 6. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Zeitlicher Ablauf der Studie	21
Abb. 2:	Art des regelmäßig betriebenen Freizeitsports der Proband:innen	30
Abb. 3:	Anreize, Sport zu treiben der Proband:innen	30
Abb. 4:	Reaktionszeit und Bearbeitungsgenauigkeit „Farben und Wörter“	35
Abb. 5:	Reaktionszeit und Bearbeitungsgenauigkeit „Nummern und Formen“	37
Abb. 6:	Reaktionszeit und Bearbeitungsgenauigkeit „Der Ball und die Farben“	41

## 7. Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Übersicht der einbezogenen Fragebögen	26
Tab. 2:	Ein- und Ausschlusskriterien zur Studienteilnahme	27
Tab. 3:	Stichprobencharakteristika	29
Tab. 4:	Übersicht der erzielten Werte im Test d2-R beim ersten und zweiten Testzeitpunkt	33
Tab. 5:	Übersicht der erzielten Werte der CogniFit®-Erhebung mit Standardabweichung	38
Tab. 6:	Differenzierte statistische Analyse für die Ergebnisse der CogniFit®- Erhebung	42
Anhang:		
Tab. 7:	Ausführliche Darstellung des Zeitpunktvergleichs der Ergebnisse der CogniFit®-Erhebung	61

## 8. Anhang

### 8.1

**Tab. 7:** Ausführliche Darstellung des Zeitpunktvergleichs der Ergebnisse der CogniFit®-Erhebung, Signifikanzprüfung mittels ANOVA mit Messwiederholung

<b>1. zum 2.</b>						
<b>Testzeit-</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>
<b>punkt</b>				<b>Z/G</b>	<b>Z/G</b>	
<b>Rt 021</b>	0,774	0,385	0,022	0,083	0,775	0,002
<b>Acc 021</b>	14,78	< 0,001	0,297	1,734	0,196	0,047
<b>Rt 029</b>	40,937	< 0,001	0,525	0	0,988	0
<b>Acc 029</b>	0,056	0,815	0,002	0,214	0,647	0,006
<b>Rt 063</b>	7,098	0,011	0,157	1,152	0,290	0,029
<b>Acc 063</b>	1,110	0,299	0,028	0,012	0,914	0

**Fortführung Tab. 7:** Ausführliche Darstellung des Zeitpunktvergleichs der Ergebnisse der CogniFit®-Erhebung, Signifikanzprüfung mittels ANOVA mit Messwiederholung

<b>2. zum 3.</b>						
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b>F Z/G</b>	<b>p Z/G</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>
<b>Rt 021</b>	0,711	0,404	0,019	2,077	0,158	0,053
<b>Acc 021</b>	9,762	0,003	0,209	10,379	0,003	0,219
<b>Rt 029</b>	1,480	0,232	0,039	0,220	0,642	0,006
<b>Acc 029</b>	0,240	0,627	0,006	0,892	0,351	0,024
<b>Rt 063</b>	1,158	0,289	0,030	0,206	0,653	0,005
<b>Acc 063</b>	0,889	0,352	0,023	0,387	0,538	0,010
<b>1. zum 3.</b>						
<b>Testzeitpunkt</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>	<b>F Z/G</b>	<b>p Z/G</b>	<b><math>\eta_p^2</math></b>
<b>Rt 021</b>	9,525	0,004	0,196	0,605	0,441	0,015
<b>Acc 021</b>	20,390	< 0,001	0,343	6,331	0,016	0,140
<b>Rt 029</b>	64,910	< 0,001	0,619	0,010	0,919	0
<b>Acc 029</b>	0,233	0,632	0,006	0,233	0,632	0,006
<b>Rt 063</b>	1,423	0,239	0,032	0,544	0,465	0,012
<b>Acc 063</b>	2,283	0,138	0,050	0,493	0,486	0,011

## 8.2 Trainingseinheiten

Darstellendes Videomaterial zur ergänzenden Erklärung der Übungen kann bei der Autorin angefragt werden.

### Trainingseinheiten

Zur besseren Übersichtlichkeit werden Zahlworte in diesem Abschnitt nicht ausgeschrieben.

#### 1. Trainingseinheit

##### Richtungslauf (Teil 1)

Bei dieser Übung wird in besonderem Maße die Koordination von oberer und unterer Extremität gefördert. Unterschiedliche Anforderungen an Arme und Beine werden gezielt verknüpft.

*Grundübung:* Alle können gleichzeitig trainieren. Die Übung soll so schnell wie sauber möglich ausgeführt werden. Stehend bzw. laufend wird ein Ball entsprechend der Laufrichtung und der Kommandos etwa 50cm hochgeworfen und anschließend wieder mit der Wurfhand oder mit beiden Händen gefangen.

Beim Gehen nach vorne wirft die rechte Hand.

Beim Gehen nach hinten wirft die linke Hand.

Bei Sidesteps zur linken Seite wird der Ball mit beiden Händen geworfen.

Bei Sidesteps zur rechten Seite wird der Ball festgehalten.

Entsprechend der Schrittreihenfolge 3 nach vorne, 3 nach links, 3 nach hinten, 3 nach rechts soll der Ball geworfen und wieder gefangen werden.

Vorschlag Wiederholungsanzahl: 4 Runden

*Steigerungsform:* Anstelle der zu Beginn festgelegten Runde wird nun auf Kommando der Übungsleiterin oder des Übungsleiters gearbeitet. Das Kommando gibt jeweils die Laufrichtung vor, die Wurfhand bzw. -technik muss von der/dem Trainierenden entsprechend kombiniert werden.

Die Kommandos werden von der Geschwindigkeit her so angegeben, dass sie direkt ausgeführt werden können, d.h. links (kurze Pause, in der Teilnehmenden Kommando ausführen) rechts (kurze Pause...) vor (...) rechts (...).

1. *Steigerungsform*: Übung wie in 1. Die Kommandos werden nun durch Zahlen ersetzt.

1 = Schritt nach vorne, rechte Hand wirft hoch.

2 = Schritt nach hinten, linke Hand wirft hoch.

3 = Sidestep links, beide Hände werden hoch.

4 = Sidestep rechts, Ball festhalten.

2. *Steigerungsform*: Anstatt den Ball zu werfen, wird er nun geprellt.

Beim Vorwärtsgehen prellt die rechte Hand.

Beim Rückwärtsgehen prellt die linke Hand.

Bei Sidesteps nach links prellt die rechte Hand.

Bei Sidesteps nach rechts prellt die linke Hand.

3. *Steigerungsform*: Nun geben die Übungsleiter:innen 5er Kommandos an, die anschließend ausgeführt werden. Der Ball wird geprellt. Hier wird keine Pause zur Ausführung gelassen, sondern zunächst das gesamte Kommando angegeben, danach die Übung absolviert.

4. *Steigerungsform*: Nun werden die Kommandos wieder in Form von Zahlen gegeben. Die 3er Kommandos werden vollständig angesagt und danach die Übung ausgeführt. Nach 2 Runden wird das Kommando auf eine 4er-Kombination erweitert, nach 2 weiteren auf ein 5er-Kommando.

1 = Beim Vorwärtsgehen prellt die rechte Hand.

2 = Beim Rückwärtsgehen prellt die linke Hand.

3 = Bei Sidesteps nach links prellt die rechte Hand.

4 = Bei Sidesteps nach rechts prellt die linke Hand.

## 2. Trainingseinheit

### Parallelball

Jede:r trainiert für sich. Bei grobem Beherrschen einer Übung wird zur nächsten Steigerungsform übergegangen. Dieser Zeitpunkt ist individuell. Nicht alle müssen jede Steigerungsform durchlaufen, um erfolgreich trainiert zu haben.

*Grundübung:* Jede Person hält in jeder Hand einen Jonglierball. Die Bälle werden in allen Steigerungsformen parallel zueinander etwa 30-40cm hochgeworfen und anschließend wieder aufgefangen. Die Bälle bleiben stets in ihrer Flugbahn. Hilfreich sind u.U. zwei verschiedenfarbige Bälle.

Die Arme sind angewinkelt vor dem Körper, Hände nach oben geöffnet, sodass die Handflächen beim Fangen und Werfen nach oben zeigen.

Zunächst wird mit parallelen Armen geworfen und gefangen.

1. *Steigerungsform:* Die beiden Jonglierbälle werden mit parallelen Armen geworfen und mit gekreuzten Armen wieder aufgefangen.
2. *Steigerungsform:* Die beiden Jonglierbälle werden wieder mit parallelen Armen geworfen und mit gekreuzten Armen wieder aufgefangen. Nun sollen die Hände andersrum gekreuzt werden, als in 1.
3. *Steigerungsform:* Die beiden Jonglierbälle werden mit gekreuzten Armen geworfen und mit parallelen Armen wieder aufgefangen.
4. *Steigerungsform:* Die beiden Jonglierbälle werden mit gekreuzten Armen geworfen und mit parallelen Armen wieder aufgefangen. Auch hier soll noch einmal die andere Hand nach oben.
5. *Steigerungsform:* Die beiden Jonglierbälle werden mit gekreuzten Armen geworfen und mit gekreuzten Armen wieder aufgefangen.
6. *Steigerungsform:* Die beiden Jonglierbälle werden mit gekreuzten Armen geworfen und mit andersherum gekreuzten Armen wieder aufgefangen.

### Linien sprünge (Teil 1)

Zur gegenseitigen Kontrolle und für kurze Erholungspausen wird zu zweit trainiert.

*Grundübung:* Eine Linie, über die gesprungen wird, markiert zwei Seiten. Beide Füße stehen zu Beginn links neben der Linie. Der Sprungrhythmus vorwärts lautet rechtes Bein – linkes Bein – beide Beine – linkes Bein – rechtes Bein – beide Beine.

1. *Steigerungsform:* Grundübung rückwärts

2. *Steigerungsform:* Der Sprungrhythmus bleibt fortan wie in der Grundübung. Jeder Bodenkontakt wird laut als Zahlenreihe gezählt (1, 2, 3, 4, 5...).

3. *Steigerungsform:* Nun wird jeder Bodenkontakt entlang der Dreierreihe gezählt (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30).

4. *Steigerungsform:* Jeder Bodenkontakt wird mithilfe des ABCs gezählt.

5. *Steigerungsform:* Benenne jeden Bodenkontakt abwechselnd mit einer Zahl und mit einem Buchstaben (1, a, 2, b, 3, c, 4, d...).

6. *Steigerungsform* (optional): Die Steigerungsformen 2 bis 5 können – je nach Fortschritt - rückwärts springend durchgeführt werden.

### Richtungslauf (Teil 2)

*Grundübung:* Die Übung ist eine Variation der zweiten Trainingseinheit. Anstelle eines Balls fordern nun unsere Oberschenkel die Hände und damit die Arm-Bein-Koordination.

Beim Vorwärtsgen klatscht die rechte Hand ständig, also durchgehend, seitlich auf den rechten Oberschenkel.

Beim Rückwärtsgen klatscht die linke Hand ständig seitlich auf den linken Oberschenkel.

Bei Sidesteps nach links klatschen beide Hände ständig seitlich auf beide Oberschenkel.

Bei Sidesteps nach rechts wird ständig in die Hände geklatscht.

Entsprechend der Schrittreihenfolge 3 nach vorne, 3 nach links, 3 nach hinten, 3 nach rechts klatschen die Hände auf die Oberschenkel.

Alle können gleichzeitig trainieren.

Vorschlag Wiederholungsanzahl: 4 Runden

1. *Steigerungsform*: Anstelle der zu Beginn festgelegten Runde wird nun auf Kommando des Übungsleiters oder der Übungsleiterin gearbeitet. Das Kommando gibt jeweils die Laufrichtung vor, das Klatschen muss von der/dem Trainierenden entsprechend kombiniert werden.

Die Kommandos werden anders als in der ersten Einheit angegeben: Die Trainingsteilnehmenden müssen solange entsprechend eines Kommandos arbeiten, bis ein neues Kommando erteilt wird.

2. *Steigerungsform*: Übung wie in 1. Die Kommandos werden nun durch Zahlen ersetzt.

1 = Beim Vorwärtsgehen klatscht die rechte Hand ständig seitlich auf den Oberschenkel.

2 = Beim Rückwärtsgehen klatscht die linke Hand ständig seitlich auf den Oberschenkel.

3 = Bei Sidesteps nach links klatschen beide Hände ständig seitlich auf die Oberschenkel.

4 = Bei Sidesteps nach rechts wird ständig in die Hände geklatscht.

Die 3. Trainingseinheit findet sich im Hauptteil.

#### 4. Trainingseinheit

##### Drehballtanz (2. Teil)

Grundübung: Die Grundübung ist dieselbe wie in der ersten Trainingseinheit. Es wird zu zweit trainiert. Zur Wiederholung werden die Steigerungsformen 4 und 5 von aus der ersten Trainingseinheit durchgeführt.

1. *Steigerungsform*: Der zweite Ball kommt ins Spiel. In jeder Hand soll ein Ball gehalten werden, wobei nur einer mit dem Kommando geworfen und der andere festgehalten wird. Nun gibt eine Farbe die Richtung der Drehung an. Eine helle Farbe (gelb, orange, rot, pink) bedeutet eine Drehung nach links, eine dunkle (grün, blau, lila, braun) eine Drehung nach rechts. Der Ball soll mit der Hand gefangen werden, die gegenüber der Wurfhand ist, d.h. einen mit links geworfenen Ball fängt man mit rechts und andersherum. Das der Fanghand entgegengesetzte Bein wird nach vorne gesetzt.

2. *Steigerungsform*: Kommando und Wurf bleiben gleich, nur wird jetzt mit der entgegengesetzten Hand gefangen. D.h. ein mit links geworfener Ball wird mit links gefangen und andersherum.

3. *Steigerungsform*: Beide Bälle sollen in ihren Flugbahnen möglichst parallel gleichzeitig geworfen werden. Das Kommando beinhaltet jetzt zwei Farben, wobei die erste die Drehung angibt und die zweite, welcher Ball von der, der Wurfhand gegenüberliegenden Hand gefangen werden soll.

4. *Steigerungsform*: Beide Bälle sollen in ihren Flugbahnen möglichst parallel gleichzeitig geworfen werden. Das Kommando beinhaltet wieder zwei Farben, wobei die erste die Drehung angibt und die zweite, welcher Ball von der, der Wurfhand entgegengesetzten Hand gefangen werden soll.

### Feldhopper (Teil 1)

Durch Hinzunahme kognitiver Aufgaben in unsere Bewegungsabläufe wird mit dieser Übung die Fähigkeit, uns trotz intensiver Denkaufgaben nicht von der Ausführung der sportlichen Bewegung abbringen zu lassen, trainiert.

*Grundübung*: Eine Bodenlinie gilt als Grenze für zwei Felder, ein vorderes und ein hinteres. In einem festen Rhythmus (linkes Bein – rechtes Bein – beide Beine) wird diese Linie überquert, also jeweils nach vorne und nach hinten gesprungen.

Vorschlag Wiederholungsanzahl: 30 Sprünge

1. *Steigerungsform*: Der Rhythmus wird verändert auf links - rechts – beide – rechts – links – beide.

2. *Steigerungsform*: Der Rhythmus aus der 1. Steigerungsform (li – re – beide – re – li – beide) wird beibehalten, wobei die jeweilige Hand auf den Oberschenkel des Beins mit Bodenkontakt klatscht. Sind beide Beine am Boden, klatschen entsprechend beide Hände auf die Oberschenkel.

3. *Steigerungsform*: Der Rhythmus aus der 1. Steigerungsform wird beibehalten, wobei die jeweilige Hand auf den Oberschenkel des Beins, auf dem man nicht steht, klatscht, sowie dann auf die Oberschenkel klatscht, wenn beide Beine gleichzeitig den Boden berühren.

4. *Steigerungsform*: Ab hier wird paarweise trainiert, wobei beide immer gleichzeitig ihren

Sprungrhythmus einhalten und sich gegenseitig einen Ball zuwerfen. Dazu wird der Grundrhythmus wieder angenommen.

5. *Steigerungsform*: Anstelle des Balls treten nun kleine Rechenaufgaben, die sich die Trainierenden gegenseitig und abwechselnd stellen.

## 5. Trainingseinheit

### Feldhopser (Teil 2)

*Grundübung*: Die „Hüpfekästchen“ vom „Feldhopser“ der vierten Trainingseinheit werden auf 4 in einem Quadrat liegenden Kästchen erweitert. Startfeld jeweils hinten rechts. Der Sprungrhythmus bleibt wie in Trainingseinheit 4 linkes Bein – rechtes – beide Beine in die Richtungen diagonal – zurück – vor – diagonal – vor – zurück., sodass man nach 6 Sprüngen wieder im Ausgangsfeld landet.

Vorschlag Wiederholungsanzahl: 30 Sprünge

1. *Steigerungsform*: Die Übung nach obengenanntem Muster kann in jedem der 4 Felder begonnen werden, wenn darauf geachtet wird, dass der erste Sprung immer diagonal ist. 1 Runde = Start von jedem der vier Felder aus, zuerst von den beiden rechten Kästchen, d.h. 4x 6 Sprünge.

2. *Steigerungsform*: Die Sprünge bleiben wie in der 1. Steigerungsform beschrieben. Nun wird ein Jonglierball hinzugenommen, der sich selbst etwa 50 cm hochgeworfen und wieder gefangen wird.

3. *Steigerungsform*: Zusätzlich kommt ein zweiter Ball ins Spiel. Beide Bälle sollen während des Springens hochgeworfen und wieder aufgefangen werden.

4. *Steigerungsform*: Die beiden Jonglierbälle werden mit parallelen Armen geworfen und mit gekreuzten Armen wieder aufgefangen.

5. *Steigerungsform*: Die beiden Jonglierbälle werden mit gekreuzten Armen geworfen und mit parallelen Armen wieder aufgefangen.

### Linien sprünge (Teil 2)

*Grundübung*: Der Sprungrhythmus über eine Linie ist identisch mit Trainingseinheit 3: rechtes Bein – linkes Bein – beide Beine – linkes Bein – rechtes Bein – beide Beine.

Um die Komplexität zu steigern, bekommen jetzt auch die Arme eine Aufgabe: Beim Landen auf dem linken Bein klatscht die linke Hand seitlich auf den linken Oberschenkel, beim Landen auf dem rechten Bein klatscht die rechte Hand seitlich auf den rechten Oberschenkel.

Beim Laden auf beiden Beinen befinden sich beide Hände auf den Oberschenkeln.

Vorschlag Wiederholungsanzahl: 30 Sprünge

1. *Steigerungsform*: Grundübung rückwärts.
2. *Steigerungsform*: Der Sprungrhythmus bleibt fortan wie in der Grundübung. Jeder Bodenkontakt wird laut als Zahlenreihe gezählt (1, 2, 3, 4, 5...).
3. *Steigerungsform*: Nun wird jeder Bodenkontakt entlang der Dreierreihe gezählt.
4. *Steigerungsform*: Als nächstes wird jeder Bodenkontakt mithilfe des ABCs gezählt.
5. *Steigerungsform*: Benenne jeden Bodenkontakt abwechselnd mit einer Zahl und mit einem Buchstaben (1, a, 2, b, 3, c, 4, d...)
6. *Steigerungsform*: Auch die Steigerungsformen 2 bis 5 können nochmal rückwärts durchgeführt werden.

## **9. Erklärung zum Eigenanteil**

Die grundlegende Idee für das vorliegende Promotionsprojekt wurde von mir gemeinsam mit meiner Betreuerin Frau Dr. Nicole Müller und Frau Dr. Aylin Mehren ausgearbeitet. Die thematische Ausgestaltung sowie die Planung und methodische Konzeption der wissenschaftlichen Arbeit erfolgten in enger Abstimmung mit Frau Dr. Nicole Müller.

Die inhaltliche Weiterentwicklung des Themas, die Definition der Fragestellung sowie die Ausarbeitung der Gliederung wurden unter meiner maßgeblichen Beteiligung durchgeführt. Auf dieser Basis erfolgte die Erhebung sämtlicher relevanter Daten eigenständig in enger Abstimmung mit der Betreuerin. Die gesammelten Daten wurden von mir systematisch aufbereitet und in einer Tabelle zusammengestellt. Die statistischen Auswertungen, die umfassende Literaturrecherche sowie die Interpretation der Ergebnisse und Einordnung in den wissenschaftlichen Kontext wurden ebenfalls selbstständig von mir durchgeführt.

## 10. Literaturverzeichnis

- Adolphs R. Physiologie und Anatomie der Emotionen. In Karnath HO, Thier P; eds: Neuropsychologie. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006: 536-537
- Aidman E, Woollard S. The influence of self-reported exercise addiction on acute emotional and physiological responses to brief exercise deprivation. *Psychol Sport Exerc* 2003; 4: 225–236
- Alloway TP, Alloway RG. Working memory across the lifespan: A cross-sectional approach. *J Cogn Psychol* 2013; 25: 84–93
- Annett J, Cripps B, Steinberg H. Exercise Addiction: Motivation for Participation in Sports and Exercise. Leeds: British Psychological Society 1997: 6–14
- Baker ST, Lubman DI, Yücel M, Allen NB, Whittle S, Fulcher BD, Zalesky A, Fornito A. Developmental Changes in Brain Network Hub Connectivity in Late Adolescence. *J Neurosci* 2015; 35: 9078–9087
- Bayer HM, Glimcher PW. Midbrain dopamine neurons encode a quantitative reward prediction error signal. *Neuron* 2005; 47: 129–141
- Beck F, Beckmann J. Die Rolle hippocampaler und striataler Plastizitätsvorgänge für motorisches Lernen. *Dtsch Z Sportmed* 2010; 61:157–162
- Beck F, Beckmann J. Werden sportmotorisch relevante Handlungs-Effekt-Verknüpfungen über dopaminerge Neuromodulation vermittelt? *Dtsch Z Sportmed* 2009; 60: 36 – 40
- Beck F. Dopaminerg vermittelte Ausbildung interner Bewegungspräsentationen. *Sportwissenschaft* 2005; 35: 403-414
- Beck F. Sportmotorik und Gehirn. *Sportwissenschaft* 2008; 38: 423-450
- Birbaumer N., Schmidt RF. Biologische Psychologie. In Lohaus A, Hrsg: Entwicklungspsychologie des Jugendalters. Berlin, Heidelberg: Springer, 2018: 516f
- Braver TS, Cohen JD, Barch DM. The role of prefrontal cortex in normal and disordered cognitive control: A cognitive neuroscience perspective. In Stuss DT, Knight RT, eds: Principles of frontal lobe function. Oxford: University Press 2002: 428-447

- Brickenkamp R, Schmidt-Atzert L, Liepmann D. Test d2-Revision. Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest. Göttingen – Bern – Wien – Paris – Oxford – Prag - Toronto – Cambridge, MA – Amsterdam – Kopenhagen – Stockholm: Hogrefe, 2010: 10-15, 45-65
- Calmbach M, Flaig B, Edwards J, Möller-Slawinski H, Borchard I, Schleier C. Wie ticken Jugendliche? Lebenswelten von Jugendlichen im Alter von 14 bis 17 Jahren in Deutschland. Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung, 2020: 33-35
- Cagniard B, Beeler JA, Britt JP, McGehee DS, Marinelli M, Zhuang X. Dopamine scales performance in the absence of new learning. *Neuron* 2006; 51: 541–547
- Chaddock L, Erickson KI, Prakash RS, Kim JS, Voss MW, Vanpatter M, Pontifex MB, Raine LB, Konkel A, Hillman CH, Cohen NJ, Kramer AF. A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain research* 2010; 1358: 172–183
- Cotman CW, Berchtold NC. Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends Neurosci* 2002; 25: 295-301
- Dahl RE. Adolescent brain development: a period of vulnerabilities and opportunities. Key-note address. *Ann N Y Acad Sci* 2004; 1021: 1-22
- Dai J, Scherf KS. Puberty and functional brain development in humans: Convergence in findings? *Dev Cogn Neurosci* 2019; 39: 100690
- Deary IJ, Whiteman MC, Starr JM, Whalley LJ, Fox HC. The impact of childhood intelligence on later life: Following up the Scottish mental surveys of 1932 and 1947. *J Pers Soc Psychol* 2004; 86: 130–147
- Demirakca T, Cardinale V, Dehn S, Ruf M, Ende G. The Exercising Brain: Changes in Functional Connectivity Induced by an Integrated Multimodal Cognitive and Whole-Body Coordination Training. *Neural Plast.* 2016; 2016: 8240894
- Dhawale AK, Smith MA, Ölveczky BP. The Role of Variability in Motor Learning. *Annu Rev Neurosci* 2017; 40: 479-498
- Eriksson PS, Perfilieva E, Björk-Eriksson T, Alborn AM, Nordborg C, Peterson DA, Gage FH. Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nat Med* 1998; 4: 1313-1317

Fiorillo CD, Tobler PN, Schultz W. Discrete coding of reward probability and uncertainty by dopamine neurons. *Science* 2003; 299: 1898–1902

Földenyi M, Tagwerker-Neuenschwander F, Giovanoli A, Schallberg U, Steinhausen HC. Die Aufmerksamkeitsleistungen von 6-10-jährigen Kindern in der TAP. *Zeitschrift für Neuropsychologie* 1999; 10: 87-102

Gaupp SVT. 2007: Computergestützte Untersuchungen zur Entwicklung von Aufmerksamkeitsleistungen im Jugendalter.

[https://edoc.ub.uni-muenchen.de/6801/1/Gaupp\\_Stefanie.pdf](https://edoc.ub.uni-muenchen.de/6801/1/Gaupp_Stefanie.pdf) 17.03.2023

Giedd JN, Blumenthal J, Jeffries NO, Castellanos FX, Liu H, Zijdenbos A, Paus T, Evans AC, Rapoport JL. Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nat Neurosci* 1999; 2: 861–863

Gomez-Pinilla F, Feng C. Molecular Mechanisms for the Ability of Exercise Supporting Cognitive Abilities and Counteracting Neurological Disorders. In Boecker H, Hillman CH, Scheef L, Strüder HK, eds: *Functional Neuroimaging in Exercise and Sport Science*. New York, Springer, 2012: 25-43

Graf C, Dordel S. Das CHILT-I-Projekt (Children’s Health Interventional Trial). *Bundesgesundheitsbl* 2011; 54: 313–321

Grünke M. Die Effekte des Life Kinetik-Trainings auf die Aufmerksamkeits- und die Fluide Intelligenzleistung von Kindern mit gravierenden Lernproblemen. *Heilpädagogische Forschung* 2011; 1: 2-9

Haas S, Váth J, Bappert S, Bös K. Auswirkungen einer täglichen Sportstunde auf kognitive Leistungen von Grundschulkindern. *Sportunterricht* 2009; 58: 227-232

Hansmeier T. Beeinflusst Sport unser Gehirn? Die Effekte körperlicher Aktivität auf die kognitive Evaluierung visueller Reize. *Diplomica Verlag*. 2014: 45-65

Hartmann JE, 2012: Der Einfluss von kortikaler Aktivierung, Alter und Risikofaktoren auf die kognitive Flexibilität.

<https://unipub.uni-graz.at/obvugrhs/download/pdf/224820?originalFilename=true>

17.03.2023

Hirtz, P. Koordinative Fähigkeiten im Schulsport: vielseitig – variationsreich ungewohnt. Berlin: Volk und Wissen. 1988: 10-45

Hollermann JR, Schultz W. Dopamine neurons report error in the temporal prediction of reward during learning. *Nat Neurosci* 1998; 1: 304–309

Hummel K, 2022 Durch das Training wird man intelligenter. Gerald Braunberger, Jürgen Kaube, Carsten Knop, Berthold Kohler, Hrsg. Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung. 17. April 2022 Nr. 15D

<https://lifekinetik.com/wp-content/uploads/2022/04/FAZ-Sonntagszeitung-17-4-2022.pdf>

Imboden C, Hatzinger M. Neurobiologische Grundlage und Evidenz von Sport bei Depressionen. *NeuroTransmitter* 2016; 10: 40-44

Jahanshahi M, Dirnberger G, Fuller R, Frith CD. The role of the dorsolateral prefrontal cortex in random number generation: A study with positron emission tomography. *NeuroImage* 2000; 12: 713-725

Jansen P. Macht Bewegung unsere Kinder wirklich schlauer? Neue Erkenntnisse zum Zusammenhang von Bewegung und kognitiven Fähigkeiten bei Kindern und Jugendlichen. *Sports Orthop Traumatol* 2014; 30: 267-273

Kempermann G, Kuhn HG, Gage FH. More Hippocampal Neurons in Adult Mice Living in an Enriched Environment. *Nature* 1997; 386: 493 – 495

Komarudin K, Awwaludin PN. Life Kinetik Training in Improving the Physical Condition of Football Athletes Proceedings of the 3rd International Conference on Sport Science, Health and Physical Education (ICSSHPE 2018). Paris, France: Atlantis Press 2019;182-185

Komarudin K, Mulyana B, Novian G. The Effect of Life Kinetik Training Models to Improve Self-Confidence in Team and Individuals Athletes. *TOPSYJ* 2021; 14: 220–226

Kubesch, S., Walk, L. Körperliches und kognitives Training exekutiver Funktionen in Kindergarten und Schule. *Sportwiss* 2009; 39: 309–317

- Kunst A, 2018. Umfrage zu den Gründen des Sporttreibens in Deutschland 2018  
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1675/umfrage/gruende-fuer-sport/>  
22.09.2022
- Langdon KD, Corbett D. Improved Working Memory Following Novel Combinations of Physical and Cognitive Activity, *Neurorehabil Neural Repair* 2012; 26: 523-532
- Langohr SK, 2011. Kognition und Intelligenz – eine fMRT-Studie [https://publikationen.sulb.uni-saarland.de/bitstream/20.500.11880/21760/1/Kognition\\_und\\_Intelligenz\\_eine\\_fMRT\\_Studie.pdf](https://publikationen.sulb.uni-saarland.de/bitstream/20.500.11880/21760/1/Kognition_und_Intelligenz_eine_fMRT_Studie.pdf) 17.03.2023
- Lesinski M, Herz M, Schmelcher A, Granacher U. Effects of Resistance Training on Physical Fitness in Healthy Children and Adolescents: An Umbrella Review. *Sports Med* 2020; 50: 1901–1928
- Lindberg S, Hasselhorn M. Kognitive Entwicklung. In Lohaus A, Hrsg. *Entwicklungspsychologie des Jugendalters*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2018. 53-56
- Lohaus A, Vierhaus M. Intelligenz. In: *Entwicklungspsychologie des Kindes- und Jugendalters für Bachelor*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2019: 149-165
- Lutz H. Life Kinetik® Gehirntraining durch Bewegung. Gräfe und Unzer Verlag GmbH, München. 2020; 7. überarbeitete Auflage: 10-28
- Martin SJ, Morris RGM. New life in an old idea: the synaptic plasticity and memory hypothesis revisited. *Hippocampus* 2002; 12: 609–636
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. Kernlehrplan für die Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen: Sport, 2019: 3426. [https://lehrplannavigator.nrw.de/system/files/media/document/file/g9\\_sp\\_klp\\_3426\\_2019\\_06\\_23.pdf](https://lehrplannavigator.nrw.de/system/files/media/document/file/g9_sp_klp_3426_2019_06_23.pdf)  
30.10.2025
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. Kernlehrplan für die Sekundarstufe II in Nordrhein-Westfalen: Sport, 2014: 4734. [https://lehrplannavigator.nrw.de/system/files/media/document/file/klp\\_gost\\_sport.pdf](https://lehrplannavigator.nrw.de/system/files/media/document/file/klp_gost_sport.pdf) 30.10.2025
- Mirenowicz J, Schultz W. Importance of unpredictability for reward responses in primate dopamine neurons. *J Neurophysiol* 1994; 72: 1024–1027

Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A, Wager TD. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cogn Psychol* 2000; 41: 49-100

Moore W, Pfeifer J, Masten C, Mazziotta J, Iacoboni M, Dapretto M. Facing puberty: associations between pubertal development and neural responses to affective facial displays. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2012; 7: 35–43

Müller M, 2018. Verbesserung der koordinativen Fähigkeiten durch Life Kinetik und deren Korrelation zu Schulleistungen der Schülerinnen und Schüler. <https://www.schulpaedagogik.uni-bayreuth.de/pool/dokumente/Abschlussarbeit-Mueller.pdf> 17.03.2023

Müller P, Schmicker M, Müller NG. Präventionsstrategien gegen Demenz. *Z Gerontol Geriatr* 2017; 50: 89-95

Müller P. Körperliche Aktivität und Sport in der Prävention und Therapie neurodegenerativer Erkrankungen *Dtsch Z Sportmed* 2020; 71: 1-3

Murthy VN, Fetz EE. Oscillatory activity in sensorimotor of awake monkeys: synchronization of local field potentials and relation to behaviour. *J Neurophysiol* 1996a; 76: 3949–3967

Murthy VN, Fetz EE. Synchronization of neurons during local field potential oscillations in sensorimotor cortex of awake monkeys. *J Neurophysiol* 1996b; 76: 3968–3982

Neureuther F. Mein Training mit Life Kinetik®. *Gehirn + Bewegung = mehr Leistung*. München: nymphenburger in der F.A. Herbig Verlagsbuchhandlung GmbH, 2009: 6-29

O'Dell SJ, Gross NB, Fricks AN, Casiano BD, Nguyen TB, Marshall JF. Running wheel exercise enhances recovery from nigrostriatal dopamine injury without inducing neuroprotection. *Neurosci Res* 2007; 144: 1141-1151

Oberauer K, Süß HM, Wilhelm O, Wittmann WW. Which working memory functions predict intelligence? *Intelligence* 2008; 36: 641–652

Ogasawara R, Yasuda T, Sakamaki M, Ozaki H, Abe T. Effects of periodic and continued resistance training on muscle CSA and strength in previously untrained men. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2011; 31: 399-404

- Ogasawara R, Yasuda T, Ishii N, Abe T. Comparison of muscle hypertrophy following 6-month of continuous and periodic strength training. *Eur J Appl Physiol.* 2013; 113: 975-985
- Pawlik V. Jugendliche in Deutschland nach Häufigkeit des Sporttreibens in der Freizeit im Jahr 2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/901030/umfrage/umfrage-unter-jugendlichen-zur-haeufigkeit-des-sporttreibens-in-der-freizeit> 10.10.2023
- Pietsch S, Böttcher C, Jansen P. Cognitive Motor Coordination Training Improves Mental Rotation Performance in Primary School-Aged Children. *Mind Brain Educ* 2017; 11: 176–180
- Poulin-Dubois D, Neumann C, Masoud S, Gazith A. Effect of bilingualism on infants' cognitive flexibility. *Biling (Camb Engl)*, 2002; 25: 484-497
- Prut Y, Vaadia E, Bergman H, Haalman I, Slovin H, Abeles, M. Spatiotemporal structure of cortical activity: properties and behavioral relevance. *J Neurophysiol* 1998; 7, 2857–2874
- Rehfeld K, Müller P, Aye N, Schmicker M, Dordevic M, Kaufmann J, Hökelmann A, Müller NG. Dancing or Fitness Sport? The Effects of Two Training Programs on Hippocampal Plasticity and Balance Abilities in Healthy Seniors. *Front Hum Neurosci* 2017; 11: 305
- Reuter I, Ebersbach G. Effektivität von Sport bei Parkinson in *Aktuelle Neurologie*. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag KG, 2012; 39: 236-247
- Reynolds JN, Wickens JR. Dopamine-dependent plasticity of corticostriatal synapses. *Neural Netw*, 2002; 15: 507–521
- Riout-Pedotti MS, Donoghue JP. The nature and mechanism of plasticity. In Boniface S, Ziemann U, Eds. *Plasticity in the human nervous system. Investigations with Transcranial Magnetic Stimulation* Cambridge: Cambridge University Press 2003: 1-25
- Robert Koch-Institut (RKI). *AdiMon Themenblatt: Sportliche Aktivität*, 1. Juli 2020. [https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Studien/Adipositas\\_Monitoring/Verhalten/PDF](https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Studien/Adipositas_Monitoring/Verhalten/PDF). 10.10.2023

Ruiz De Almodovar C, Lambrechts D, Mazzone M, Carmeliet P. Role and therapeutic potential of VEGF in the nervous system. *Physiol Rev* 2009; 89: 607-648

Sahakin BJ, Langley C Leong V, 2021. IQ tests can't measure it, but 'cognitive flexibility' is key to learning and creativity. <https://theconversation.com/iq-tests-cant-measure-it-but-cognitive-flexibility-is-key-to-learning-and-creativity-163284> 17.03.2023

Sanes JN, Donoghue JP. Plasticity and primary motor cortex. *Ann Rev of Neurosci* 2000; 23: 393–415

Schöllhorn WI, Hurt P, Kortmann T. Grundlagen des differenziellen Lernens beim alpinen Skifahren (II). *Leistungssport* 2007; 37: 58–62

Schultz W. Getting formal with dopamine and reward. *Neuron* 2002; 36, 241–263

Shah TM, Weinborn M, Verdile G, Sohrabi HR, Martins RN. Enhancing Cognitive Functioning in Healthy Older Adults: a Systematic Review of the Clinical Significance of Commercially Available Computerized Cognitive Training in Preventing Cognitive Decline. *Neuropsychol Rev* 2017; 27: 62-80

Shaw P, Greenstein D, Lerch J, Clasen L, Lenroot R, Gogtay N, Evans A, Rapoport J, Giedd J. Intellectual ability and cortical development in children and adolescents. *Nature* 2006; 440: 676–679

Shors TJ, 2010. Sein oder nicht sein. In *Spektrum der Wissenschaft* 2010: 8 <https://www.spektrum.de/magazin/sein-oder-nicht-sein/1037415> 17.03.2023

Sisk CL, Foster DL. The neural basis of puberty and adolescence. *Nat Neurosci* 2004; 7: 1040-1047

Sisk CL, Zehr JL. Pubertal hormones organize the adolescent brain and behavior. *Front Neuroendocrinol* 2005; 26: 163-174

Skriver K, Roig M, Lundbye-Jensen J, Pingel J, Helge JW, Kiens B, Nielsen JB acute exercise improves motor memory: Exploring potential biomarkers. *Neurobiol Learn Mem* 2014;116:46-58

Smith A, Li M, Becker S, Kapur S. Dopamine, prediction error and associative learning: a model-based account. *Network: Computation in Neural Systems* 2006; 17: 61–85

Spiriduso WW, Clifford P. Replication of age and physical activity effects on reaction and movement time. *J Gerontol* 1978; 33: 26-30

Staron RS, Malicky ES, Leonardi MJ, Falkel JE, Hagerman FC, Dudley GA. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1990; 60: 71-79

Steinberg L, Albert D, Cauffman E, Banich M, Graham S, Woolard J. Age differences in sensation seeking and impulsivity as indexed by behavior and self-report: evidence for a dual systems model. *Dev Psychol* 2008; 44: 1764-1778

Textor MR, 2023. Gehirnentwicklung bei Babys und Kleinkindern - Konsequenzen für die Familienerziehung. <https://www.ipzf.de/Gehirnentwicklung.html> 21.03.2023

Thyen U, Konrad K. Wachstum und neurobiologische Entwicklung im Kindes- und Jugendalter. In: Fegert J, Resch F, Plener P, Kaess M, Döpfner M, Konrad K, Legenbauer T, Hrsg. *Psychiatrie und Psychotherapie des Kindes- und Jugendalters*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2020: 1–29

Towse JN, Valentine JD. Random generation of numbers: a search for underlying processes. *Eur J Cogn Psychol*, 1997; 9: 381-400

Tyborowska A, Volman I, Smeekens S, Toni I, Roelofs K. Testosterone during puberty shifts emotional control from pulvinar to anterior prefrontal cortex. *J Neurosci* 2016; 36: 6156–6164

Uddin LQ. Cognitive and behavioural flexibility: neural mechanisms and clinical considerations. *Nat Rev Neurosci*, 2021; 22: 167–179

Ulmschneider, P. Säugetiere und Intelligenz. In: *Vom Urknall zum modernen Menschen*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 2014: 169-195

Vaz A, Ribeiro I, Pinto L. *Frontiers in Neurogenesis*. *Cells*. 2022; 11: 3567

Waelti P, Dickinson A, Schultz W. Dopamine responses comply with basic assumptions of formal learning theory. *Nature* 2001; 412: 43–48

Warkentin B. *Die Evolution der menschlichen Geburt: Medizinische, biologische und anthropologische Aspekte*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1991: 46,78

Wicks LJ, Telford RM, Cunningham RB, Semple SJ, Telford RD. Longitudinal patterns of change in eye-hand coordination in children aged 8-16 years. *Hum Mov Sci* 2015; 43: 61-66

Winkler Y, Köberlein J, Hammes M, Wieland R. Warum sind gesunde Menschen gesund? Untersuchung der Präventionsmotivation in der deutschen Bevölkerung. *Dtsch Med Wochenschr* 2012; 137: 363

Wimmler M, 2018. Die Auswirkungen eines 6-wöchigen KAR-Trainings auf die exekutiven Funktionen bei jugendlichen SkisportlerInnen. <https://eplus.uni-salzburg.at/obvusbhs/download/pdf/4981569?originalFilename=true> 17.03.2023

Zimmer P, Oberste M, Bloch W. Einfluss von Sport auf das zentrale Nervensystem – Molekulare und zelluläre Wirkmechanismen. *Dtsch Z Sportmed* 2015; 66: 42-49

## **11. Danksagung**

An erster Stelle danke ich Frau PD Dr. Nicole Müller für die gute Betreuung und das mir entgegengebrachte Vertrauen und die Freiheit zur Realisierung und Gestaltung des Projekts. Außerdem gilt mein Dank Frau Dr. Aylin Mehren für die wissenschaftliche und methodische Unterstützung während der gesamten Bearbeitungsphase meiner Dissertation. Mein besonderer Dank richtet sich auch an Frau Dr. Leonie Weinhold, die mir mit ihrer statistischen Expertise zur Seite stand.

Bei Herrn Ralph Reckeweg bedanke ich mich für sein Engagement und die ermöglichte Kooperation mit dem Lise-Meitner-Gymnasium in Willich-Anrath.

Danke Dir, Philipp, für Deine Unterstützung und aufbauenden Worte - nicht nur während des Studiums und des Verfassens der Promotion - insbesondere nach herausfordernden Nächten mit unseren kleinen Schätzen.