



PRIVATE PÄDAGOGISCHE HOCHSCHULE DER DIÖZESE LINZ
ZENTRUM FÜR WEITERBILDUNG

Masterthesis
zum Abschluss des
Masterstudium „Neurowissenschaften und
Bildung“

Mehr als nur Bewegung und Sport
Förderung der exekutiven Funktionen im Sportunterricht

vorgelegt von
Michael Heilbrunner, BEd

Betreuung
Mag. Dr. Karl Koschutnig
Dr. Albin Waid

00 85195

21 575 Wörter

Linz, 12.10.2021

Dankesworte

An dieser Stelle bedanke ich mich bei allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben und mich über diese Zeit motiviert und unterstützt haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Mag. Dr. Karl Koschutnig, der meine Masterarbeit betreut und begutachtet hat. Der mich sowohl inhaltlich als auch technisch beraten und mich immer wieder motiviert hat, wenn es notwendig war.

Mein Dank gilt auch Dr. Albin Waid, der als Zweitbetreuer, mir vor allem zu Beginn der Arbeit half, die passende Ausrichtung und den Überblick zu finden.

Bei MMag. Martin Leitner bedanke ich mich für seine großartige Vorarbeit und dem zur Verfügung stellen der Rohdaten seiner Untersuchung, die ich im Hauptteil der Arbeit ausgewertet und analysiert habe.

Vielen Dank an Dr. Andreas Stöckl, mit dem es gelang, mir bei der Fülle der Daten einen Überblick zu verschaffen, auch wenn ich die Analyse der Daten so leider nicht verwenden konnte.

Bei meinem Bruder Matthias Heilbrunner bedanke ich für das Korrekturlesen der Arbeit. Und zu guter Letzt gilt ein besonderer und der größte Dank meiner Frau Romy Schneider. Sie hat mich über die Studienzeit hinweg großartig unterstützt, motiviert und mir den Rücken freigehalten. Nur so war es möglich, das Studium zu absolvieren und diese hier vorliegenden Arbeit zu schreiben.

Danke.

Abstract

Als Exekutivfunktionen werden einige kognitive Prozesse zusammengefasst, die für eine zielgerichtete Kognition und ein planvolles Verhalten verantwortlich und notwendig sind. Viele Untersuchungen weisen auf eine Förderung der exekutiven Funktionen bei Kindern durch akute, aber auch chronische Bewegungsübungen und Sportprogramme hin. Es zeigt sich aber, dass unterschiedliche Programme und Angebote ebenso unterschiedlich ausgeprägte Effekte auf die Exekutivfunktionen der Kinder haben.

In der hier vorliegenden Arbeit wurde in einer großen, repräsentativen Stichprobe (N = 659) von oberösterreichischen Pflichtschülerinnen und -schülern der ersten Klassen im Alter von 10,73 – 11,04 Jahren untersucht, ob ein mehr an Unterrichtseinheiten in Bewegung und Sport bzw. ein spezielles Übungsprogramm für den schulischen Bewegung- und Sportunterricht die Exekutivfunktionen verbessern können. Unterschieden wurden dabei Regel- und Sportklassen, die wiederum gleichmäßig in eine Kontroll- und Versuchsgruppe aufgeteilt wurden. Die Regelklassen haben dabei 3 - 4 Einheiten und die Sportklassen 7 - 8 Einheiten Bewegung- und Sportunterricht in der Woche. Die Kontrollgruppe wurde ohne Einfluss von außen unterrichtet. In der Versuchsgruppe wurden in den Regelklassen 2 Mal pro Woche und in den Sportklassen 3 Mal pro Woche spezielle Unterrichtsinhalte angeboten. Der Untersuchungszeitraum war auf 20 Unterrichtswochen ausgelegt.

Mit Hilfe des Design-Fluency-Tests wurden die exekutiven Funktionen zu Beginn, nach 10 und nach Abschluss der Intervention, nach 20 Unterrichtswochen getestet.

Zu sehen war vor allem eine deutliche Verbesserung der exekutiven Funktionen bei Schülerinnen und Schülern der Sportklassen, die das Doppelte an schulischer Bewegungszeit hatten als ihre Kolleginnen und Kollegen in den Regelklassen. Auch die Ergebnisse der Versuchsgruppe legen nahe, dass spezielle Unterrichtsinhalte für den

Bewegung- und Sportunterricht positive Effekte auf die Exekutivfunktionen der Kinder haben.

Diese Daten belegen, dass der schulische Bewegung- und Sportunterricht neben seinem Beitrag für das Gesundheitswesen auch eine große Bedeutung in der kognitiven Entwicklung unserer Schülerinnen und Schüler hat.

Abstract

Executive functions are a group of cognitive processes that are responsible and necessary for targeted cognition and planned behaviour. Many studies indicate that the executive functions in children are enhanced by acute as well as chronic movement exercises and sports programmes. However, it has been shown that different programmes and offerings have equally different effects on the executive functions of children.

In the present study, a large, representative sample (N = 659) of Upper Austrian school pupils in the first grades aged 10.73 - 11.04 years was examined to determine whether a greater number of teaching units in physical activity and sports or a special exercise programme for school physical activity and sports lessons could improve the executive functions. A distinction was made between regular and sports classes, which were divided equally into a control and experimental group. The regular classes have 3 - 4 units and the sports classes 7 - 8 units of exercise and sports lessons per week. The control group was taught without external influence. In the experimental group, special lessons were offered twice a week in the regular classes and three times a week in the sports classes. The study period was designed for 20 teaching weeks.

With the help of the design fluency test, the executive functions were tested at the beginning, after 10 and after completion of the intervention, after 20 teaching weeks.

Above all a clear improvement in the executive functions was seen in pupils in the sports classes, who had twice the amount of school time spent on physical activity than their colleagues in the regular classes. The results of the experimental group also suggest that special teaching content for physical activity and sports lessons has positive effects on the children's executive functions.

These data show that, in addition to its contribution to the health care system, school physical activity and physical education also plays a major role in the cognitive development of our students.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Theorie.....	11
2.1	Exekutive Funktionen.....	11
2.1.1	Definition	11
2.1.2	Anatomie und Neurologie der exekutiven Funktionen.....	17
2.1.3	Entwicklung der exekutiven Funktionen.....	20
2.1.4	Bedeutung der exekutiven Funktionen.....	26
2.2	Bewegung und Sport.....	30
2.2.1	Bewegung und Sport in der Schule	31
2.2.2	Physiologische Grundlagen im Zusammenhang mit den exekutiven Funktionen	36
2.2.3	Relevanz von Bewegung und Sport für die geistige Leistungsfähigkeit	42
2.3	Förderung der exekutiven Funktionen in Bewegung und Sport.....	46
2.3.1	Trainierbarkeit der exekutiven Funktionen.....	48
2.4	Fragestellung	62
3	Methodik.....	64
3.1	Durchführung und Ablauf.....	64
3.2	Design-Fluency-Test	65
3.2.1	Stichprobe	66
3.2.2	Testdurchführung.....	68
3.2.3	Auswertung.....	70
3.2.4	Unterstützungsmaterialien für Bewegung und Sport	72
3.3	Statistische Analyse	74
4	Ergebnisse	76
4.1	Design-Fluency-Test (DFT)	76

4.1.1	Gesamtergebnisse.....	77
4.1.2	Bedingung 1, Bedingung 2, Bedingung 3.....	80
4.1.3	EF12.....	88
4.1.4	Korrektheit.....	92
5	Zusammenfassung, Kritik und Ausblick	95
6	Literatur	105
7	Abbildungsverzeichnis	115
8	Tabellenverzeichnis	117
9	Anhang.....	118

1 Einleitung

In zahlreichen Untersuchungen wurde bereits der positive Einfluss von körperlicher Aktivität durch aerobe Übungen auf ausgewählte Aspekte der Gehirnfunktionen dokumentiert. Bewegung kann demzufolge nicht nur dazu beitragen, die körperliche Gesundheit zu verbessern, sondern auch die schulische Leistung (Audiffren et al., 2009; Best, 2010; Chaddock et al., 2012; Hillman et al., 2008; Hillman et al., 2009a; Hillman et al., 2009b; Joyce et al., 2009; Kamijo & Takeda 2010).

Die exekutiven Funktionen, also die Fähigkeit, das eigene Denken bzw. die Aufmerksamkeit und das Verhalten sowie die eigenen Emotionen gezielt steuern zu können, ist eine wichtige Grundlage für den Erfolg in der Schule und im Leben. Gut ausgebildete exekutive Funktionen stellen somit die Basis erfolgreichen Lernens dar (Best et al., 2011; Blair & Razza, 2007; Blair et al., 2007; Davidson et al., 2006; Diamond et al., 2011; Hillman et al., 2009a; Hillman et al., 2009b; St. Clair-Thompson & Gathercole, 2006).

Spannend in Hinblick auf die Fragestellungen in dieser Arbeit ist es, dass Bewegung und Sport exekutive Funktionen im Kindes- und Jugendalter fördern kann (Best, 2010; Diamond & Lee, 2011). Es gibt jedoch noch wenige Untersuchungen zu längerfristigen Effekten, insbesondere wenn es um die Umsetzung in der Schule geht (Chaddock et al., 2012). Diamond und Lee (2011, S. 961) stellen in ihrer Science-Publikation klar fest, dass Aerobes Training und Sport eine Möglichkeit für die Förderung der exekutiven Funktionen darstellt. Es sind dagegen noch mehrere Punkte nach der aktuellen internationalen Forschungslage offen. Davon sollen in dieser Arbeit relevante Fragen für die Schule bearbeitet werden (Best, 2010; Davidson et al., 2006; Diamond & Lee, 2011; Etnier & Chang, 2009; Friedmann et al., 2006; Miyake & Friedman, 2012).

Zu Beginn der Arbeit, dem Theorieteil, wird allgemein auf die Exekutivfunktionen, auf den Unterrichtsgegenstand Bewegung und Sport in Österreich und schließlich auf die Förderung der exekutiven Funktionen in Bewegung und Sport eingegangen. Abschließend werden die Forschungsfragen sowie die Hypothesen formuliert. Der Methodenteil geht dann genau auf die Durchführung der Untersuchung sowie die Stichprobe ein. Dazu gehören die Auswahl der Schulen, die

Gruppenzuteilungen, die Durchführung der Tests und die Unterlagen für die Lehrerinnen und Lehrer. Die (Gesamt-)Ergebnisse werden danach präsentiert, aber auch ausgewählte und relevante Gruppenergebnisse. Zum Schluss werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst und in Bezug zu bereits durchgeführten Untersuchungen gesetzt. Es werden Schwierigkeiten, Limitationen und mögliche Einflussfaktoren der Ergebnisse erwähnt und ein Ausblick auf Folgeuntersuchungen gegeben.

2 Theorie

2.1 Exekutive Funktionen

Der Begriff der Exekutiven Funktionen fasst verschiedene kognitive Prozesse zusammen, die für höhere Kontrollprozesse, wie zum Beispiel zielgerichtetes Verhalten, Gedanken und Emotionen, im Gehirn verantwortlich sind. Besonders in neuartigen und anspruchsvollen Situationen sind diese Prozesse besonders wichtig, da dort eine schnelle und flexible Anpassung des Verhaltens an die veränderten Anforderungen der Umwelt erforderlich sind. Es gibt eine Reihe von unterschiedlichen Definitionen, auf die im nächsten Unterkapitel eingegangen wird. Danach gehe ich auf die Anatomie und Neurologie und schließlich auf die Entwicklung der Exekutiven Funktionen ein. Der Grund für dieses Thema der Arbeit und die Bedeutung der Exekutiven Funktionen für die Schule und das Leben finden sich im Kapitel 2.1.4.

2.1.1 Definition

Im Laufe der Jahre wurden verschiedene Rahmen vorgeschlagen, um den Begriff der exekutiven Funktionen und ihre Funktionsweise zu definieren. Cristofori, Cohen-Zimerman & Grafman (2018) und Jurado & Rosselli (2007) liefern dazu einen guten Überblick. 1973 war Luria der Erste, der ein Modell der exekutiven Funktionen konzeptualisierte. Die Hauptkomponenten der exekutiven Funktionen beschrieb er als Antizipation, Planung, Ausführung und Selbstkontrolle. 1974 beschrieben Baddeley und Hitch die Exekutivfunktionen als „*zentrale Exekutive*“ und später Lezak (1983) als die Dimension des menschlichen Verhaltens, die sich mit dem „Wie“ des Verhaltens befasst. Es wird argumentiert, dass exekutive Fähigkeiten bei neuartigen oder komplexen Aufgaben aktiviert werden, da sie vom Individuum verlangen, neue Pläne und Strategien zu formulieren und deren Wirksamkeit zu überwachen, während einfache oder routinemäßige Aufgaben instinktiv und ohne Aktivierung von exekutiven Prozessen ausgeführt werden (Shallice, 1990; in Anderson, 2002)

1995 definierte Lezak die „*Exekutivfunktionen als die mentalen Fähigkeiten, die notwendig sind, um ein Ziel zu formulieren, Aktionen zu planen und durchzuführen, um*

dieses Ziel zu erreichen, und dann in die Ausführung komplexer Aufgaben einzugreifen (in Cristofori et al., 2018, S. 2).“ Diese hängen von drei kognitiven Handlungen ab: Verschieben oder Wechseln zwischen verschiedenen Aufgaben, Hemmen unwichtiger (automatischer) Reaktionen und Aktualisieren mentaler Repräsentationen, die im Arbeitsgedächtnis gespeichert sind (Miyake et al., 2000).

Mit der Zeit sind viele verschiedene Definitionen verwendet worden. In Tabelle 1: Konzepte und Komponenten der exekutiven Funktionen bei unterschiedlichen Autoren (Jurado & Rosselli, 2007, S. 214) ist ein Teil davon zu sehen:

Tabelle 1: Konzepte und Komponenten der exekutiven Funktionen bei unterschiedlichen Autoren (Jurado & Rosselli, 2007, S. 214)

Autoren	Konzepte und/oder Komponenten der exekutiven Funktionen
Lezak (1983)	Freiwilligkeit, Planung, zielgerichtetes Handeln, effektive Leistung
Baddeley and Hitch (1974)	Zentrale Exekutive, phonologische Schleife, visuell-räumlicher Skizzenblock
Norman and Shallice (1986)	Aufsichts-Aufmerksamkeits-System
Lafleche and Albert (1995)	Gleichzeitige Manipulation von Informationen: kognitive Flexibilität, Konzeptbildung, cue-gesteuertes Verhalten
Borkowsky and Burke (1996)	Aufgabenanalyse, Strategiekontrolle, Strategieüberwachung
Anderson et al. (2001)	Aufmerksamkeitssteuerung, kognitive Flexibilität, Zielsetzung
Delis et al. (2001)	Flexibilität des Denkens, Hemmung, Problemlösung, Planung, Impulskontrolle, Begriffsbildung, abstraktes Denken, Kreativität
Hobson and Leeds (2001)	Planung, Initiierung, Aufrechterhaltung und Änderung von zielgerichtetem Verhalten
Piguet et al. (2002)	Begriffsbildung, Argumentation, kognitive Flexibilität
Elliot (2003)	Lösen neuartiger Probleme, Ändern des Verhaltens im Lichte neuer Informationen, Generieren von Strategien, Sequenzieren komplexer Aktionen
Banich (2004)	Gezielte und koordinierte Organisation des Verhaltens. Reflexion und Analyse des Erfolgs der eingesetzten Strategien

Die wohl am weitesten verbreitete Definition hat ihren Ursprung bei Miyake et al. (2000). Sie haben mit empirischen Daten nachgewiesen, dass „Shifting“, „Updating“ und „Inhibition“ zwar miteinander korrelieren, aber klar zu unterscheiden sind. Diamond definiert (2013, S. 135) die Exekutivfunktionen so:

“Core EFs are inhibition [response inhibition (self-control—resisting temptations and resisting acting impulsively) and interference control (selective attention and cognitive inhibition)], working memory, and cognitive flexibility (including creatively thinking “outside the box,” seeing anything from different perspectives, and quickly and flexibly adapting to changed circumstances).”

Es gibt aber auch übergreifende Kernkomponenten der exekutiven Funktionen, und so wurde das Modell von „Unity and Diversity“ (Miyake et al. 2000) der exekutiven Funktionen entwickelt (siehe Abbildung 1). Es zeigt, dass die Exekutivfunktion aus miteinander verbundenen, aber dissoziativen Konstrukten besteht.

Die Hauptaufgabe der exekutiven Funktionen ist die Optimierung von zielgerichtetem Verhalten in neuen und unbekanntem Situationen. Dies ist ein äußerst anspruchsvoller metakognitiver Prozess (Etnier & Chang, 2009). Diese mentalen Prozesse verlaufen von oben nach unten (Top-down) (Diamond, 2013).

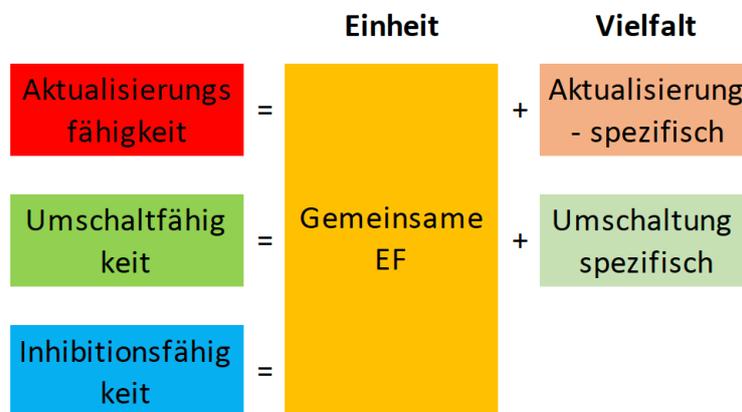


Abbildung 1: Unity an Diversity Modell nach Miyake & Friedmann, 2012, S. 11

Die Arbeiten von Miyake & Friedman (2012) zeigen, dass bei Annahme eines einheitlichen Kerns nur „shifting“ und „updating“ als Faktoren für die „Diversity“ übrigbliebe, allerdings alle drei Faktoren weiterhin in der „Common EF“ dabei sind.

Einige Forschungsarbeiten haben versucht, die Exekutivfunktion auf die stärker ausgeprägten Komponenten Inhibition, Zeitplanung (scheduling), Planung, Arbeitsgedächtnis, Koordination und Sequenzierung auszudehnen (Colcombe & Kramer, 2003). Auch das Überlegen (reasoning) und das Problemlösen (problem solving) werden in einigen Arbeiten zu den exekutiven Funktionen gezählt (Cristofori et al., 2018). Romine und Reynolds (2005) haben in einer Metaanalyse noch weitere Komponenten der Exekutivfunktionen definiert: Inhibition der Ausdauer (inhibition of perseveration), Aufrechterhaltung des Zeitplans, Planung, flüssige Gestaltung (design fluency) und die verbale Ausdrucksfähigkeit (verbal fluency) (in Hung, 2013).

In dieser Arbeit wird das Modell von Miyake et al. (2000) mit den drei Kernexekutivfunktionen (Inhibition, Arbeitsgedächtnis und kognitive Flexibilität) übernommen. In den Unterkapiteln wird jeweils darauf genauer eingegangen.

2.1.1.1 Inhibition

Die Inhibition wird als grundlegend für die exekutiven Funktionen angesehen (Miyake et al. 2000). Die Inhibition ist dafür verantwortlich, unangemessene Gedanken, Handlungen und Impulse zu unterdrücken bzw. zu hemmen. In der Laborsituation wird diese Hemmung typischerweise als Unterdrückung (Inhibition) einer präpotenten Reaktion bezeichnet (Cristofori et al., 2019, S. 204). Davidson, Amso, Anderson & Diamond (2006, S. 2038) definieren die Inhibition so: „[...] *to act on the basis of choice rather than impulse, exercising self-control (or self-regulation) by resisting inappropriate behaviors and responding appropriately*“.

Einige Autoren bezeichnen diese Form der Hemmung als Antwortinhibition. Ein Beispiel dafür wäre, wenn man eine Freundin trifft, die ganz stolz auf ihre neue Frisur ist, einem selbst diese aber überhaupt nicht gefällt. Hier wäre es unangebracht, dies gleich zu Beginn zu erwähnen, sondern besser durch die Unterdrückung mit etwas Passenderem zu beginnen. Ebenfalls dazu gehört auch, dass man Arbeiten für die Schule erledigt und stattdessen nicht Computer spielt oder sich anderweitig ablenkt - was ein wesentlicher Teil der Selbstkontrolle ist. Ein wichtiger Aspekt ist hier der Aufschub von Belohnungen (Diamond, 2013).

Die Kontrolle der Aufmerksamkeit (Interferenzkontrolle auf Ebene der Wahrnehmung) gehört hier auch unbedingt erwähnt. Diese ermöglicht es uns, unseren Fokus bewusst zu wählen und die Aufmerksamkeit für andere Stimuli zu unterdrücken (Diamond, 2013). Dies ist für die Schulsituation unbedingt erforderlich, denn nur so ist es möglich, dem Unterricht zu folgen und Störungen/Geräusche von anderen zu unterdrücken bzw. auszublenden.

Ein weiterer Aspekt der Interferenzkontrolle ist die Unterdrückung präpotenter mentaler Repräsentationen (kognitive Hemmung). Dazu gehört der Widerstand gegen fremde oder unerwünschte Gedanken oder Erinnerungen, einschließlich des absichtlichen Vergessens (Anderson & Levy, 2009; in Diamond, 2013), der Widerstand gegen proaktive Störungen durch früher erworbene Informationen und der Widerstand gegen rückwirkende Störungen durch später präsentierte Gegenstände (Postle et al., 2004; in Diamond, 2013). Die kognitive Hemmung steht – wie in 2.1.1.2. beschrieben – normalerweise im Dienst der Unterstützung des Arbeitsgedächtnisses.

Durch die Fähigkeit Verhalten zu hemmen, gelingt es, Ziele und Vorhaben besser zu erreichen, da Aktivitäten oder Handlungen vermieden werden, die dem angestrebten Ziel widersprechen.

2.1.1.2 Arbeitsgedächtnis

Wie bereits erwähnt, hängen Arbeitsgedächtnis und Inhibition sehr stark zusammen. Allerdings werden sie als zwei unabhängige exekutive Funktionen gesehen (Diamond, 2013).

Atkinson und Shiffrin (1968) haben zwischen drei Gedächtnissystemen unterschieden: dem sensorischen Gedächtnis, dem Kurzzeit- und dem Langzeitgedächtnis.

Das Kurzzeitgedächtnis unterscheidet sich nun vom Arbeitsgedächtnis dadurch, dass im Kurzzeitgedächtnis, wie der Name schon sagt, die Informationen nur für kurze Zeit gehalten werden. Im Arbeitsgedächtnis jedoch werden diese Informationen behalten und manipuliert.

Dies braucht man beispielsweise, um jede Art von mathematischen Leistungen im Kopf erbringen zu können oder sich den Anfang eines Satzes zu merken, damit man

den Sinn dieses oder eines ganzen Textes erfassen kann. Aber auch für das Verstehen von Anweisungen, dem Planen und dem Umsetzen in die Tat, dem Einbeziehen neuer Informationen und der Erwägung von Alternativen benötigt man das Arbeitsgedächtnis. Außerdem ist man mit Hilfe des Arbeitsgedächtnisses in der Lage mentale Verbindungen zu Informationen herzustellen, um mögliche Prinzipien abzuleiten oder Zusammenhänge zu sehen. Ohne Arbeitsgedächtnis wäre kein Denken möglich! „Es ermöglicht uns auch, konzeptionelles Wissen und nicht nur Wahrnehmungseinflüsse in unsere Entscheidungen einzubringen und unsere erinnerten vergangenen und zukünftigen Hoffnungen bei unseren Plänen und Entscheidungen zu berücksichtigen.“ (in Diamond, 2013, S. 142f, eigene Übersetzung)

Damit das Arbeitsgedächtnis überhaupt funktionieren kann, ist es notwendig die Aufmerksamkeit auszurichten, den Aufmerksamkeitsfokus von einem zum anderen zu verlagern, die Aufmerksamkeit zu verteilen, wenn zwei Aufgaben gleichzeitig ausgeführt werden und die Verknüpfung von Inhalten des Arbeitsgedächtnisses mit dem Langzeitgedächtnis. All diese Leistungen werden zentral kontrolliert bzw. koordiniert und ist eine Komponente des Arbeitsgedächtnisses (Repovs & Baddeley, 2006).

Schon diese Leistungen allein, beinhalten wesentliche Überschneidungen mit den exekutiven Funktionen. Deshalb hat man sich geeinigt, dem Arbeitsgedächtnis die Aufrechterhaltung der Informationen und die Bearbeitung dieser zuzuweisen. (Diamond, 2013; Miyake & Friedman, 2012).

2.1.1.3 Kognitive Flexibilität

Die dritte Kernexekutivfunktion ist die kognitive Flexibilität, welche auf den beiden anderen aufbaut. Mit Hilfe dieser Funktion ist man in der Lage Perspektiven räumlich (z.B. „Wie würde der Raum aussehen, wenn ich auf der anderen Seite stehe?“) und interpersonell (z.B. „Wie sieht meine Freundin/mein Freund das?“) zu wechseln. Damit man das tun kann, ist es notwendig, die eigene (aktuelle) Perspektive zu hemmen (oder auszuschalten) und die andere Perspektive im Arbeitsgedächtnis zu aktivieren. Unter kognitive Flexibilität fällt auch das Problemlösen, das Fehlereingestehen und das „über-den-Tellerrand-hinaus-denken“ (so wie ich das immer gemacht habe funktioniert es nicht und ich muss mich auf veränderte Anforderungen einstellen und die Prioritäten

anpassen), (z.B. „Ich bin unterwegs, habe aber mein Mobiltelefon nicht dabei, muss aber dringend jemanden anrufen. Wie schaffe ich das aber trotzdem?“) (Diamond, 2013).

2.1.2 Anatomie und Neurologie der exekutiven Funktionen

Begonnen hat die Erforschung exekutiven Funktionen mit den neuropsychologischen Studien bei Patienten mit Schäden am Frontallappen. Der wohl bekannteste Fall ist jener von Phineas Gage, der bei einer Sprengung eine drei Zentimeter dicke Eisenstange durch Wange und Kopf bekommen hat. Er war während des gesamten Unfallgeschehens bei Bewusstsein und überlebte den Unfall. Er regenerierte sich körperlich, auch seine intellektuellen Fähigkeiten, wie Wahrnehmen, Gedächtnis, Intelligenz, Sprachfähigkeit und die motorischen Fähigkeiten, waren bald wieder intakt. Es kam allerdings zu einer massiven Veränderung der Persönlichkeit: sein Gemüt wurde vor dem Unfall als sonnig, freundlich und ausgeglichen beschrieben. Nach dem Unfall jedoch wurde er als impulsiv, unzuverlässig und kindisch angesehen. Er starb 12 Jahre später im Jahr 1860 (Lecturio, 2017b).

Als Gruppe von Patienten mit Frontallappenschäden neigen sie dazu, Beeinträchtigungen bei einer Vielzahl von komplexen Exekutivaufgaben oder anderen Aufgaben, die über den Frontallappen kontrolliert und gesteuert werden zu zeigen. Diese Aufgaben sind komplex und die schlechten Leistungen könnten natürlich aus verschiedenen Gründen auftreten. Allerdings sind diese trotzdem zu den wichtigsten Instrumenten für die Untersuchung der Exekutivfunktionen in neuropsychologischen Studien an hirngeschädigten Patienten und auch in Studien zu individuellen Unterschieden in der Normalbevölkerung geworden.

Die neuen Techniken und Methoden erlauben es nun aber die Aktivitäten im Gehirn mit entsprechenden Tätigkeiten in Verbindung zu bringen und somit ist es zum Glück nicht mehr notwendig, Rückschlüsse nur aufgrund von verletzten Patienten zu treffen. Jurado & Rosselli (2007) haben dies in ihrem Artikel sehr gut aufgelistet und die Zuordnung von unterschiedlichen Aufgaben und Messmethoden zu den entsprechenden Hirnarealen in vorgenommen. Dem präfrontalen Kortex (Abbildung 2) kommt eine Schlüsselrolle bei den exekutiven Funktionen zu. Bildgebende Verfahren zeigen jedoch neuronale Verbindungen zwischen dem präfrontalen Kortex, den

motorischen und sensorischen Kortikalen und den subkortikalen Strukturen des Gehirns (z. B. Basalganglien und Thalamus) (Akyurek, 2018, S. 33; Cristofori et al., 2019, S. 3; Hall, 2013).

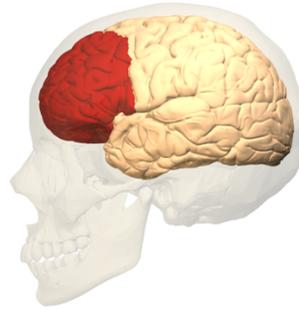


Abbildung 2. Präfrontaler Kortex (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:>

Der präfrontale Kortex kann in drei Bereiche unterteilt werden: den medialen Teil, den dorsolateralen Teil und die orbitofrontale Region.

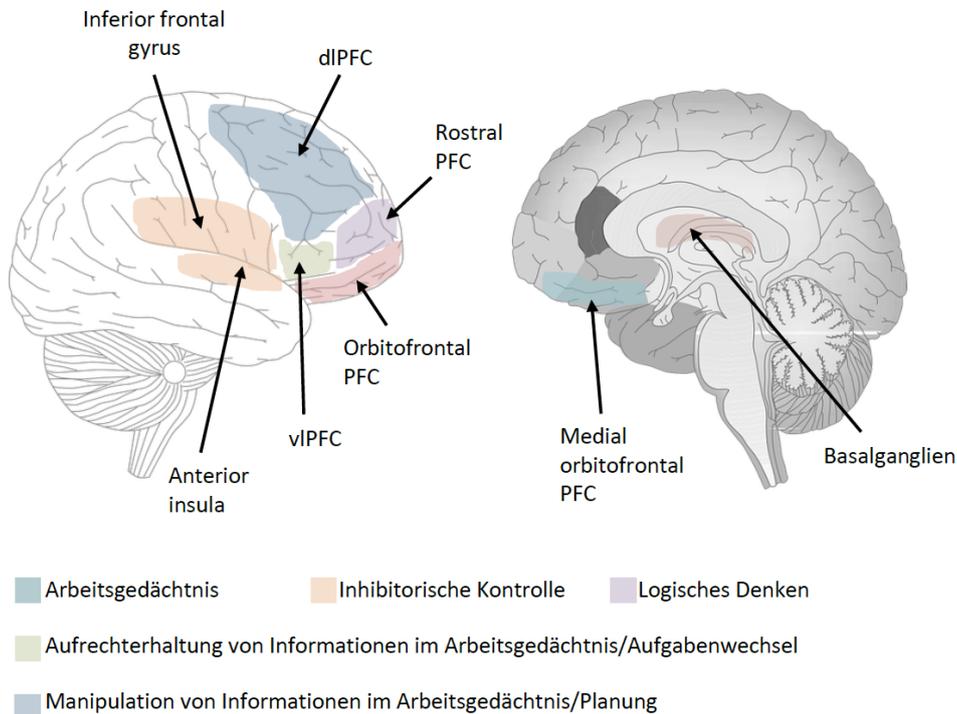


Abbildung 3. Hirnareale, die mit verschiedenen Exekutivfunktionen assoziiert sind, basierend auf Läsions- und/oder Neurobildgebungsstudien nach Cristofori et al., 2019, S. 4

In einer Übersicht betonten Royall et al. (2002) die Bedeutung der neuralen Schaltkreise, die die Frontallappen, die Basalganglien und den Thalamus umfassen, für die Leistung bei exekutiven Tests (Abbildung 3). Die Autoren identifizierten drei wichtige Schaltkreise, die ihren Ursprung im Frontallappen haben und Projektionen an die Basalganglien und den Thalamus senden: Der präfrontale dorsolaterale-Schaltkreis ist vermutlich an den Funktionen Planung, Zielauswahl, Set-Shifting, Arbeitsgedächtnis und Selbstkontrolle beteiligt; der laterale Orbitofrontal-Schaltkreis ist an der Risikoabschätzung und der Hemmung unangemessener Verhaltensreaktionen beteiligt; der anteriore cinguläre Schaltkreis funktioniert bei der Überwachung des Verhaltens und der Selbstkorrektur von Fehlern.

Studien bestätigen (z. B. Cristofori et al., 2019; Jurado & Rosselli, 2007) die Annahme, dass für die unterschiedlichen Komponenten der exekutiven Funktionen auf der einen Seite die gleichen Gehirnareale und Netzwerke aktiviert werden, aber dann in Abhängigkeit der jeweiligen Aufgabe auch zusätzliche Bereiche des Gehirns beteiligt sind. Es wird damit das „Unity and Diversity“ Modell (siehe Abbildung 1) von Friedman und Miyake (2012) in den Grundelementen bestätigt.

Neben der Lokalisierung der Aktivierung von Teilen des Gehirns bei Aufgaben zu den exekutiven Funktionen ist es auch von Interesse, wie sich die Aktivierung bei Aufgaben im Zeitverlauf verändert und sich Personen mit unterschiedlich guten Leistungen bei der Aktivierung unterscheiden.

Neben der stärkeren oder weniger starken Aktivierung ist auch die Streuung der Aktivierung unterschiedlich. So zeigen bei einem bestimmten Aufgabenspektrum Individuen mit besseren exekutiven Funktionen eine weniger diffuse Hirnaktivität als jene mit geringeren Fähigkeiten (Akyurek, 2018). Je komplexer allerdings die Aufgaben werden, desto höher wird die Aktivierung. Wenn die Aufgabe die Fähigkeiten der Testpersonen allerdings übersteigt, sinkt die Aktivierung des Präfrontalen Kortex. Das heißt, Individuen mit geringerer Exekutivfähigkeit zeigen eine größere neuronale Aktivität im Vergleich zu Individuen mit hoher Fähigkeit bei niedrigeren Kompliziertheitsgraden, wohingegen Individuen mit höherer Fähigkeit eine größere Aktivität bei höheren Komplexitätsgraden zeigen (Blair & Raver, 2015).

Natürlich ist es wichtig zu wissen, in welchen Hirnregionen Aktivitäten bei exekutiven Anforderungen zu finden sind. Es ist aber ebenso von großer Bedeutung, wie sich die exekutiven Funktionen bzw. die einzelnen Elemente bei Kindern und Jugendlichen entwickeln.

2.1.3 Entwicklung der exekutiven Funktionen

Die exekutiven Funktionen entwickeln sich allmählich und gehören zu den letzten geistigen Funktionen, die die Reife erreichen. Was unter anderem damit zu erklären ist, dass der präfrontale Kortex und die assoziierten kortikalen und subkortikalen Strukturen sehr langsam reifen. Wobei einige Teile davon erst im Erwachsenenalter fertig entwickelt sind. Es wird angenommen, dass diese Entwicklung der exekutiven Funktionen viele der Unterschiede erklärt, die zwischen den Stufen der kognitiven Entwicklung über die gesamte Lebensspanne hinweg wahrgenommen werden. Im Durchschnitt zeigen sowohl Kinder als auch ältere Erwachsene eine schlechtere EF-Leistung im Vergleich zu jungen Erwachsenen (Cristofori et al., 2019; Jurado & Rosselli, 2007).

Während des Heranwachsens verbessern sich die exekutiven Funktionen kontinuierlich (Best & Miller, 2010; Jurado & Rosselli, 2007). Säuglinge reagieren hauptsächlich auf die Gegenwart und auf Ereignisse in ihrer unmittelbaren Umgebung. Allerdings können Säuglinge bereits im ersten Lebensjahr Anzeichen dafür zeigen, dass sie grundlegende Regeln sowie Aufmerksamkeits- und Gedächtnisleistungen extrahieren (Rose et al., 2016; in Cristofori et al., 2019). Man glaubt, dass diese grundlegenden Fähigkeiten der Informationsverarbeitung die Grundlage für die spätere Entwicklung der exekutiven Funktionen bilden. Mit zirka drei Jahren, also relativ früh, lassen sich die drei Kernkomponenten der exekutiven Funktionen unterscheiden. Wobei sich die Wissenschaft nicht ganz einig ist, ob es zuerst eine Differenzierung von zwei und dann erst später zu einer Differenzierung auf drei Bereiche kommt (Best & Miller, 2010). Wie man in Abbildung 4 gut sehen kann, findet im Altersbereich bis zum Schulbeginn eine sehr starke Entwicklung der exekutiven Funktionen statt. Aber auch später, von der mittleren/späten Kindheit und der Adoleszenz, entwickeln sich, wie oben erwähnt, die

exekutiven Funktionen weiter (Best & Miller, 2010; Davidson et al. 2016; Diamond, 2013).

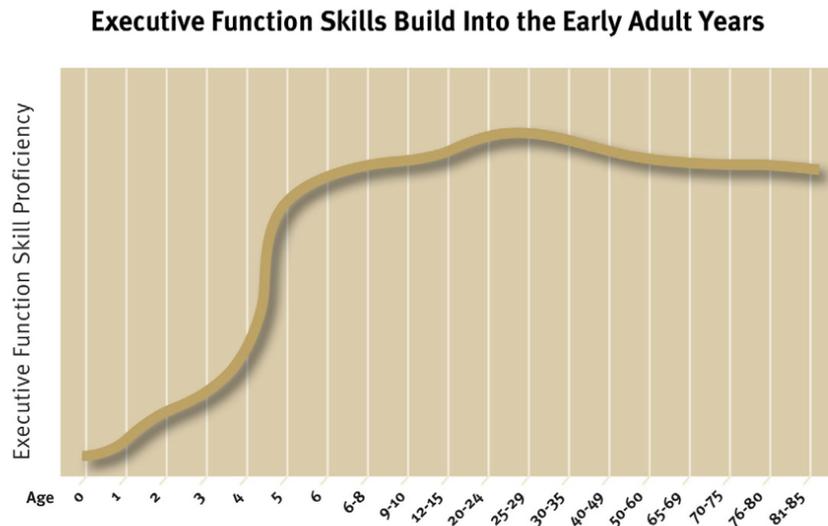


Abbildung 4: Die Entwicklung der Exekutivfunktionen im Laufe des Lebens
(Center on the Developing Child., 2012)

Laut Best & Miller (2010) passiert ein großer Entwicklungsschub im Alter von 3 bis 6 Jahren. Die Leistungsfähigkeit des exekutiven Systems nimmt aber bis zum jungen Erwachsenenalter zu, bevor sie mit zunehmendem Alter wieder zurückgeht. Für diese Arbeit ist jedoch das Alter im Bereich der späten Kindheit (10 bis 14 Jahre) von Interesse.

Die Forschung deutet sowohl auf eine quantitative (Umfang der Aktivierung) als auch auf eine qualitative (Ort der Aktivierung) Veränderung und Entwicklung der Exekutivfunktionen hin. Ein großer Teil der Veränderung scheint quantitativ und allmählich zu sein, obwohl sie in den ersten Lebensjahren schneller erfolgt. Die Aktivitätsabnahme in vielen relevanten Hirnregionen mit dem Alter spiegelt vielleicht die wachsende Effizienz der neuronalen Reaktion wider. Die qualitativen Veränderungen deuten auf Veränderungen in der Gehirnorganisation hin, da sich der Ort der Hirnaktivität während der Entwicklung verschiebt (z.B. Scherf et al., 2006 in Best & Miller, 2010).

In anderen Regionen nimmt die Aktivität mit Fortlaufen der Entwicklung allerdings zu, z.B. im dorsolateralen präfrontalen Kortex während

Arbeitsgedächtnisaufgaben und im ventralen präfrontalen Kortex während der Inhibition (Best & Miller, 2010).

Neben der allgemeinen Entwicklung der exekutiven Funktionen werden in der Folge die drei Kernbereiche genauer behandelt:

1) Inhibition

Best & Miller (2010) vermuten, dass erst ein bestimmtes Maß an Inhibition entstehen muss, um andere Exekutivfunktionen überhaupt erst zu ermöglichen. Für die Inhibition sind auch immer Anforderungen für das Arbeitsgedächtnis mit dabei. Somit entsteht in der Forschung das Problem der genauen Trennschärfe zwischen Inhibition und Arbeitsgedächtnis. Denn die Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis sollten möglichst geringgehalten werden, damit die Ergebnisse auch verwendet werden können.

Die Inhibition entwickelt sich schnell während der Vorschuljahre (Best & Miller, 2010; Davidson et al., 2006). In Abbildung 5 kann man sehen, dass sich die Inhibitionsfähigkeit im Alter von 6 bis 13 Jahren kontinuierlich weiterentwickelt und selbst mit 13 Jahren noch nicht das Niveau der Erwachsenen erreicht hat. In einer weiteren Studie (Huizinga, Dolan & van der Molen, 2006) wurde die Entwicklung von unterschiedlichen Inhibitionsaufgaben miteinander verglichen. Dabei zeigte sich, dass sich die Leistung bei zwei verwendeten Tests bis zum Alter von 11 Jahren verbesserte und sich nicht mehr von jener im Alter von 15 und 21 unterscheidet, wobei sich die Ergebnisse bei einem anderen Test bis zum Erwachsenenalter steigerte (Huizinga et al., 2006).

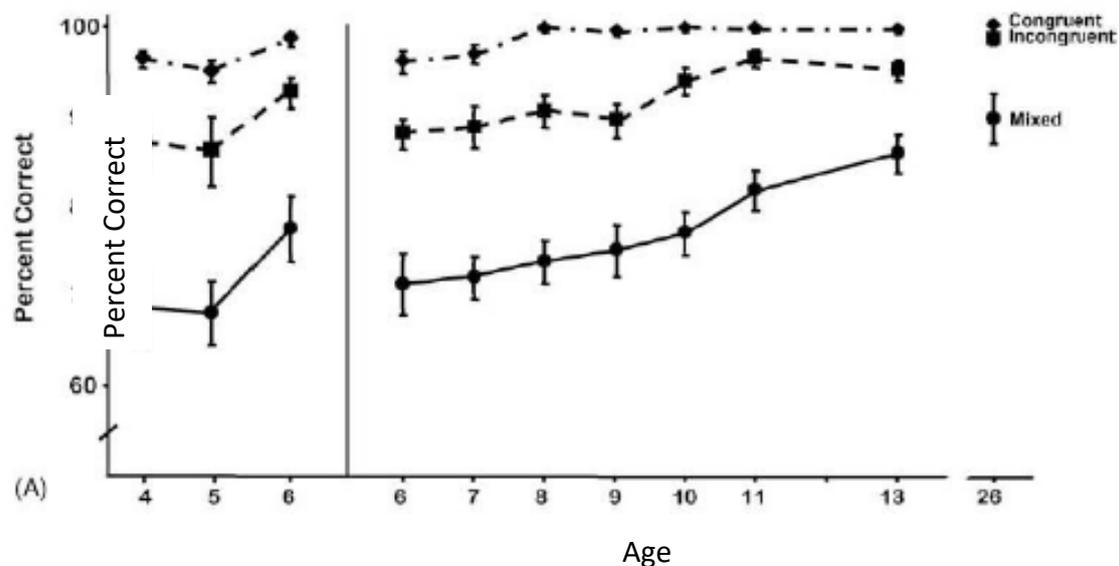


Abbildung 5: Entwicklung der Inhibition im Alter von 4 bis 13 Jahren (Davidson et al., 2006, S. 52).

Das sind die Ergebnisse des Dot-Tests: Dabei wird ein Stimulus präsentiert (grauer Punkt), bei dem auf der gleichen Seite gedrückt (kongruent) bzw. ein anderer Stimulus (gestreifter Punkt), bei dem auf der anderen Seite gedrückt werden muss (inkongruent). Ein anfänglicher Block von 20 kongruenten (mit allen Reaktionen auf derselben Seite wie der Punkt) folgte ein Block von 20 inkongruenten (mit allen Reaktionen auf der Seite gegenüber dem Punkt) und dann gab es einen Block von 20 gemischten Versuchen, bei dem die beiden Versionen zufällig gemischt wurden. Bei den 4- bis 6-Jährigen werden die Stimuli 2500 ms und danach 750 ms präsentiert. Durchgeführt wurde der Test mit 294 Kindern.

2) Arbeitsgedächtnis

Die Fähigkeit Informationen im Auge zu behalten, entwickelt sich sehr früh. Säuglinge und Kleinkinder können ein oder zwei Dinge für längere Zeit im Auge behalten. Die Fähigkeit, Elemente im Arbeitsspeicher zu manipulieren entwickelt sich später und über einen längeren Zeitraum (Diamond, 2013, S. 145).

Im Gegensatz zum Entwicklungsverlauf der Inhibition (der großen Verbesserungen während der Vorschulzeit zeigt, gefolgt von bescheideneren, linearen Verbesserungen im Verlauf der Adoleszenz) legen die hier angeführten Untersuchungen nahe, dass die Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses linear vom Vorschulalter bis zur Adoleszenz verläuft. Die Leistung des Arbeitsgedächtnisses steigt bei Aufgaben mit unterschiedlicher Komplexität von 4 bis 14 Jahren linear an. Dies trifft sowohl für Aufgaben mit verbalen als auch für Aufgaben mit visuell-räumlichen und mit komplexen Anforderungen zu. Im Alter zwischen 14 und 15 Jahren flacht die Kurve allerdings ab (Best & Miller, 2010, S. 1648ff).

Wie die Entwicklung der neuronalen Schaltkreise, die für die Inhibition zuständig scheinen, beinhaltet auch die Entwicklung der Arbeitsgedächtnis-Schaltkreise progressive und regressive Veränderungen, die zu einem lokalisierten Aktivitätsmuster innerhalb eines Front-zu-Partien-Netzwerks, einschließlich des DL-PFC, führen. Passend zu den Ergebnissen der Verhaltensforschung, deuten die fMRT-Befunde auf einen langwierigen Entwicklungsverlauf hin, der zu einer lokalisierten Aktivität im Präfrontalen Kortex während Arbeitsgedächtnisaufgaben führt.

3) Kognitive Flexibilität

Die Fähigkeit zur flexiblen Verlagerung zwischen Aufgaben ist eine Entwicklung, die bis zur Adoleszenz dauert (Anderson, 2002; Best & Miller, 2010; Diamond, 2013; Huizinga et al., 2006). Kinder im Alter von 3 bis 5 Jahren können erfolgreich zwischen zwei einfachen Aufgaben wechseln und es kommt in diesem Alter auch zu einem raschen Anstieg der Leistung (Espy, 1997; in Anderson et al., 2002; Jurado & Rosselli, 2007). In der frühen Kindheit entsteht (und entwickelt sich während der gesamten mittleren Kindheit) ebenfalls die Fähigkeit aus Fehlern zu lernen und alternative Strategien zu entwickeln (Anderson, 2002). 7-Jährige haben Schwierigkeiten, wenn die kognitive Flexibilität von mehreren Dimensionen abhängig ist. Aber die Fähigkeit, diese mehrdimensionalen Umschaltaufgaben zu bewältigen, verbessert sich stark zwischen 7 und 9 Jahren (Anderson, 2002). Davidson et al. (2006) haben eine Verbesserung von 4 bis 13 Jahre hinsichtlich einer Entwicklung zu einer Verlagerung von der schnelleren Reaktionszeit (bei der Wechselaufgabe) hin zu einer höheren Genauigkeit (Best & Miller, 2010; Davidson et al., 2006).

Bevor Kinder sich erfolgreich zwischen Antwortsets bewegen können, müssen sie in der Lage sein, eine im Arbeitsgedächtnis gespeicherte Antwortmöglichkeit aufrechtzuerhalten und bei der Lösung die offensichtliche Antwort zu unterdrücken, um eine entsprechende Alternative zu aktivieren (Garon, Bryson & Smith, 2008). Eine andere Studie (Huizinga & van der Molen, 2007) zeigte, dass bereits mit 11 Jahren die Erwachsenenleistung beim Wechseln von einer zu einer anderen Regel auf Basis von Feedback erreicht wird, jedoch beim Aufrechterhalten der Regel (die Sortierregeln trotz

veränderter Signale, wobei irrelevante Aspekte ignoriert werden müssen) die Entwicklung bis 15 Jahre dauert.

Zusammenfassung

Untersuchungen sowie Entwicklungs- und normative Studien zeigen also ein unterschiedlich schnelles Reifen im Bereich der exekutiven Funktionen (siehe Abbildung 4). Prozesse innerhalb der Aufmerksamkeitskontrolldomäne entwickeln sich im Säuglings- und Kleinkindalter beträchtlich und in der mittleren Kindheit sind Selbstkontroll- und Selbstregulierungsprozesse für gewöhnlich weitestgehend ausgereift. Trotz leicht unterschiedlicher Entwicklungswege sind die Informationsverarbeitung und die kognitive Flexibilität bis zum Alter von 12 Jahren relativ ausgereift, obwohl viele exekutive Prozesse erst in der mittleren Adoleszenz oder im frühen Erwachsenenalter vollständig "etabliert" sind (Anderson, 2002).

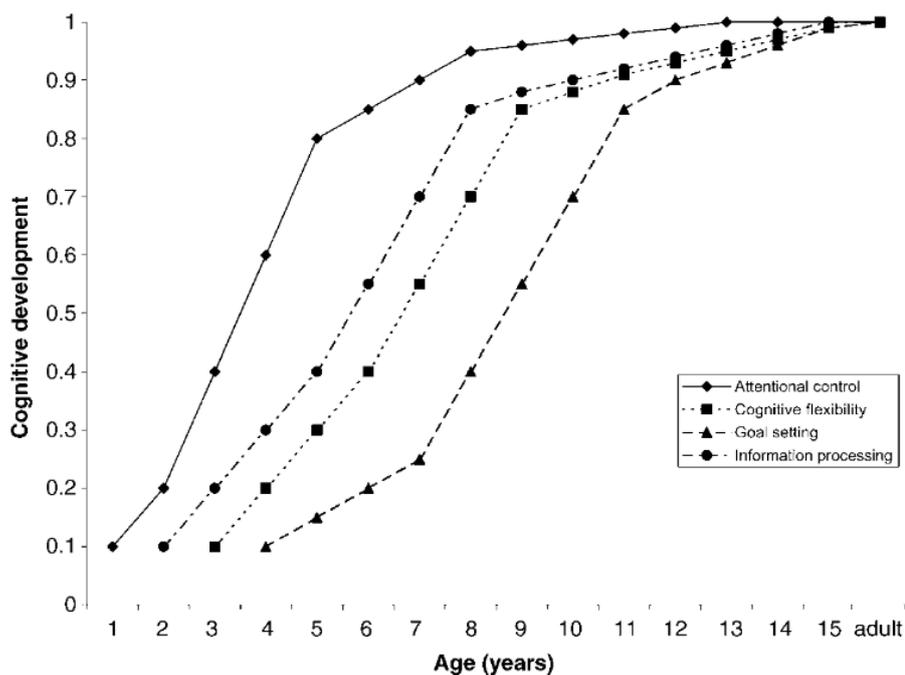


Abbildung 6. Projizierte Entwicklungspfade der Exekutivbereiche (Anderson et al., 2002) (Anderson et al. haben hier zusätzlich die Zielsetzung als eigene exekutive Funktion angeführt.)

Die neurophysiologischen Veränderungen, vor allem die Synaptogenese und Myelinisierung im präfrontalen Kortex, werden im Einklang mit der langwierigen

Entwicklung der Exekutivfunktionen gebracht. Von der Geburt bis zum Alter von etwa 5 Jahren erfolgt der erste Wachstumsschub, was signifikant mit der Entwicklung der Aufmerksamkeitskontrolle übereinstimmt. Die anderen beiden exekutiven Bereiche (Arbeitsgedächtnis und kognitive Flexibilität) zeigen eine rasche Entwicklung ab zirka 7 Jahren und dauert bis ca. 9 Jahren. Dies korrespondiert interessanterweise mit dem zweiten Wachstumsschub im präfrontalen Kortex. In der Adoleszenz, zwischen 11 und 13 Jahren, wenn der dritte Wachstumsschub erfolgt, nähern sich die Exekutivfunktionen der Reife. Die fortschreitende Myelinisierung der präfrontalen Verbindungen bis zum jungen Erwachsenen führt zu einer schnelleren und effizienteren Übertragung, einer besseren Informationsverarbeitung und einer besseren Integration kognitiver Prozesse, was somit zu einer verbesserten Kontrolle der exekutiven Funktionen führt (Anderson, 2002).

2.1.4 Bedeutung der exekutiven Funktionen

Wie bereits erwähnt sind Exekutivfunktionen wesentliche kognitive Fähigkeiten, die es uns ermöglichen, organisiert zu handeln, um unsere Ziele zu erreichen.

Kreativität, Flexibilität, Selbstkontrolle und Disziplin – diese vier Eigenschaften werden wahrscheinlich der Schlüssel zum (schulischen) Erfolg sein (Diamond & Lee, 2011). Die Wichtigkeit und das „Einsatzgebiet“ der Exekutivfunktionen fassen Okutemo und Nakamura (2019, S. 107) so zusammen:

We need a good working memory, which allows us to keep information in memory and organize it; a good inhibitory control, which allows us to inhibit distractions to stay focused, to control our impulses, our emotions, or inappropriate actions; and finally, we need cognitive flexibility, to be creative and adjust our strategies in case of mistakes. These executive functions are fundamental.

Die Exekutivfunktionen sind Fähigkeiten, die für die geistige und körperliche Gesundheit, für den Erfolg in der Schule und im Leben sowie für die kognitive, soziale und psychologische Entwicklung wesentlich sind (siehe Tabelle 2) (Diamond, 2013).

Tabelle 2: Exekutivfunktionen sind für fast jeden Aspekt des Lebens wichtig (Diamond, 2013, S. 137)

Aspekte des Lebens	Die Art und Weise, in der EFs für diesen Aspekt des Lebens relevant sind	Referenzen
Psychische Gesundheit	Die EF sind bei vielen psychischen Störungen beeinträchtigt, unter anderem:	
	– Suchtkrankheiten	Baler & Volkow 2006
	– Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivität (ADHD)	Diamond 2005, Lui & Tannock 2007
	– Verhaltensstörung	Fairchild et al. 2009
	– Depressionen	Taylor-Tavares et al. 2007
	– Zwangsstörungen	Penad'es et al. 2007
	– Schizophrenie	Barch 2005
Körperliche Gesundheit	Schlechtere EFs sind assoziiert mit Fettleibigkeit, Überernährung, Substanzmissbrauch und schlechter Therapietreue	Crescioni et al. 2011, Miller et al. 2011, Riggs et al. 2010
Lebensqualität	Menschen mit besseren EFs genießen eine höhere Lebensqualität	Brown & Landgraf 2010, Davis et al. 2010
Schulreife	EFs sind wichtiger für die Schulreife als der IQ oder das Einstiegsniveau in Lesen und Rechnen	Blair & Razza 2007, Morrison et al. 2010
Erfolg in der Schule	EFs sagen sowohl Mathematik- als auch Lesekompetenz während der gesamten Schulzeit voraus	Borella et al. 2010, Duncan et al. 2007, Gathercole et al. 2004
Erfolg im Job	Schlechte EFs führen zu schlechter Produktivität und Schwierigkeiten, einen Arbeitsplatz zu finden und zu behalten	Bailey 2007
eheliche Harmonie	Ein Partner mit schlechten EFs kann schwieriger sein, mit ihm auszukommen, weniger verlässlich und/oder eher impulsiv zu handeln	Eakin et al. 2004
öffentliche Sicherheit	Schlechte EFs führen zu sozialen Problemen (einschließlich Kriminalität, rücksichtslosem Verhalten, Gewalt und emotionalen Ausbrüchen)	Broidy et al. 2003, Denson et al. 2011

Die Inhibition unterstützt das Arbeitsgedächtnis, damit man sich auf das konzentrieren kann, was wesentlich und wichtig ist. Dafür müssen interne und externe Ablenkungen verhindert werden, also inhibiert. Diese Inhibitionsfähigkeit in der frühen Kindheit scheint außerdem, wie einige Studien herausgefunden haben, eine Prädiktion für die Ergebnisse während des gesamten Lebens zu sein. So trafen diejenigen, die als Kind bessere hemmende Kontrolle hatten, als Teenager weniger riskante

Entscheidungen und rauchten nicht oder nahmen keine Drogen. Sie erfreuten sich besserer physischer und psychischer Gesundheit, verdienten mehr und standen als Erwachsene (30 Jahre später) auch weniger oft im Konflikt mit dem Gesetz. Sie waren als Erwachsene glücklicher. Da die Entwicklung der Selbstkontrolle nahezu linear verläuft und mit dem Wissen welche Auswirkungen gute inhibitorische Fähigkeiten haben, könnten Interventionen, die auch nur kleine Verbesserungen erreichen, die gesamte Verteilung der Ergebnisse in eine positivere Richtung verschieben (Moffitt, 2012; in Diamond, 2013).

Mathematische Operationen im Kopf brauchen das Arbeitsgedächtnis genauso, wie die mentale Ordnung von Elementen, Anweisungen in Handlungsplanungen zu übersetzen, die Einbeziehung neuer Informationen ins Denken und Handeln sowie die mentale Verbindung zu vorhandenen/gespeicherten Informationen und um ein allgemeines Prinzip abzuleiten oder Beziehungen zwischen Elementen oder Ideen zu erkennen. Es ermöglicht uns auch, konzeptionelles Wissen und nicht nur Wahrnehmungseinflüsse in unsere Entscheidungen einzubringen und es uns so hilft dabei, dies alles bei unseren Plänen und Entscheidungen zu berücksichtigen. Kurz gesagt: ohne dem Arbeitsgedächtnis wäre das Denken nicht möglich. Nur das gibt uns die Fähigkeit Verbindungen zwischen scheinbar unverbundenen Dingen zu sehen und Elemente aus einem integrierten Ganzen herauszuziehen, zu zerlegen und neu zu kombinieren. Was wiederum die Voraussetzung für Kreativität darstellt (Diamond, 2013). Die Exekutivfunktionen sind somit (auch) für die Schulbereitschaft wichtiger als der IQ (Blair & Razza, 2007). So wird im späten Vorschulalter die Bedeutung der Exekutiven Funktionen in Zusammenhang mit der Schulbereitschaft und später auch mit dem Schulerfolg gebracht.

Der alte Begriff der „Schulreife“ war sehr stark kognitiv geprägt. Heute werden nicht allein kognitive Merkmale der Kinder betrachtet, sondern auch motivationale, physische und sozial-emotionale Merkmalskonstellationen. Der Begriff der Selbstregulation spielt dabei eine zentrale Rolle. Defizite dieser, wie z. B. beim Bearbeiten schulischer Aufgaben die fehlende Aufmerksamkeitssteuerung oder in Sozialkonflikten die mangelhafte Emotionsregulation, sind die Hauptprobleme in

schulischen und vorschulischen Einrichtungen. Verschiedene Hypothesen wurden getestet und postulieren, dass die exekutiven Funktionen eine Rolle bei der Förderung positiver Beziehungen zu Lehrerinnen und Lehrern (Blair et al., 2016; in Huizinga, Baeyens & Burack, 2018) und bei der Förderung selbstregulierender Verhaltensweisen im Dienste des Lernens aus dem Unterricht im Klassenzimmer (Brock et al., 2009; in Huizinga et al., 2018) oder der Erledigung von Hausaufgaben außerhalb des Klassenzimmers (Langberg et al., 2013; in Huizinga et al., 2018) spielen könnte. Es ist wahrscheinlich eine Kombination dieser und anderer Fähigkeiten, die als Vermittlungsmechanismen dienen, durch die Exekutivfunktionen das akademische Lernen beeinflusst. Diese können auch für die Feststellung verantwortlich sein, dass ein hohes Niveau an Exekutivfunktionen als eine Möglichkeit für Kinder dient „aufzuholen“, obwohl sie anfänglich ein niedriges Niveau an mathematischen Fähigkeiten haben. Somit ist die Selbstregulation für den Schulerfolg der Kinder von allergrößter Bedeutung. Der Zusammenhang verschiedener Aspekte der Selbstregulation und den Schulleistungen zeigt dies ganz klar. *„Vor diesem Hintergrund scheint eine frühe Identifikation von Selbstregulationskompetenzen einen wichtigen Beitrag zur Frage der Entwicklungsvoraussetzungen für die Schulbereitschaft leisten zu können“* (Röthlisberger, Neuenschwander, Michel & Roebbers, 2010, S. 100f).

Einige Studien weisen darauf hin, dass unsere Erfolgs- und Wachstumschancen bei gut ausgeprägten Exekutivfunktionen sicherer sind, als bei einem hohen IQ (z. B. Okutemo & Nakamura, 2019). So prognostizieren sie die Mathematik- und Lesekompetenz während der Schulzeit. Es gibt eine Reihe von Untersuchungen, die deutlich machen, dass die Exekutivfunktionen für den akademischen Erfolg ausschlaggebend sind. Der Zusammenhang zeigt sich bereits im Vorschulalter, wenn sie aufkommende Mathematik- und Lesefähigkeiten voraussagen (Best, Miller & Naglieri, 2011; Mulder, Verhagen, Van der Ven, Slot, & Leseman 2017). Vor allem bei der Entwicklung von mathematischen Fähigkeiten ist die Rolle der Exekutivfunktionen gut etabliert (Blair & Razza, 2007, S: 647). In einer Studie (Sikora et al., 2002; in Best et al., 2011) schnitten Kinder mit Rechenschwierigkeiten im Alter von 7 bis 18 Jahren bei dem

„Tower of London“-Test¹ schlechter ab, als Kinder mit Leseschwierigkeiten oder Kinder ohne diagnostizierte akademische Schwierigkeiten. Sikora et al. liefern leider keine Erklärungen dafür, weshalb die Fähigkeiten, die man beim TOL-Test braucht, enger mit den Leistungen in Mathematik verknüpft sind. Sie deuten jedoch an, dass die für Mathematik erforderlichen kognitiven Prozesse sich von denen des Lesens unterscheiden können. 2008 zeigten Bull et al. in einer Studie, dass die TOL-Leistung in der Vorschule Verbesserungen sowohl beim Lesen, als auch bei der Mathematik im Alter von 5 bis 8 Jahren prognostizieren. Die Autoren begründen dies damit, dass frühe komplexe EF-Fähigkeiten eher bereichsübergreifende als bereichsspezifische Fähigkeiten sind, die die Bausteine für die Entwicklung von Mathematik- und Lesefähigkeiten liefern (Best et al. 2011).

Aber auch später, nicht nur in der Primar-, sondern auch in der Sekundarstufe sind die Exekutivfunktionen Prädiktoren für die Leistungen in Mathematik, Lesen und Rechtschreiben (Daucourt et al., 2018; Dekker et al., 2017; Gathercole et al, 2004; in Diamond & Lee, 2011; Ribner et al., 2017; von Suchodoletz et al., 2017). Insbesondere die Leistung bei Hemmungs- und Arbeitsgedächtnisaufgaben bezieht sich immer wieder auf die Leistung in Mathematik und Lesen (Blair & Razza, 2007; St. Clair-Thompson & Gathercole, 2006; van der Sluis et al., 2007; in Best et al. 2011).

2.2 Bewegung und Sport

Seit 2005 wird „Bewegung und Sport“ in Österreich als schulische Gegenstandsbezeichnung verwendet. Davor wurde der Begriff „Leibesübungen“ verwendet. Der Sammelbegriff Leibesübungen bezieht sich auf Gebiete des Turnens, des Sports, des Spiels und der Gymnastik und kommt aus der lateinischen Übersetzung

¹ Der Turm von London (Tower of London – TOL) ist ein Test, um exekutive (Dys-)Funktionen zu erfassen. Tim Shallice (Neurologe) hat ihn 1982 auf Basis des Turms von Hanoi (Tower of Hanoi – TOH) weiterentwickelt. Die Aufgabe besteht darin, verschiedenfarbige Kugeln mit möglichst wenig Zügen auf unterschiedlich langen Stäben um zusteckt, um ein vorgegebenes Zielmuster zu erreichen. Es darf dabei allerdings immer nur eine Kugel pro „Zug“ bewegt werden. (Cristofori et al., 2019)

„exercitia corporis“. Durch die neue Namensgebung „Bewegung und Sport“, lassen sich nun die Inhalte des Unterrichtsgegenstandes viel differenzierter und breiter darstellen und werden somit eher dem modernen Bewegungs- und Sportunterricht gerecht (BMBWF, 2005).

In diesem Kapitel wird dargestellt, wie Bewegung und Sport in österreichischen Schulen verankert ist, welche Unterschiede es in den Schulen der 10- bis 14-Jährigen gibt und welche Aufgaben und Ziele er verfolgt. Außerdem werden die physiologischen Grundlagen und die Relevanz von Bewegung und Sport für die geistige Leistungsfähigkeit beleuchtet.

2.2.1 Bewegung und Sport in der Schule

Der Unterrichtsgegenstand „Bewegung und Sport“ ist in Österreich mit Ausnahme der Berufsschulen als Pflichtgegenstand in allen Schulen verankert. Das grundsätzliche Ziel dieses Gegenstandes besteht darin, „Schülerinnen und Schüler mit jenen Kompetenzen auszustatten, die eine Teilnahme an unterschiedlichen Sportarten und Bewegungsformen ermöglicht“ (BMBWF, 2019).

Im Vergleich zu anderen Unterrichtsgegenständen, wird Bewegung und Sport noch immer wenig Aufmerksamkeit geschenkt – vor allem wenn man die Möglichkeiten der Förderung der schulischen Leistungen betrachtet (Kubesch et al., 2009).

Eine einheitliche und eindeutige Definition von Sport zu finden ist nicht möglich. Claus Tiedemann (2020, Absatz 1) versucht Sport zu definieren als *„ein kulturelles Tätigkeitsfeld, in dem Menschen sich freiwillig in eine Beziehung zu anderen Menschen begeben, um ihre jeweiligen Fähigkeiten und Fertigkeiten in der Bewegungskunst zu vergleichen - nach selbst gesetzten oder übernommenen Regeln und auf Grundlage der gesellschaftlich akzeptierten ethischen Werte.“*

Einige Punkte dieser Definition finden sich auch in vielen anderen Definitionen wieder: die Freiwilligkeit, das sich mit anderen Vergleichen (das Leistungsstreben) und die definierten Regeln. So wird „Sport“ auch im schulischen Kontext – sprich im Lehrplan – in unterschiedlichen Bereichen abgebildet. Er findet sich wieder in den *„Grundlagen zum Bewegungshandeln“*, wo es um die Verbesserung der konditionellen und

koordinativen Fähigkeiten und dem Aufbau von sportartspezifischen Grundstrukturen geht. Ebenfalls dem sportlichen Bereich zuzuordnen sind die „könnens- und leistungsorientierte Bewegungshandlungen“: Schwimmen, Gerätturnen, Leichtathletik und Sportspiele (und alles auch in Wettkampfformen).

Als Ergänzung dazu findet sich der Begriff der „Bewegung“ wieder. Der hier als freiere, kreativere Form der Bewegungshandlungen anzusehen ist. Diese findet sich in gestaltende und darstellende, gesundheitsorientiert-ausgleichende - und erlebnisorientierte Bewegungshandlungen wieder. Es geht dabei stark um Körperwahrnehmung, ästhetischer Erfahrung, Tanz, kreatives Bewegen, psychisches und physische Wohlbefinden, Entdecken und Erschließen von Bewegungen, – um nur einige Inhalte zum besseren Verständnis anzuführen (BMBWF, 2018a).

Genauer auf den Lehrplan von „Bewegung und Sport“ der Allgemeinen Pflichtschulen für 10- bis 14-Jährige wird in den folgenden beiden Kapiteln (2.2.1.1. und 2.2.1.2.) eingegangen.

2.2.1.1 Lehrplan Bewegung und Sport im Hinblick auf kognitive Entwicklung

Die aktuelle Version des österreichischen Lehrplans für die Sekundarstufe 1 (also für alle Neuen Mittelschulen und Gymnasien Unterstufen) stammt aus dem Jahr 2012 und wurde 2018 das letzte Mal überarbeitet und adaptiert. Er besteht aus mehreren Teilen: einem allgemeinen Teil (hier sind allgemeine Bildungsziele, allgemeine didaktische Grundsätze und die Grundsätze zur Schul- und Unterrichtsplanung formuliert), der Stundentafel, den Lehrplänen für den Religionsunterricht und den Lehrplänen der einzelnen Unterrichtsgegenstände.

Die Suche im Lehrplan „Bewegung und Sport“ der Sekundarstufe 1 nach Hinweisen auf die Möglichkeiten, durch Inhalte und Angebote von Bewegung und Sport, direkt Einfluss auf die kognitive Entwicklung der Schülerinnen und Schüler nehmen zu können, fällt auf den ersten Blick leider ernüchternd aus. Nur an wenigen Stellen finden sich Hinweise, die man direkt mit kognitiver Entwicklung in Verbindung setzen kann.

Folgende Einträge finden sich im Lehrplan für Bewegung und Sport:

- Bei den „*Bildungs- und Lehraufgaben*“ findet sich folgender Satz: „*Der Unterrichtsgegenstand Bewegung und Sport soll gleichrangig zur Entwicklung der*

- Sach-, Selbst- und Sozialkompetenz beitragen: durch [...] handlungsleitendes und wertbezogenes Wissen; Wahrnehmungsfähigkeit für den eigenen Körper [...]; Entfaltung von [...] Kreativität [...]*“ (BMBWF, 2018a, S. 101).
- Unter „*Didaktische Grundsätze*“ steht folgendes: „*Eine angestrebte Leistungssteigerung hat sich an von Schülerinnen und Schülern eigen- und mitbestimmten, aber auch an fremdbestimmten Leistungsmaßstäben zu orientieren; die individuellen Voraussetzungen sind dabei zu beachten und kognitive Grundlagen zur Leistungsverbesserung zu vermitteln*“ (BMBWF, 2018a, S. 103).“
 - Im Bereich des „*Lehrstoffes*“ steht im Bereich „*Könnens- und leistungsorientierte Bewegungshandlung*“ der 3. und 4. Klasse (7. und 8. Schulstufe): „*Verbessern der koordinativen Fähigkeiten; Bewusstmachen des eigenen Bewegungsverhaltens hinsichtlich Bewegungsqualität und Bewegungsökonomie*“ (BMBWF, 2018a, S. 104).“
 - „*Angemessener Aufbau kognitiver Grundlagen zu sportlicher Leistung und Leistungsverbesserung*“ (BMBWF, 2018a, S. 105).“
 - Im Bereich „*Spielerische Bewegungshandlungen*“ ist folgende Formulierungen zu finden: „*Entwickeln von Regelbewusstsein als Fähigkeit, Spielvereinbarungen und Spielregeln anzuerkennen, [...]*“ (BMBWF, 2018a, S. 105).“
 - Unter „*Gestaltende und darstellende Bewegungshandlungen*“ findet sich: „*Aufbau von Körperwahrnehmung; Entwicklung von Sensibilität für verschiedene Sinne [...]*“ (BMBWF, 2018a, S. 105).“
 - Im Bereich der „*Gesundheitsorientiert-ausgleichenden Bewegungshandlungen*“ ist unter anderem zu lesen: „*Bedeutung der Bewegung für das physische, psychische und soziale Wohlbefinden erfassen*“ (BMBWF, 2018a, S. 105).“

Auch auf zweiten Blick fällt leider auf, dass im gesamten Lehrplan die kognitive Entwicklung nicht erwähnt, sondern höchstens angedeutet wird. Das ist schade und verkennt ganz klar den Wert des Unterrichtsfaches „Bewegung und Sport“. Welche Möglichkeiten und Chancen für die kognitive Entwicklung mit und durch Bewegung und Sport bestehen sehen wir in den Kapiteln 2.2.3. und 2.3. – 2.3.1.3.

Einen zweiten großen Bereich, der seit 2014 im Unterrichtsfach Bewegung und Sport immer mehr an Bedeutung gewonnen hat und vermutlich mit der Neugestaltung des Lehrplans noch deutlicher abgebildet wird, sind die Bildungsstandards.

Man kann grundsätzlich die (Einführung von) Bildungsstandards kontroversiell diskutieren. Wie soll man zum Beispiel in einem so „freien“ und kreativen Gegenstand, der wie kein anderer von individuellen Entwicklungen abhängig ist, standardisierte Ziele definieren? Dabei besteht darin für den schulischen Bewegung und Sport-Unterricht auch eine große Chance.

Die Bildungsstandards sollen in diesem Fall zwei wesentliche Bereiche verbessern:

Durch objektiv messbare Kompetenzen soll die Qualität des Sportunterrichts nach außen sichtbar gemacht werden und nach innen sollen die allgemeinen Unterrichtsziele eine Orientierungsmöglichkeit für die Lehrkräfte sowie Schülerinnen und Schüler bieten.

Grundsätzlich geht die Kompetenzentwicklung in Bewegung und Sport „immer von motorischen Aufgaben bzw. sportlichen und spielerischen Bewegungsaktivitäten aus (BMBWF, 2014, S. 15)“. Diese Fachkompetenz wird dann mit Selbst-, Sozial- und Methodenkompetenz verknüpft.

Interessant sind vor allem die drei Handlungsdimensionen: *Reproduktion* (Wiedergeben, Verstehen – Kenntnisse), *Transfer* (Anwendung in verschiedenen Bereichen/Situationen – Fertigkeiten) und *Reflexion/Problemlösen* (Analysieren und Evaluieren – Kompetenzen), die sowohl auf der kognitiven als auch auf der (senso-)motorischen Ebene abbildbar sind. Dadurch wird unter anderem verdeutlicht, dass Bewegungslernen grundsätzlich auch kognitives Lernen ist. Leider finden sich aber auch hier keine eindeutigen Hinweise auf Möglichkeiten und Chancen der kognitiven Entwicklung durch Bewegung und Sport, was fairerweise aber auch nicht die Aufgabe dieses Kompetenzkatalogs ist.

Aktuell gibt es keine Vorgaben bzw. Verpflichtungen seitens des Ministeriums und der Bildungsdirektion den Kompetenzkatalog für die eigene Unterrichtsgestaltung, die Unterrichtsevaluation oder der Beurteilung zu verwenden.

Es bleibt zu hoffen, dass im neuen Lehrplan für Bewegung und Sport die neurowissenschaftlichen Erkenntnisse, die Chancen, aber auch die Verantwortung für eine gesunde kognitive Entwicklung berücksichtigt werden und der Unterrichtsgegenstand den Stellenwert erlangt, den er verdient hat.

2.2.1.2 Unterschiede Regelklassen und Sportklassen

Seit dem 1. September 2012 ist die (Neue) Mittelschule eine gesetzlich verankerte Regelschule. Sie ist eine Pflichtschule für die 10- bis 14-Jährigen und hat die Hauptschule mit dem Schuljahr 2018/19 ersetzt. Im Vordergrund der (N)MS steht die Orientierung an den Talenten und Potentialen der Schülerinnen und Schülern. Sie verbindet eine neue Lern- und Lehrkultur mit den Leistungsanspruch der AHS-Unterstufe. Der Lehrplan der (N)MS sieht vier Schwerpunktbereiche vor. Neben den „normalen“ (Neuen) Mittelschulen gibt es noch zwei Sonderformen: die Musik- und die Sportmittelschulen.

In Österreich gibt es aktuell rund 100 Sportmittelschulen (inklusive Ski-Mittelschulen). In Oberösterreich sind es 25 (und 1 Ski-Mittelschule). Davon sind die wenigsten reine Sport-Mittelschulen, d.h. sie führen sowohl Sport- als auch Regelklassen.

Worin unterscheiden sich nun Regel- und Sportklassen bzw. (Neue)Mittelschulen und Sportmittelschulen?

Es gibt eine Anhebung der Wochenstunden im Unterrichtsgegenstand Bewegung und Sport um 3-4 Stunden. Zusätzlich können noch unverbindliche Übungen, eine höhere Anzahl an Schulveranstaltungen mit sportlichen Schwerpunkten wie Sommer- und Wintersportwochen und eine vermehrte Teilnahme an Sportwettkämpfen dazukommen (BMBWF, 2018b). Hat die (Neue)Mittelschule als „Aufgabe, die Schülerinnen und Schüler je nach Interesse, Neigung, Begabung und Fähigkeit für den Übertritt in weiterführende [...] Schulen zu befähigen sowie auf das Berufsleben vorzubereiten“ (bmbwf.gv.at, Neue Mittelschule, oJ), so haben die Sportmittelschulen zusätzlich die Zielsetzung, die im Sport talentierten Kinder und Jugendlichen zu fördern und ihnen vermehrte Kompetenzen im sportlichen Bereich zu vermitteln und sie – bei entsprechender Stärke – zum Leistungssport hinzuführen.

In den (Neuen)Mittelschulen bzw. Regelklassen liegt die Gesamtwochenstundenzahl der Bewegung und Sport-Einheiten über die vier Schuljahre verteilt bei mindestens 13 bis maximal 19 Einheiten. D.h. es könnte (in der Theorie) fast täglich ein Bewegungs- und Sport-Angebot stattfinden. In der Realität wird allerdings eine Stundenverteilung von vier Einheiten in der ersten (in Ausnahmen auch in der zweiten) und drei Einheiten jeweils in der zweiten, dritten und vierten Klasse verwendet (d.h.: 13 Wochenstunden über vier Jahre verteilt). Wobei zwei Einheiten davon üblicherweise wöchentlich geblockt abgehalten werden. In den Sportmittelschulen bzw. Sportklassen gibt es im Schnitt 29 reguläre Gesamtwochenstunden über vier Jahre verteilt. Dies wird am häufigsten mit acht in der ersten und sieben in den restlichen drei Klassen aufgeteilt. Dieses Mehr an Bewegung und Sport-Stunden stellt den wesentlichsten Unterschied zu den Regelklassen und -Schulen dar.

Ein anderer nicht vernachlässigbarer Unterschied ist die Dichte an geprüften Sportpädagoginnen und Sportpädagogen an Sportmittelschulen. Laut Bildungsdirektion OÖ (Schuljahr 2018/19) wird etwa die Hälfte aller in OÖ gehaltenen Sportstunden an Pflichtschulen von geprüften Sportpädagoginnen und Sportpädagogen gehalten. Für alle anderen Stunden wird fachfremdes Personal eingesetzt. Das muss grundsätzlich kein Indiz für qualitative Unterschiede im Sportunterricht sein, zeigt aber ein wesentliches Problem in diesem Bereich auf. In den Sportmittelschulen werden die Sportstunden hauptsächlich von geprüften Sportpädagoginnen und Sportpädagogen unterrichtet (D. Haugeneder (ARGE Sportschulen OÖ), persönliche Kommunikation, Mai 2020).

2.2.2 Physiologische Grundlagen im Zusammenhang mit den exekutiven Funktionen

Was passiert bei Bewegungen? Um diese Frage etwas strukturierter beantworten zu können, habe ich versucht, die Vorgänge zu unterteilen in: Neuronale Prozesse, Verarbeitung der sensorischen Informationen und indirekte Wirkung der Muskelaktivität auf das Gehirn.

Neuronale Prozesse bei der Bewegungssteuerung

Der Impuls einer Bewegung kann unterschiedlichen Ursprung haben. So gibt es motorische Systeme auf verschiedenen Ebenen, die miteinander verbunden sind. Die Ebenen sind das Rückenmark, der Hirnstamm, das Kleinhirn und das Großhirn.

Im Rückenmark ist der Sitz der spinalen Motorik. Diese reagiert auf einen Reiz mit einer stereotypen Antwort – dem Reflex.

Der Hirnstamm koordiniert die Motorik, indem er sie kontrolliert und modifiziert. Eine sich rasch ändernde Umweltbedingung, verlangt eine schnelle Anpassung und diese ist durch Hirnstammreflexe, wie statische Reflexe (Halte- und Stellreflexe), statokinetische Reflexe (Aufrechterhaltung des Gleichgewichts), Reflexe der Nahrungsaufnahme (z.B.: Saug-, Kau- und Schluckreflex) und Schutzreflexen (z.B.: Hustenreflex) möglich.

Das Cerebellum – das Kleinhirn – ist für die Feinmotorik, dem Koordinieren von Motorik und dem Erstellen von Bewegungsprogrammen verantwortlich. Es ist über afferente und efferente Bahnen mit unterschiedlichen Hirnregionen verbunden. So erhält es Informationen aus den Vestibulärkernen, aus dem Rückenmark, der Pyramidenbahn und Bewegungsentwürfe aus den Assoziationsfeldern der Großhirnrinde.

Das Kleinhirn sendet dann die Informationen zum Stammhirn und weiter bis zur motorischen Großhirnrinde über den Thalamus und koordiniert so den Muskeltonus, die Ziel- und Stützmotorik und das Gleichgewicht.

Die Basalganglien sind subkortikale Kerngebiete und liegen in der Nähe des Thalamus und sind ein Teil des extrapyramidalen Systems. Das Striatum, das Pallidum, die Substantia nigra und der Nucleus subthalamicus werden strukturell, jedoch nicht anatomisch zu den Basalganglien gezählt. Sie kontrollieren und modulieren komplexere Bewegungen, wie zum Beispiel das Schreiben und ermöglichen dadurch einen harmonischen Bewegungsablauf. Wichtige Botenstoffe, wie Glutamat, Dopamin und GABA spielen in der Funktionsweise eine wichtige Rolle, indem sie erregend oder hemmend wirken. Außerdem sind die Basalganglien das motorische Gedächtnis. Verschiedene Teile der Hirnrinde senden Informationen an sie. Diese erstellen

Programme für langsame Bewegungen und passen Geschwindigkeit und Bewegungsausmaß an.

Über Funktionsschleifen stehen die Basalganglien in Verbindung mit der Großhirnrinde. So werden Informationen aus Cortexarealen in den Basalganglien verschaltet und wirken dann wieder auf sie zurück. Es gibt eine Funktionsschleife, die auf die Mund- und Gesichtsmuskulatur wirkt, eine die die Augenmotorik kontrolliert und eine etwas komplexere, die in Verbindung mit kognitiven Leistungen, Antrieb, Motivation und somit auch mit exekutiven Funktionen steht.

Der Motorcortex ist hierarchisch die höchste Ebene der Motorik. Er erhält Informationen aus untergeordneten Hirnregionen, verarbeitet diese und gibt schließlich den Befehl zur Bewegungsausführung. In der Großhirnrinde wird zwischen dem primären und sekundären motorischen Cortex unterschieden, wobei in beiden Arealen alle Muskelgruppen somatotopisch repräsentiert sind (siehe Abbildung 7) (BVMed, o.J.; Lecturio, 2017a).

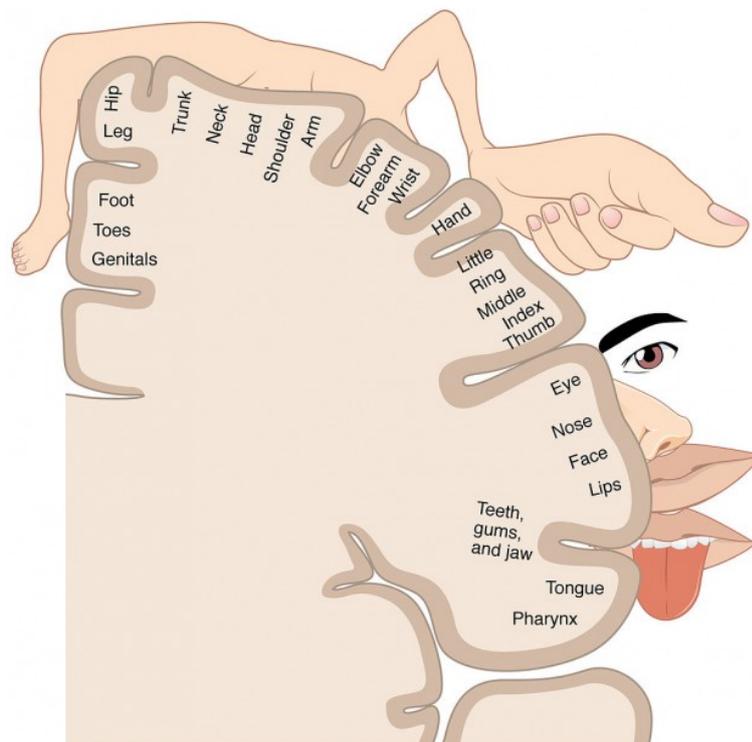


Abbildung 7: Homunculus: Bildliche Darstellung der Repräsentation der Körperteile im motorischen Cortex (Lecturio, 2017a).

Bis eine Bewegung tatsächlich ausgeführt wird passiert Folgendes: Im limbischen System und im präfrontalen Cortex entsteht die Motivation zur Bewegung, daraufhin entwickeln die Assoziationsfeldern im Großhirn einen Bewegungsentwurf. Das Bewegungsprogramm wird vom Cerebellum und den Basalganglien erstellt, welches schließlich über den Thalamus zum Motorcortex gelangt. Dieser veranlasst die Bewegungsausführung über die Pyramidenbahnen (BVMed, o.J.; Lecturio, 2017a). Eine Vereinfachte Darstellung der Informationswege bietet uns die Abbildung 8.

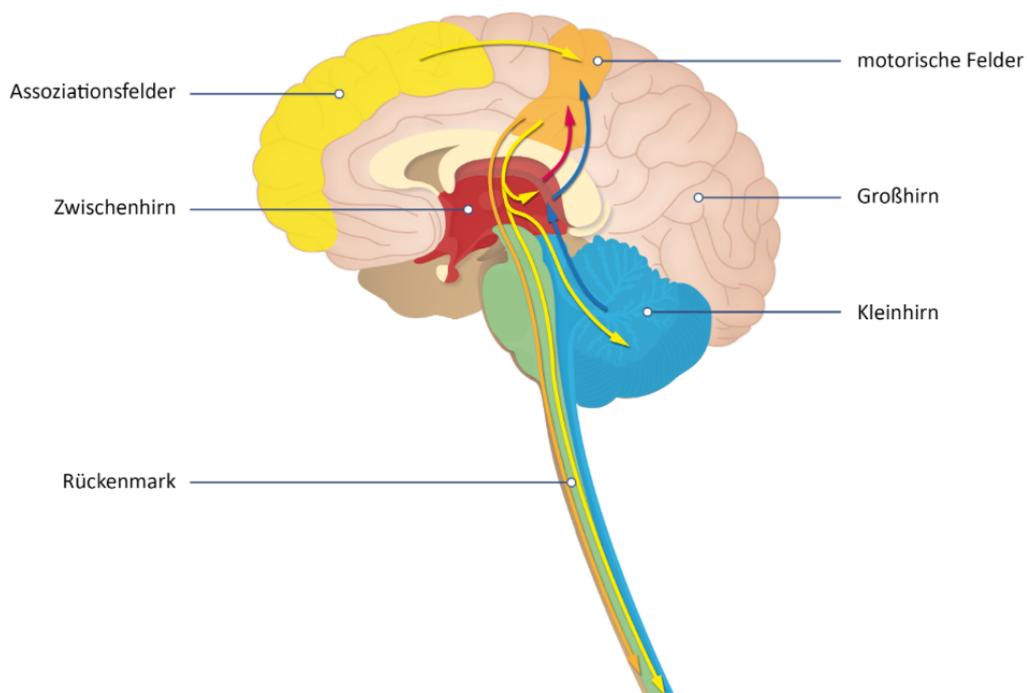


Abbildung 8: Vereinfachte Darstellung der Bewegungsbahnen und Funktionsschleifen bis zur tatsächlich ausgeführten Bewegung (BVMed, o.J.)

Sind die motorischen Anforderungen höher oder komplexer, wird bei der Bewegungsausführung mehr präfrontale Cortexaktivität benötigt (Serrien, Ivry, Swinnen, 2006; in Budde, Voelcker-Rehage, Pietraßyk-Kendziorra, Ribeiro & Tidow, 2008). Eine wichtige Hirnregion, die bis jetzt nur wenig erwähnt wurde, ist der anteriore cinguläre Cortex, der neben einer Reihe von autonomen Funktionen (Regulation von Herzfrequenz und Blutdruck), auch an Funktionen höherer Ordnung beteiligt ist. Dazu zählen Inhibition, Erwartungshaltung, Entscheidungsfindung und Emotionen (Psylex,

o.J.). Der anteriore cinguläre Cortex hat, wie der präfrontale Cortex auch, zu vielen unterschiedlichen Arealen im Gehirn Verbindungen, so auch zum Motorcortex und dem Rückenmark. Vor allem durch die Verbindung mit dem Motorcortex, kommt so dem anterioren cingulären Cortex, für die Steuerung von Bewegungen, eine bedeutende Rolle zu. Das könnte möglicherweise die Erklärung für die enge Verbindung zwischen körperlicher Bewegung und den Exekutivfunktionen sein. Verbindungen des anterioren cingulären Cortex bestehen außerdem auch noch zum lateralen präfrontalen Cortex, zum Hippokampus, zum Thalamus, usw. Das bedeutet, dass der anteriore cinguläre Cortex eine Schnittstelle ist, in der die Steuerungen von Bewegungen, des Antriebs und der Motivation, kognitive Prozesse und Emotionen verarbeitet und kontrolliert werden (Kubesch, 2007; in Stöglehner, 2012a, S. 31).

Verarbeitung der sensorischen Informationen

Bei Bewegung, aber natürlich auch bei jeder alltäglichen Handlung, werden in der Peripherie mit Hilfe von Rezeptoren verschiedenste Sinneseindrücke, wie Schmerz, Berührungen und Temperatur wahrgenommen und an das Gehirn übermittelt. Innerhalb dieses sensorischen Systems werden verschieden Sinneseindrücke zum Teil in eigenen Bahnen bzw. Systemen zusammengefasst. So erhält das Gehirn zum Beispiel Informationen über die räumliche Wahrnehmung der Extremitäten mittels der Propriozeption (Tiefensensibilität). Zusätzlich erhält das sensorische System Informationen über Richtung und Geschwindigkeit von Bewegungen und über Gelenkstellungen aus den Sehnen- und Muskelspindeln. Außerdem wird die Muskelkraft wahrgenommen und die Information darüber rückgemeldet. In dem propriozeptiven System werden, zusammengefasst, drei Arten von Informationen gesammelt und übermittelt: Stellungs-, Bewegungs- und Kraftsinn. Die zahlreichen peripheren Systeme leiten so sensorisches Feedback durch Zwischenhirnstrukturen, vor allem auch dem Thalamus, zu den Striatum- und Präfrontallappenschaltkreisen zurück. Diese sorgen dann für eine Top-down-Regulierung der motorischen Befehle.

Dabei wird zwischen unbewussten Propriozeption, die ihre Informationen zum Kleinhirn übermitteln und bewussten Propriozeption, deren Informationen zum

Thalamus, von dort dann an den somatosensorischen Cortex weitergeleitet werden, um so ins Bewusstsein zu gelangen, unterschieden. Die Rezeptoren (z.B. Haut- und Gelenkrezeptoren) sind jeweils das erste Neuron einer sensorischen Bahn. Die so in der Peripherie gesammelten Informationen werden grundsätzlich in drei Bahnen an das Gehirn übermittelt auf die in dieser Arbeit aber nicht näher eingegangen wird.

Viele der neuronalen Top-down-Prozesse, die die motorischen Befehle anpassen, erfolgen ohne Bewusstsein (z. B. Steuerung von Bewegungsgeschwindigkeit, Krafteinsatz). Andere Anpassungen (z. B. körperliche Interaktion mit Sportgeräten) fordern jedoch die Aufmerksamkeit (Lambourne & Tomporowski, 2010; Lecturio, 2017a).

Indirekte Wirkung der Muskelaktivität auf das Gehirn

Zu Beginn der Bewegung, wenn der motorische Cortex neurologische Signale sendet, beginnen im Körper eine Vielzahl an Veränderungen. Periphere und zentrale Systeme werden durch das zur Verfügung stellen metabolischer Energiebahnen, mit den Ressourcen versorgt, um den Bedarf an nötiger Energie zu decken (Secher et al., 2009; in Lambourne & Tomporowski, 2010).

Neben der Versorgung bewegungsrelevanter Systeme, ruft körperliche Aktivität auch noch andere Reaktionen hervor. So erhöht chronische körperliche Aktivität die Entwicklung von Hirnwachstumsfaktoren. In Tierversuchen, aber auch bei Untersuchungen mit Menschen konnte festgestellt werden, dass körperliche Aktivität die Entwicklung von BDNF² und IGF-1³ positiv beeinflusst. Der Nervenwachstumsfaktor, der vaskuläre endotheliale Wachstumsfaktor (VEGF), der Fibroblastenwachstumsfaktor Typ 2 (FGF-2) und Galanin zählen auch zu den nachweislich durch Bewegung

² BDNF – „Brain-Derived Neurotrophic Factor“ – Neben seiner wachstumsfördernden Wirkung für Neuronen und Synapsen, verhindert dieses Wachstumshormon auch das Absterben von Gehirnzellen (Schachl, 2017, S. 66)

³ IGF-1 – ist ein insulinähnlicher Wachstumsfaktor, der die Neuronen gegen den Zelltod schützt (Schachl, 2017, S. 55)

veränderten neurotrophen Faktoren und Neuropeptiden. Zusätzlich werden durch aerobes Training mehrere Neurotransmittersysteme, wie Dopamin, Serotonin und Acetylcholin, im Gehirn verbessert. Dies bedeutet eine Erhöhung der zirkulierenden Neurotransmitter (Dishman et al., 2006; Hillman, Erickson & Kramer, 2008; Voss, Nagamatsu, Liu-Ambrose & Kramer, 2011). Über die Auswirkungen dieser neuronalen Veränderungen und die Bedeutung von IGF-1 und BDNF – der z. B. mit verbesserten Lern- und Gedächtnisprozessen im direkten Zusammenhang steht – und den Neurotransmittersystemen auf die geistige Leistungsfähigkeit und den exekutiven Funktionen finden Sie mehr den Kapiteln 2.2.3. und 2.3.1.2..

2.2.3 Relevanz von Bewegung und Sport für die geistige Leistungsfähigkeit

Schon im antiken Griechenland schien man zwischen einer Verbindung zwischen Körper und Geist gewusst zu haben. Die wissenschaftlichen Untersuchungen dazu begannen allerdings erst in den 1930er Jahren. In den letzten Jahren hat dieser Forschungsbereich richtig Fahrt aufgenommen und interessante Ergebnisse geliefert.

Bewegungsmangel, vor allem in Europa und Amerika, ist einer der Hauptursachen für Fettleibigkeit und deren Folgeerkrankungen (Hillman et al., 2008). Bewegung hat durch induzierte Anpassung im zentralen Nervensystem positive Auswirkungen auf die Prävention und Behandlung von Adipositas, Depressionen, Krebs, dem Kognitionsrückgang im Alter und neurologischen Störungen wie Alzheimer-Demenz, Parkinson, Schlaganfällen und Kopf- und Rückenmarksverletzungen. Fortdauernde körperliche Aktivität, wenn sie freiwillig passiert, reduziert neuronale Stresssymptome, die zum Beispiel für Bluthochdruck, Herzinsuffizienz, oxidativem Stress und der Schwächung des Immunsystems verantwortlich sind (Dishman et al., 2006). Außerdem – und das ist für diese Arbeit von viel größerer Relevanz – fördert körperliche Aktivität im Allgemeinen die kognitive Funktionsfähigkeit, einschließlich der Exekutivfunktionen. Immer mehr Forschungsergebnisse zeigen auf, dass Bewegung mit besserer Kognition und Exekutiven Funktionen bei Kindern und Jugendlichen assoziiert ist (Best, 2010; Chang & Etnier, 2009; Hillman et al., 2008; Hillman et al., 2009b). Somit kann Bewegung nicht nur zur besseren körperlichen Gesundheit beitragen, sondern

auch zur besseren akademischen Leistung verhelfen (Hillman et al., 2008). Es scheint eines der kostengünstigsten und wirksamsten Mittel zur Verbesserung der physischen und psychischen Gesundheit zu sein, und das ohne den Nebenwirkungen vieler pharmakologischen Behandlungen (Voss et al., 2011).

Es wird immer wieder über die Bedeutung und möglicherweise auch über die Sinnhaftigkeit des Sportunterrichts diskutiert. In einigen westlichen Ländern wird er in manchen Schulstufen oder Schultypen reduziert oder sogar abgeschafft, um die akademische Leistung der Schülerinnen und Schülern zu verbessern. Allerdings gibt es keine empirischen Beweise, dass dies zu höheren akademischen Leistungen in den anderen Unterrichtsgegenständen führt. Tatsächlich legen empirische Beweise das Gegenteil nahe. So wurden relevante neuronale Netzwerke identifiziert, die an der Lese- und Mathematikleistung beteiligt sind (siehe Abbildung 9). Unterschiedliche Forschungsarbeiten, die die funktionelle Neuroanatomie des Leseverstehens untersuchten, zeigten eine Aktivierung des präfrontalen Kortex (PFC) und des parietalen/posterioren cingulären Kortex (PCC). Ebenso wurden mathematische Berechnungen und die Verarbeitung numerischer Größen mit bilateralen Regionen des intraparietalen Sulkus bei Kindern und Erwachsenen in Verbindung gebracht. In Bezug auf die akademische Leistung kann dies als solide Grundlage für die Untersuchung dieser Struktur herangezogen werden, da beide akademischen Disziplinen (Mathematik und Lesen) eine Aktivierung im frontoparietalen Netzwerk hervorrufen. Da nun in Untersuchungen zu Bewegung ebenfalls eine Verbindung zur Aktivierung im frontoparietalen Netzwerk gefunden wurde, könnte man daraus ableiten, dass sich Kinder, die sich mehr bewegen Vorteile bei schulischen Leistungen haben (Hillman et al., 2008).

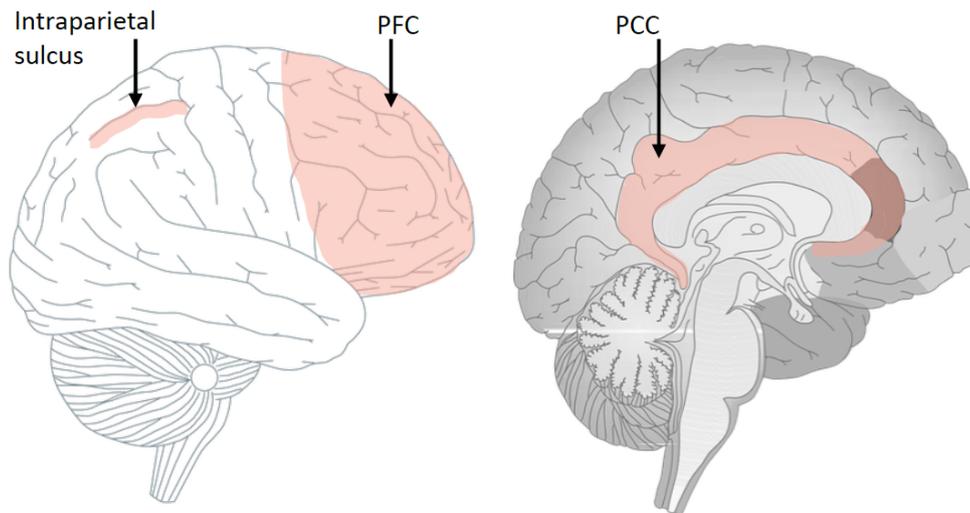


Abbildung 9: Relevante neuronale Netzwerke für die Lese- und Mathematikleistungen in Anlehnung an Hillman et al., 2008

Mit Hilfe von bildgebenden Verfahren wurden die strukturell-neuronalen Auswirkung von Bewegung auf die Kognition untersucht. So fanden Colcombe und Kollegen (2004 & 2006; in Hillman et al., 2008) mit Hilfe von MRT-Untersuchungen in Querschnittsvergleichen von Personen mit niedrigen und hohem Fitnessniveau heraus, dass sportlich Fittere, eine größere Menge an präfrontaler und temporaler grauer Masse und vorderer weißer Masse aufwiesen. Schon früher erwiesen sich solche Erhöhungen des Hirnvolumens als prädiktiv für die Leistungsfähigkeit.

Wie bereits oben (2.2.2.) erwähnt, spielt unter anderem der BDNF hier, im Zusammenhang mit der Neurogenese eine wesentliche Rolle. Dies wurde sowohl in Tierversuchsstudien und auch bei menschlichen Probanden erforscht. Hierbei konnte nachgewiesen werden, dass bei Aufgaben, die vom mittleren Temporallappen abhängen, und durch die Bewegung hervorgerufenem erhöhtem BDNF-Spiegel, diese leichter bewältigt wurden. Dass somit das BDNF die Beziehung zwischen Bewegung und Kognition vermittelt (Hung, Tsai, Chen, Wang & Chang, 2013).

Auch die von Sibley & Etnier (2003; in Hillman et al., 2008) durchgeführten Meta-Analyse zeigt eine positive Korrelation zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistung bei Kindern im Alter von 4 – 18 Jahren in acht unterschiedlichen Messkategorien. Außerdem zeigte sich hierbei auch, dass die Effektgrößen bei Kindern

höher sind, als bei Erwachsenen und in der Mitte der Schulzeit am höchsten sind. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass zwar in allen Lebensphasen körperliche Aktivität von Vorteil zu sein scheint, dass aber für die Verbesserung und/oder Erhaltung der kognitiven Gesundheit und Funktion eine frühzeitige Intervention wichtig sein könnte. Winter et al. (2007; in Pesce, Crova, Cereatti, Casella, & Belluci, 2009) lieferte in einer anderen Studie den Nachweis, dass eine akute, intensive körperliche Betätigung das Lernen beschleunigt und langfristig die Gedächtnisleistung (bei Erwachsenen) verbessert. Als mögliche Erklärung verweisen auch sie auf den neurotrophen Faktor (BDNF – siehe 2.3.1.2.). Coles und Tomporowski (2008; in Hung et al., 2013) fanden heraus, dass moderate aeroben Übungen das Langzeitgedächtnis verbesserten. In einer großen Studie von Åberg et al. (2009) mit über 1,2 Millionen jungen Erwachsenen prognostizierte die kariovaskuläre Fitness im Alter von 18 Jahren die Intelligenz und den Bildungsgrad im späteren Leben.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass körperliche Aktivität auf molekularer, zellulärer, verhaltensmäßiger und systemischer Ebene der Kognition förderlich ist. Diese und folgende Belege zeigen die Bedeutung von Bewegung und Sport in der Schule und während des gesamten Lebens. Somit ist Bewegung, wie bereits oben erwähnt, ein kostengünstiges, leicht verfügbares und ein breit anwendbares Mittel, mit dem man seine kognitiven Funktionen wesentlich verbessern kann (Kramer & Erickson, 2007). Sowohl in verhaltensbezogenen (z. B. Castelli, Hillman, Buck & Erwin, 2007) als auch in neuronalen (z. B. Hillman, Castelli & Buck, 2005) Indizien der psychomotorischen Leistung zeigt sich der kognitive Nutzen der Fitness. Das deutet darauf hin, dass eine höhere kardiorespiratorische Fitness, die mit einem körperlich aktiven Lebensstil verbunden ist, einerseits das Wohlbefinden, andererseits auch die kognitive Gesundheit über die gesamte Lebensspanne schützen und verbessern kann (Hillman et al., 2008).

Die stärkste Schlussfolgerung ist jedoch, dass körperliche Aktivität die schulische Leistung nicht negativ beeinflusst, selbst wenn man dafür dem Unterricht für Bewegung Zeit entzieht (Dwyer, Coonan, Leitch, Hetzel, & Baghurst, 1983; Sallis et al., 1999; Shephard et al., 1984; alle in Davis, 2011).

2.3 Förderung der exekutiven Funktionen in Bewegung und Sport

Wie in 2.2.3. gezeigt, hat chronische körperliche Aktivität positive Auswirkungen auf die physische und auf die psychische Gesundheit der Menschen. Der positive Effekt auf die Kognition tritt im Allgemeinen aber noch mehr bei Prozessen auf, die eine stärker exekutive Kontrolle brauchen (Colcombe & Kramer, 2003) und durch (prä)frontale Hirnregionen unterstützt werden (Colcombe et al., 2004; in Themanson, Pontifex & Hillman, 2008). Das heißt Prozesse und Aufgaben, die mit der Planung, Überwachung und Koordination dieser verbunden sind. Dies wurde sowohl in Längs- als auch in Querschnittstudien und in klinischen Studien nachgewiesen (Dishman et al., 2006). Passend zu diesen Ergebnissen zeigen fMRT-Untersuchungen (Colcombe et al., 2004; in Hillman et al., 2008) und Verhaltensdaten (Hillman et al. 2006; Kramer et al. 1999; beide in Hillman et al., 2008) eine unverhältnismäßig größere neuronale Modulation, die mit der körperlichen Aktivität verbunden ist. Im Speziellen bei Aufgaben, die vor allem die exekutive Kontrolle erfordern (Hillman et al. 2008).

Mit dem Wissen über die Bedeutung der Exekutivfunktionen für den schulischen Erfolg und die Auswirkungen auf die gesamte Lebensspanne (siehe 2.1.4.), in Kombination mit den positiven Auswirkungen von Bewegung auf diese spezifischen Gedächtnisprozesse bei Kindern und Jugendlichen, kann und muss dies für uns als Pädagoginnen und Pädagogen, bei der Unterrichtsplanung und -durchführung eine wesentliche Rolle spielen. Genau im Kindesalter kann sich körperliche Aktivität als wichtigste und einfachste Methode für die Verbesserung und Entwicklung der kognitiven Funktionen erweisen (Davis et al., 2011).

Hilfreich für bildungspolitische Überlegungen kann auch folgende Untersuchung von Dordel & Breithecker sein. Gemessen mit dem d2-Test⁴, wirkt sich Bewegung positiv auf die Aufmerksamkeit und somit auf die Konzentrationsfähigkeit aus. Außerdem

⁴ Der d2 Test ist ein psychologischer durchstreich Test zur Beurteilung der Aufmerksamkeit (Konzentrationsfähigkeit). Der Test besteht nur aus den Buchstaben d und p die oben und/oder untern mit bis zu 4 Strichen markiert sind. Die Probandin/Der Proband hat pro Reihe 20 Sekunden Zeit, möglichst viele mit 2 Strichen markierte d's fehlerfrei durchzustreichen. Die reine Bearbeitungszeit des Tests dauert ca. 5 Minuten (Spektrum, 2000a).

wurde festgestellt, dass bewegter Unterricht besser als 5-minütige Bewegungspausen ist (siehe Abbildung 10) (Dordel & Breithecker, 2008; in Leitner & Kainberger, 2015, S. 22).

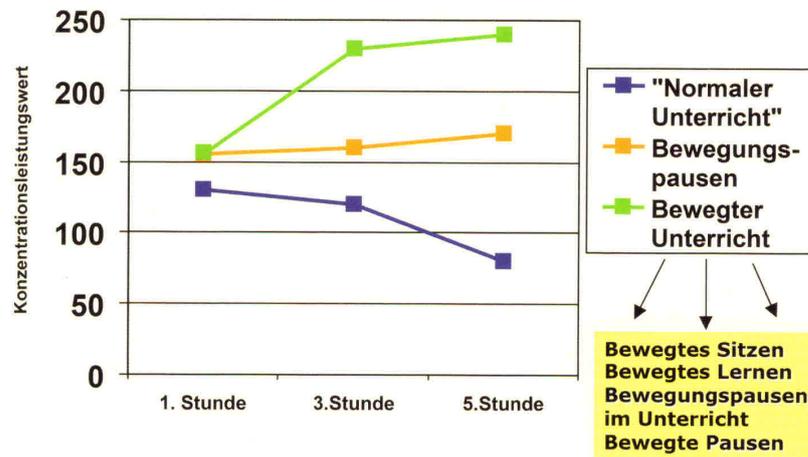


Abbildung 10: Konzentrationsfähigkeit im Verlauf eines Schulvormittages (Leitner & Kainberger, 2015, S. 22)

Im „Bewegten Unterricht“ wird kognitives Lernen mit Bewegung kombiniert. Untersuchungen legen nahe, dass die aerobe Aktivität allein die exekutiven Funktionen beeinflusst, dass aber die Kombination aus Bewegung und kognitivem Tun eine noch stärkere Wirkung hat (Best, 2010). Um das Zahlenverständnis zu verbessern, wird zum Beispiel auf einem Maßband, das als Zahlenstrahl dient, Zahlgrößen, Stellenwerte, negative Zahlen, Additionen und Subtraktionen „läuferisch“ erarbeitet (Schachl, 2017, S. 54f). Außerdem muss man der Möglichkeit Aufmerksamkeit schenken, dass soziale Interaktion noch mehr positiven Nutzen für die Kognition hat (Best, 2010).

Laut Best (2010) scheint es so zu sein, dass es für jede Altersgruppe bestimmte Formen der Bewegung gibt, die für die Entwicklung von Exekutivfunktionen vorteilhafter sind. So könnten jüngere Kinder von freieren, weniger strukturierten Bewegungsformen profitieren. Ältere Kinder und Jugendliche hingegen ziehen mehr Nutzen aus anspruchsvolleren Spielen, die komplexere Regelstrukturen aufweisen. Daher muss der Entwicklungsstand der Kinder sorgfältig berücksichtigt werden, um ihr kognitives Engagement zu optimieren. Wie die Bewegung die Kognition beeinflusst, kann man nur

verstehen, wenn man die Mechanismen auf mehreren Ebenen untersucht - von der einzelnen Hirnstruktur bis zur sozialen Interaktion.

Im Folgenden wird auf die Trainierbarkeit der Exekutivfunktionen eingegangen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die körperliche Fitness und die akuten und chronischen Auswirkungen von Bewegung und Sport gelegt.

2.3.1 Trainierbarkeit der exekutiven Funktionen

„EFs can be improved“ (Diamond & Lee 2011; Klingberg 2010; in Diamond, 2013, S. 154)

... und zwar in jedem Alter. Vom Säugling bis zum alten Menschen, über das gesamte Leben hinweg, können die Exekutivfunktionen verbessert werden (Diamond, 2013).

So fanden Hillman, Erickson & Kramer 2008 in einer Meta-Studie positive Auswirkungen von Bewegungstraining auf die Kognition bei älteren Erwachsenen. In Abbildung 11 sieht man, dass die Probandinnen und Probanden der Versuchsgruppe bei vier verschiedenen kognitiven Aufgaben signifikant besser abschnitten als ihre Kolleginnen und Kollegen in der Kontrollgruppe. Es zeigen sich hier einerseits breite aber auch ganz spezifische Effekte von Fitnessstraining. Dies ist insofern interessant, als dass bei den exekutiven Funktionen die Effekte größer waren, als bei den anderen kognitiven Prozessen.

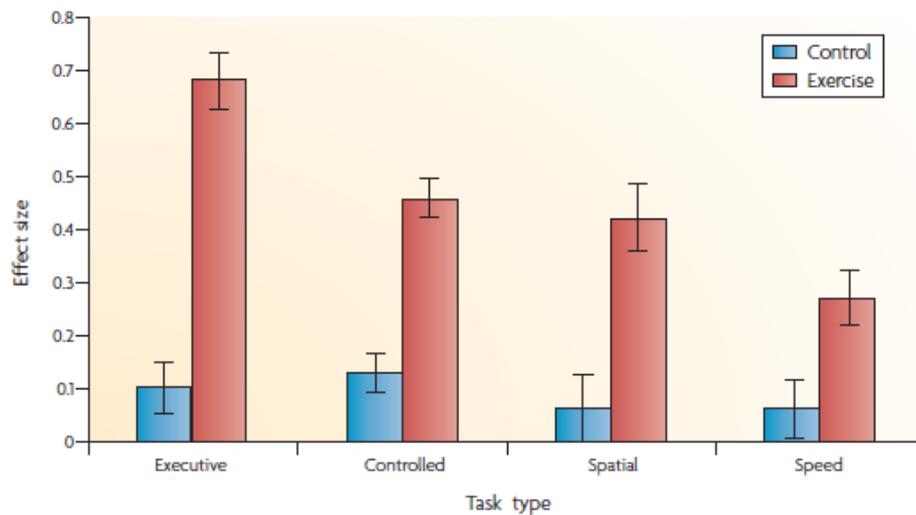


Abbildung 11: Meta-analytische Befunde zu den Auswirkungen von Bewegungstraining auf die Kognition bei älteren Erwachsenen (Hillman et al., 2008, S. 60)

Bewegung hat eine positive Auswirkung auf die kognitiven Prozesse - vor allem auf die exekutiven Funktionen. Diamond & Lee konnten 2011 in einer Interventionsstudie mit Kindern eindeutig nachweisen, dass die exekutiven Funktionen durch sechs verschiedene – wissenschaftlich gestützte – Zugänge verbessert werden können. So stellen sich Verbesserungen bei Aerobic und Sport, nicht-computergestützten Spielen, Yoga, Kampfsport und Achtsamkeitstraining und speziellen Lehrplänen für den Unterricht ein. Ein weiteres Ergebnis war, dass Kinder mit anfänglich schlechteren Exekutivfunktionen am meisten von den Interventionen profitierten. Dieses Wissen ist besonders wichtig, da es folgendes bedeutet: Wenn früh interveniert wird, kann dies helfen spätere Leistungslücken rechtzeitig zu verhindern. Von den beiden Autorinnen wurden viele unterschiedliche Trainingsmöglichkeiten bzw. Trainingsfelder aufgezeigt. In dieser Arbeit liegt der Fokus allerdings lediglich auf dem Bereich „Bewegung und Sport“.

Welche der exekutiven Funktionen profitiert am meisten vom Bewegungstraining?

Darin ist sich die Wissenschaft noch nicht ganz einig. Dies liegt vor allem daran, dass die Studiendesigns (sehr) unterschiedlich sind, die getesteten Altersgruppen sich unterscheiden, es diverse Einflussfaktoren gibt (dazu später mehr) und vor allem, dass

die Exekutivfunktionen (bei den Tests) nicht unabhängig und einzeln voneinander auftreten und nachweisbar sind. So lassen Testergebnisse immer einen gewissen Spielraum für Interpretationen.

2011 zeigten zum Beispiel Kamijo et al. in einer 9-monatigen Interventionsstudie mit 7 – 9-jährigen Kindern, dass durch das Training erhöhte Fitnessniveau mit der Verbesserung in der kognitiven Kontrolle des Arbeitsgedächtnisses in Zusammenhang steht. Auch McMorris (2010) konnten in einer Meta-Analyse signifikante positive Auswirkungen auf Aufgaben, die das Arbeitsgedächtnis betreffen, durch akutes, mäßig intensives aerobes Training, zeigen (in Hung et al., 2013). Davis et al. zeigten 2011 die positiven positive Effekte von körperlichem Training auf die Exekutivfunktionen und mathematischen Leistungen haben.

Diamond & Lee (2011) beschrieben, dass Bewegung und Sport (in seiner ganzen Fülle an Möglichkeiten) den exekutiven Funktionen mehr zugutekommt, als reines aerobes Training (vgl. 2.3.). Denn Sport verbessert nicht nur die Fitness, sondern fordert die Exekutivfunktionen heraus, indem anhaltende Aufmerksamkeit, diszipliniertes Handeln und ein aktives Arbeitsgedächtnis von den Kindern und Jugendlichen verlangt wird. Außerdem kann Sport Freude, Stolz und soziale Interaktionen bringen, was – wie wir auch später sehen werden – die Grundlagen für die Entwicklung der Exekutivfunktionen sind.

Wenn man von Trainierbarkeit spricht, muss man sich auch diverse Einflussfaktoren bei den Exekutivfunktionen näher ansehen. Dazu gehören zum Beispiel auch wesentliche genetische Einflüsse. Exekutive Funktionen gehören laut Friedman & Miyake (2008) zu den am stärksten erblichen psychologischen Faktoren. Was aber nicht bedeutet, und so betonen Miyake & Friedman das auch, dass eine hohe Vererblichkeit nicht mit Unveränderlichkeit gleichzusetzen ist. Außerdem muss man sich über die zum Teil großen individuellen Unterschiede in den exekutiven Funktionen im Klaren sein, die allerdings während der Entwicklung eine gewisse Stabilität zeigen. Ebenfalls korrelieren verschiedene Exekutivfunktionen miteinander (siehe 2.1., Abbildung 1, Modell der Einheit und Vielfalt) und nutzen so eine gemeinsame Basisfähigkeit (= Einheit).

Allerdings weisen sie auch eine gewisse Trennbarkeit (= Vielfalt) auf (Miyake & Friedman, 2012).

Das kombinierte Training aus physischen und kognitiven Elementen scheint, laut aktuellen Forschungsergebnissen, am effektivsten zu sein. Dies könnte in der Praxis am besten durch unterschiedliche Spiele umgesetzt werden. Dabei werden die Exekutivfunktionen auf physischer Ebene allein schon durch die körperliche Aktivität trainiert, weil aerobes Training und körperliche Fitness positive Effekte darauf haben. Auf kognitiver Ebene ergibt sich das Training aus der Bewegungsaufgabe (Kubesch & Walk, 2009, S. 314).

Eine wichtige Frage dazu stellt Diamond (2013, S. 157):

“Will the type of program end up mattering more, or will the way it is done be more significant?”

Um die Frage genauer beantworten zu können und ein besseres Verständnis für die unterschiedlichen Befunden zu erhalten, ist es erforderlich, auf die möglichen Mechanismen und die Wirkung der Übungen auf die Exekutivfunktionen zu beleuchten. Best (2010) definiert mindestens drei allgemeine Wege, die das Training der exekutiven Funktionen bei Kindern verbessern können: (1) die kognitiven Anforderungen, die zur Struktur eines zielgerichteten und engagierten Trainings gehören, (2) das kognitive Engagement, welches bei der Ausführung komplexer motorischer Bewegung erforderlich ist, und (3) die physiologischen Veränderungen im Gehirn, die durch Training induziert werden (Tabelle 3) (siehe auch 2.3.1.2. und 2.3.1.3.).

Tabelle 3: Zusammenfassung der Wege, auf denen aerobes Training die exekutive Funktion beeinflusst (nach Best, 2010, S. 339)

Weg	Übungsart	Auswirkungen auf die Kognition und das Gehirn
Kognitive Anforderungen, die mit der Teilnahme an Spielen verbunden sind	Gruppenspiele	Kontextuelle Einmischung hat einen robusten Effekt auf den Erhalt und den Transfer von Fähigkeiten Strategisches Spiel rekrutiert ähnliche kognitive Prozesse wie EF-Aufgaben Adaptives Videospiele-Training verbessert nicht-trainierte EF-Fähigkeiten
Kognitive Anforderungen, die der Koordination komplexer motorischer Aufgaben innewohnen	Gruppenspiele	Kontextuelle Interferenz führt zu einem besseren Erlernen motorischer Fähigkeiten
	Komplexe motorische Aufgaben (z.B. bimanuelle Koordinationsaufgaben, Lernen motorischer Fähigkeiten)	Aktivierung von PFC während komplexer Motorausführung Physiologische Veränderungen im Hippocampus und Kleinhirn
Physiologische Veränderungen durch aerobes Training	Gruppenspiele	Neurogenese im Hippocampus
	Wiederholtes aerobes Training (z.B. Laufen)	Angiogenese und erhöhtes zerebrales Blutvolumen Hochregulierung von Wachstumsfaktoren und Neurotrophinen (z.B. BDNF) Sofortige Zunahme von Neurochemikalien (z.B. NE, DA) Verbessertes Lernen und Gedächtnis

Anmerkung: BDNF = brain-derived neurotrophic factor (hirnabgeleiteter neurotropher Faktor), DA = Dopamin, EF = Exekutive Funktionen, NE = Norepinephrine, PFC = präfrontaler Kortex.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die exekutiven Funktionen durch Bewegung und Sport über mehrere Wege trainierbar sind. Wie und in welcher Art und Weise, hängt von der Art der Übung ab. Aerobe Spiele scheinen hier aktuell das beste Mittel der Wahl zu sein. Sie erfordern viele der gleichen kognitiven Prozesse wie bei Aufgaben der Exekutivfunktionen. So ist es notwendig strategisch und zielgerichtet zu handeln und sie erfordern geschickte und komplexe Bewegungen, die unmittelbar auf die präfrontalen neuronalen Schaltkreise angewiesen sind. Die so erworbenen Fähigkeiten können dann transferiert, also auf Exekutivfunktions-Aufgaben übertragen werden (Best, 2010). Schließlich führt das Bewegungstraining nicht nur zu allgemeinen körperlichen, sondern auch zu neuronalen Veränderungen im Gehirn. Auf diese gehe ich unter 2.3.1.2. und 2.3.1.3. genauer ein.

Auf den Punkt gebracht: „Die ideale Förderung der exekutiven Funktionen entsteht durch die Förderung von körperlichem und kognitivem Training“ (Kubesch, 2014; in Schachl, 2017, S. 54).

2.3.1.1 Körperliche Fitness und exekutive Funktionen

In der Praxis als Hauptschul- und Mittelschullehrer kann man immer wieder beobachten, wie sich sportlichere bzw. konditionell fittere Kinder bei einigen Aufgabenstellungen in Mathematik leichter tun. Die Neurowissenschaft bietet mögliche Erklärungen dafür. So wurde in zahlreichen Studien gezeigt, dass fittere Kinder ihre weniger fitten Altersgenossinnen und Altersgenossen bei Tests zu den exekutiven Funktionen (Kognitive Kontrolle, Inhibition, kognitive Flexibilität und Arbeitsgedächtnis) übertreffen (Chaddock et al., 2010; Diamond, 2006; Hillman, Erickson, & Kramer, 2008; Pontifex et al., 2011; alle in Chaddock et al., 2012). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Kinder kognitive Kontrollprozesse flexibler zuordnen und ihre Strategien so ändern konnten, um wiederum den Herausforderungen der Aufgaben besser gerecht zu werden, wenn sie über ein höheres Fitnessniveau verfügten. Das konnten sie einerseits zum Zeitpunkt der Klassifizierung der Fitness, aber auch ein Jahr später noch signifikant besser. MRT-Daten unterstützen die Beobachtungen von Chaddock et al. (2010), indem sie einen Zusammenhang zwischen dem Fitnesslevel, dem Basalganglienvolumina und der Inhibition feststellten. Die Forschungsdatenbank wächst ständig und deutet immer klarer darauf hin, dass körperlich fittere Kinder bessere kognitive Leistungen, höhere akademische Leistungswerte, eine effizientere neuroelektrische Aktivierung, die den Aufmerksamkeitsprozessen zugrunde liegt, und ein größeres Gehirnvolumen im Hippocampus und in den Basalganglien aufweisen, als unsportlichere Kinder (Buck, Hillman, & Castelli, 2008; Castelli, Hillman, Buck, & Erwin, 2007; Chaddock et al, 2010a, 2010b; Chaddock, Hillman, Buck, & Cohen, 2011; Chomitz et al., 2009; Hillman, Buck, Themanson, Pontifex, & Castelli 2009; Hillman, Castelli, & Buck, 2005; Kamijo et al., 2011; Pontifex et al., 2011; Sibley & Etnier, 2003; alle in Chaddock et al., 2012).

In den letzten drei Jahrzehnten wurden EEG-Forschungsarbeiten durchgeführt, die einerseits die aerobe Fitness und auch die durch Sport bedingten Unterschiede in der Amplitude und der Latenzzeit der P3-Komponente bei Kindern (z. B. Hillman et al., 2005) und jungen (z. B. Hillman et al., 2006) und älteren (z. B. Hillman et al., 2004) Erwachsenen beschrieben. Diese Komponente scheint insofern interessant zu sein, als

dass sie durch ein Netzwerk neuronaler Strukturen, inklusive des Frontallappens, des vorderen cingulären Kortex, des parietalen Kortex und des inferioren Temporallappens erzeugt werden. Diese sind an kognitiven Operationen wie der Reizverarbeitung und der Aktualisierung des Arbeitsgedächtnisses beteiligt. Bei Personen mit einem höheren Fitnessniveau werden eine höhere P3⁵ Amplitude und eine deutlich kürzere Latenzzeit dieser, im Vergleich zu weniger fitten Teilnehmerinnen und Teilnehmern, beobachtet. Es scheint so zu sein, dass körperliche Fitness für kognitive Prozesse, die mit der Aufmerksamkeitssteuerung und schnellen kognitiven Verarbeitung zusammenhängen, vorteilhaft ist. Diese konsistenten und robusten Befunde stimmen mit fMRT-Untersuchungs-Ergebnissen überein (in Hillman et al., 2008).

Bemerkenswert ist der Zusammenhang des Fitnesslevels von Personen mit besseren Leistungen bei Aufgabenbedingungen zusammenhängen, die Flexibilität, Inhibition und Arbeitsgedächtnis erfordern - es allerdings kaum, bis keine Unterschiede bei weniger anspruchsvollen Aufgabenbedingungen gibt. Dies alles deutet darauf hin, dass kardiorespiratorische Fitness ein veränderbarer Lebensstilfaktor sein könnte. Es zeigt sich nicht nur eine starke und spezifische Beziehung zwischen Fitness und exekutiven Funktionen, sondern es ist auch ein leicht verfügbares Mittel zur Verbesserung dieser, um Anforderung und/oder geplante Ziele besser zu erfüllen. Außerdem zeigen die Verbesserungen bei einer jungen gesunden Bevölkerung auf, dass eine gesteigerte Fitness auch jenen zugutekommen kann, die sich auf ihrem kognitiven Höhepunkt befinden (Hillman et al., 2008; Themanson et al., 2008).

2.3.1.2 Akute Auswirkungen von körperlicher Aktivität

Mit dem Beginn der Bewegung steigert sich die Durchblutung im ganzen Körper und somit auch im Gehirn. Die Zellversorgung mit Sauerstoff und Glukose wird dadurch verbessert, was zur Steigerung der Aufmerksamkeit und Konzentration führt und damit den Lernprozess unterstützt (Ratey, Hagermann, 2013; in Leitner & Kainberger, 2017).

⁵ P3 – Abkürzung von P300. Ist eine ausgeprägte positive Welle im ereigniskorrelierten Potential, die mit einer Latenz von 300 bis > 700 ms zum auslösenden Reiz auftritt. Die P300-Latenz korreliert mit der Schwierigkeit der Reizklassifikation und tritt für aufgabenrelevante Reize mit erhöhter Amplitude auf (Spektrum, 2000b).

Diese bewegungsinduzierte Erregung, die Erhöhung des BDNF (dazu weiter unten Genaueres) und der Aktivierung des zerebralen Blutflusses erklären die Erleichterung der exekutiven Funktionen direkt nach dem Ende der körperlichen Aktivität (Hung et al., 2013).

Akutes sportliches Training verbessert die kognitive Leistung, da dieses eine unmittelbare neurochemische Reaktion fördert (Best, 2010). Die in Untersuchungen gefundenen Verbesserungen der Informationsverarbeitung wird mit Veränderungen in den Neurotransmittersystemen des Gehirns in Zusammenhang gebracht. So beschreibt McMorris (2009; in Lambourne & Tomporowski, 2010) in seinem neuroendokrinen Modell, wie der Hypothalamus mit dem Beginn der Bewegung die Synthese von Katecholaminen auslöst. Wird die Bewegung intensiver, wird aus dem Nebennierenmark Adrenalin und Noradrenalin freigesetzt, was zur Ausschüttung von Katecholaminen im Gehirn führt. Vor allem Noradrenalin und Dopamin beeinflussen die neuronalen Netzwerke, die für die Informationsverarbeitung zuständig sind. Wird das Niveau dieser beiden Neuromodulatoren moderat erhöht, beeinflussen sie dadurch das präfrontale Aufmerksamkeitssystem des Frontallappens. Wird das Training allerdings zu intensiv oder dauert es zu lange, beeinträchtigt dies die kognitive Leistung der Probanden. McMorris vermutet, dass dann die Cortisolproduktion nicht mehr in der Lage ist, das Corticotropin-Releasing-Hormon und das Adrenocorticotropin-Hormon zu hemmen, was zur Beeinträchtigung führt. Möglicherweise waren es allerdings einfach die Übungsanforderungen an die Probanden. Schließlich braucht das Laufen auf einem motorbetriebenen Laufband mehr Erfahrung als das stationäre Radfahren auf einem Ergometer.

Was sich aber trotz aller möglicher Störfaktoren zeigte, war, dass sich die kognitive Leistung aller Probanden verbesserte, wenn sie nach dem Training getestet wurden - unabhängig von der Art der körperlichen Aktivität (Lambourne et al., 2010). Kubesch et al. (2009) untersuchten die Auswirkungen von einer 30-minütigen Ausdauerbelastung bei Siebtklässlern. Es wurden dabei zwei zufällige Gruppen gebildet, wobei eine Gruppe 30 Minuten intensiven Sportunterricht erhielt, die andere Gruppe sich ein Hörbuch

anhörte. In der nächsten Woche wurde getauscht. Mit Hilfe einer Flanker-Aufgabe⁶ wurden die Reaktionszeiten der Schülerinnen und Schüler jeweils vor und nach der Aktivität (Sportunterricht bzw. Hörbuch anhören) gemessen. Das Ergebnis der Untersuchung zeigte, dass Sportgruppe nach der Bewegung schneller reagierte. Bei der Hörbuch-Gruppe kam es zu keiner Verbesserung der Reaktionszeiten. Das heißt, die Schülerinnen und Schüler konnten nach der 30-minütigen Bewegungssequenz Störreize besser ausblenden und konzentrierter arbeiten. Ebenfalls mit Hilfe von Flanker-Aufgaben zeigte Best (2010), dass Computerspiele, die ein hohes Maß an körperlicher Bewegung erfordern (sogenannte Exergames), bei Grundschülerinnen und Grundschulern auch zu schnelleren Reaktionszeiten führen. Im Gegensatz dazu hatten Computerspiele mit wenig bis gar keiner körperlichen Aktivität und Spiele mit wenig bis sehr viel kognitiver Herausforderung keine Auswirkungen auf die Reaktionszeiten bei den Flanker-Aufgaben. Ebenfalls bessere Reaktionszeiten und weniger Fehler bei Flanker-Aufgaben fanden Hillman, Buck, Themanson, Pontifex & Castelli (2009a) bei Grundschülerinnen und Grundschulern, nachdem sie diese 20 Minuten zügig auf dem Laufband gehen ließen. Außerdem zeigten sie zudem eine signifikant bessere Leseleistung als vor der Bewegung. Was bei dieser Untersuchung auch gezeigt wurde ist, dass sich auch die physiologischen Verarbeitungsprozesse im Gehirn änderten. So waren die Kinder nach der Bewegung aufmerksamer, als nach der Ruhepause. Mit Hilfe der EEG-Messung wurden größere P3-Amplituden gemessen.

Bei all diesen Studien wurden ganz spezielle Verbesserungen gefunden, jedoch nicht bei anderen Aufgaben. So zum Beispiel fanden Hillman et al. (2009a) eine verbesserte Leseleistung, aber keine positive Veränderung im Schreiben oder Rechnen. Tomporowski, Davis, Miller & Naglieri (2008) z. B. fanden in ihrer Bewegungsinterventionsstudie an Schulkindern gar keine signifikanten Effekte. Die Gründe dafür, mögen unterschiedlich sein. Die Neurowissenschaft kann uns aber in

⁶ Flanker-Aufgaben: Die Aufgabe besteht darin so schnell wie möglich und dabei auch noch richtig anzugeben, in welche Richtung der mittlere Pfeil von fünf Pfeilen zeigt. Besonders schwierig ist es, wenn der mittlere Pfeil in die andere Richtung zeigt, weil man da die „störende“ Reize ausblenden muss (siehe zweites Beispiel).
z.B.: <<<<< (Pfeil zeigt nach links); >>>>> (Pfeil zeigt nach rechts); ... (Brunetti, Zappasodi, Croce & Matteo, 2019)

diesem Bereich Klarheit verschaffen und zeigt uns zum Beispiel im EEG-Experiment von Hillman et al. (2009a) veränderte EEG-Muster, die eindeutig auf die angebotenen Bewegungsreize zurückzuführen sind. Auch strukturell veränderte Hirnstrukturen wurden mit Hilfe von MRT-Studien gefunden. Dazu aber unter 2.3.1.3. mehr. Bei Labortierversuchen, aber auch bei Untersuchungen mit menschlichen Probanden (z. B. Hung et al., 2013) wurde eine bewegungsinduzierte Erhöhung des BDNF festgestellt, und zwar besonders im Hippocampus. Diese Hirnregion ist besonders für die Langzeitspeicherung verantwortlich. Außer BDNF spielen natürlich auch noch andere Stoffe eine wichtige Rolle beim Lernen und auch ihr Wert wird durch Bewegung und Sport im Gehirn erhöht: IGF-1; VEGF; und FGF-2 (Ratey/Hagerman, 2013; in Schachl, 2017, S. 55) (vgl. auch Kapitel 2.2.2.). Griffin et al. (2011) haben in ihrer Studie eine Gruppe unsporlicher Studenten mit der Aufgabe auf den Ergometer gesetzt, so lange und immer schneller zufahren, bis diese nicht mehr konnten. Die andere Gruppe hatte Pause. Beiden Gruppen wurde mehrmals Blut abgenommen. Im Blut der Ergometergruppe wurde schon nach 30 Minuten - und auch noch nach einer Stunde nach der Bewegung - mehr BDNF als in der anderen Gruppe gefunden. Durch aerobes Training wird zudem auch der Spiegel von Serotonin, Noradrenalin, Dopamin (siehe oben) und Endorphin erhöht. Diese Stoffe verbessern unter anderem die Stimmung, was unter dem Gesichtspunkt der Bedeutung von Emotionen beim Lernen wichtig ist. Vor allem dem Hippocampus kommt in der Verbindung von Lernen und Emotionen eine wesentliche Rolle zu (Schachl, 2017, S. 55).

Best (2010) untersucht in einer Vielzahl an Studien die unmittelbaren Auswirkungen von körperlichen Übungen auf die Kognition. Den Überblick dazu finden Sie in Tabelle 4.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse experimenteller Studien, die die Auswirkungen von akuter Bewegung auf die exekutive Funktion von Kindern bewerten (Best, 2010, S. 335)

Autoren	n	Stichprobe	Trainingsintervention	Dauer	Tests	Ergebnisse
Caterino and Polak (1999)	177	2. - 4. Klasse, gesund	Dehnen und aerobes Gehen	15 min	WJ Konzentrationstest	Verbesserte Leistung nur für Kinder der 4. Schulstufe
Tomporowski, Davis, Lambourne, et al. (2008)	69	7 - 11 Jahre, übergewichtig	Gehen auf dem Laufband (mittlere Intensität)	23 min	Aufgabenwechsel	Kein Effekt im Vergleich zur Ruhebedingung beim Videoschauen
Hillman et al. (2009)	20	M = 9,6 Jahre (SD = 0,7), gesund	Gehen auf dem Laufband (60% der max. HF)	20 min	Flanker Test	Verbesserte Genauigkeit beim Gehen Verbessertes Leseverständnis Größere P3 in fronto-central, zentralen Regionen
Elleberg and St. Louis-Deschênes (2010)	72	7 und 10 Jahre, gesunde Buben	Radgometerfahren während des Fernsehens (63% der max. HF)	40 min	Einfache & Wahl-RT-Aufgabe	Verringertes RT bei beiden Aufgaben nach dem Radfahren Keine Auswirkung auf die Genauigkeit Keine Altersunterschiede
Pesce et al. (2009)	60	11 - 12 Jahre, gesund	Gruppenpiele (Sportspiele) (HF = 137 BPM) Zirkeltraining (HF = 146 BPM)	1 h	Freier Abruf von sofortigem und verzögertem Speicher	Äquivalente Auswirkung auf den verzögerten Abruf Größere Auswirkung auf den unmittelbaren Abruf nach Gruppenspielen
Stroth et al. (2009)	35	13 - 15 Jahre, gesund	Radgometerfahren (60% der max. HF)	20 min	Go/No-Go-Version von Flanker-Test	Keine Auswirkung auf Verhaltens- oder ERP-Daten im Vergleich zum Ansehen eines Videos
Budde et al. (2008)	115	13 - 16 Jahre, gesund	Koordinative Übungen (HF = 122 BPM) Zirkeltraining (HF = 122 BPM)	10 min	d2 Selektive Aufmerksamkeitsaufgabe	Verbesserung in beiden Bedingungen im Vergleich zum Vortest Größere Verbesserung nach koordinativem Training

Hinweis: BPM = Schläge pro Minute. EF = Exekutive Funktion. ERP = Ereignisbezogenes Potential. HR = Herzfrequenz. RT = Reaktionszeit.

Fasst man diese experimentellen Studien zusammen, scheint es, dass einzelne aerobe Bewegungstrainings die Exekutivfunktionen bei Kindern kurzfristig verbessern können. Außerdem scheint das Ausmaß der Beteiligung der exekutiven Funktionen - das heißt, wenn ein größeres kognitive Engagement bei der Übung notwendig ist - ein wesentlicher Faktor beim akuten Training zu sein. (siehe 2.3.1.) In den meisten Fällen wurden in den experimentellen Studien akute Bewegungstrainings, vermutlich aus Kostengründen oder anderen - teilnehmerbetreffenden - Gründen, eingesetzt (Best, 2010). Welche Auswirkungen chronische Bewegungsintervention haben können, sehen wir im folgenden Kapitel.

2.3.1.3 Chronische Auswirkungen von körperlicher Aktivität

Die Wirkung von Bewegung und Sport auf das zentrale Nervensystem durch eine Vielzahl an Mechanismen, die hoch integrierte Reaktionen aller physiologischer Systeme beinhaltet, ist unbestritten (Dishman et al., 2006). Welche chronischen Folgen und Veränderungen diese mit sich bringen kann, werden in diesem Kapitel beleuchtet.

Wie bereits in 2.2.3. erwähnt, ist freiwillige körperliche Bewegung gesundheitsfördernd. Es hat Einfluss auf den Energiehaushalt, mindert das Adipositasrisiko und somit das Risiko an Typ-2-Diabetes zu erkranken und beugt Herz-

Kreislauf-Erkrankungen vor. Regelmäßige Bewegung sorgt für eine dichtere Knochenstruktur und wirkt sich positiv auf Bluthochdruck, Herzinsuffizienz und oxidativen Stress aus. Außerdem kann regelmäßige körperliche Aktivität Depressionen reduzieren, den altersbedingten Rückgang der Kognition vermindern und durch Einflüsse auf die Neuroplastizität und der Neurogenese Schutz vor Schlaganfällen bieten (Dishman et al., 2006; Hillman et al., 2008).

Um die Komplexität der Neurobiologie von Bewegung etwas zu verdeutlichen, bietet uns Dishman et al. (2006) ein heuristisches Diagramm (Abbildung 12). Dies soll nur einen Überblick über die Wirkungsfelder, Zusammenhänge und Auswirkungen von Bewegung aufzeigen. Genauer darauf eingehen werde ich allerdings im Rahmen dieser Arbeit nicht.

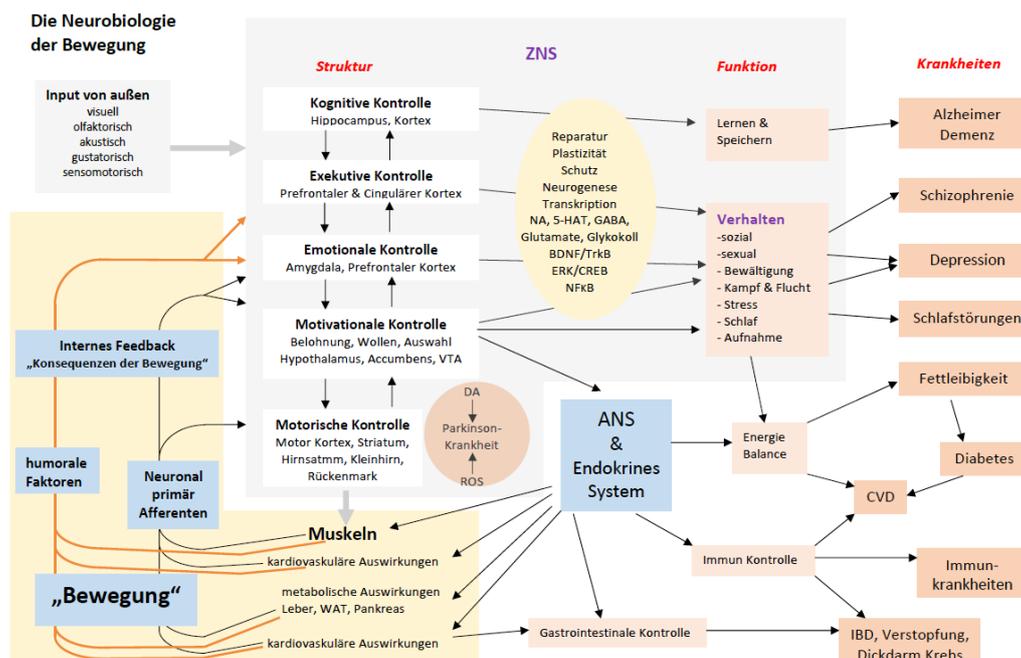


Abbildung 12: Ein heuristisches Diagramm zum Verständnis der Neurobiologie von Bewegung und körperlicher Aktivität (nach Dishman et al., 2006, S. 348)

ANS, autonomes Nervensystem; BDNF, hirnableiteter neurotropher Faktor; ZNS, Zentralnervensystem; CREB, elementbindendes Protein für die zyklische Adenosin-Monophosphat-Reaktion; CVD, Herz-Kreislauf-Erkrankungen; DA, Dopamin; ERK, extrazelluläre signalregulierte Kinase; 5-HT, 5-Hydroxytryptamin; GABA, Gamma-Aminobuttersäure; IBD, entzündliche Darmerkrankung; NA, Noradrenalin; NF_B, nuklearer Faktor von kappaB; ROS, reaktive Sauerstoffspezies; TrkB, Tyrosinrestkinase-Rezeptor-Typ 2; VTA, ventraler tegmentaler Bereich; WAT, weißes Fettgewebe.

Wie es scheint, kann das regelmäßige aerobe Training eine nachhaltigere Verbesserung der episodischen Gedächtnisleistungen (Ruscheweyh et al., 2009) und der Exekutivfunktionen durch morphologische Veränderungen im präfrontalen Cortex bewirken. Unterstützung dafür kommt auch von einer randomisierten Interventionsstudie von Colcombe et al. (2006; in Best, 2010). Dabei mussten ältere Erwachsene (60-80 Jahre) 6 Monate aerob trainieren. Mit Hilfe von MRT-Untersuchungen wurde ein erhöhtes Volumen an weißer und grauer Substanz, vor allem in den frontalen Hirnregionen, im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, die keine Bewegung im selben Zeitraum machte, gefunden. Ruscheweyh und seine Kolleginnen und Kollegen fanden (2009) (ebenfalls bei älteren Personen) auch eine deutliche Korrelation zwischen gesteigerter körperlicher Aktivität und dem Volumen der grauen Substanz in mehreren kortikalen Regionen. Am signifikantesten war die Zunahme im cingulären und präfrontalen Cortex (hier vor allem im anterioren frontalen und in einem kleinen Teil des dorsolateralen frontalen Cortex). Auffällige Zunahmen an grauer Substanz, nach längerfristiger Bewegungsintervention, fanden sich in dieser Studie auch in Teilen des dorsalen anterioren cingulären Cortex, der supplementär-motorischen Rinde und dem mittleren frontalen Gyrus. Chaddock et al. untersuchten mit Hilfe von MRT Gehirnstrukturen von sportlich fitteren und weniger fitten Kindern (9-10 Jahre). Dabei fanden sie bei den fitteren Kindern größere Volumina im dorsalen Striatum der Basalganglien. Dies wiederum ist mit einer größeren Ablenkungshemmung während der Flanker-Aufgaben verbunden. Ebenfalls zeigten Chaddock et al. einen Zusammenhang zwischen körperlicher Fitness, Inhibition und dem Volumen des Globus pallidus, einem Teil der Basalganglien (Chaddock et al, 2010; in Chaddock et al., 2012).

Diese einheitlichen Beweise zeigen, dass regelmäßiges aerobes Training bei Menschen neuronale Substanz so verändern kann, dass sich dieses auf die Kognition auswirkt (Best, 2010). Leider gibt es eher wenige Studien, die chronischen Auswirkungen auf die Exekutivfunktionen bei Kindern und Jugendlichen untersuchen. Best (2010) geben in einen kurzen Überblick über drei Studien und deren Ergebnisse.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse von experimentellen Studien, die die Auswirkungen von chronischer Bewegung auf die exekutive Funktion von Kindern untersuchen (Best, 2010, S. 334)

Autoren	n	Stichprobe	Trainingsintervention	Dauer	Tests	Ergebnisse
Tuckman und Hinkle (1986)	154	4-6. Schulstufe, gesund	Aerobes Laufprogramm	12 Wochen für 30 Minuten/Tag, 3 Tage/Woche	AUT	Verbesserung bei AUT (EF)
					BG	Keine Verbesserungen bei BG, MSP
					MSP	
Hinkle et al. (1993)	85	8. Schulstufe, gesund	Aerobes Laufprogramm	8 Wochen für 30 Minuten/Tag, 5 Tage/Woche	TTCT	Verbesserung bei TTCT (Kreativität)
Davis et al. (2007, in Presse)	163	7 - 11 Jahre, übergewichtig	Aerobe Spiele (HR > 150 BPM)	13 Wochen für 20 oder 40 Minuten/Tag, 5 Tage/Woche	CAS	Dosis-Wirkungs-Verbesserung in EF
						Keine Verbesserung bei Nicht-EF
						Verbesserung der mathematischen Gewandtheit
						Erhöhte PFC-Aktivierung (fMRI)

Hinweis: AUT = Alternate Uses Test. BG = Bender-Gestalt-Test. BPM = Schläge pro Minute. CAS = Cognitive Assessment System. EF = Exekutive Funktion. HR = Herzfrequenz. MTSP = Maze Tracing Speed Test. TTCT = Torrance Test of Creative Thinking. WJ = Woodcock-Johnson.

Davis et al. (2011) fanden in ihrer 3-monatigen Interventionsstudie mit übergewichtigen und unспортlichen Schulkindern, im Alter von 7 – 11 Jahren, übereinstimmende Beweise dafür, dass kognitive Leistung durch aerobes Training verbessert werden kann. Die Schulkinder wurden in zwei Gruppen geteilt, wobei jede Gruppe täglich ein Sportprogramm von 20 bzw. 40 Minuten absolvierte. Mit Hilfe von kognitiven Bewertungen, Leistungsmessungen und fMRT wurde die Wirkung der regelmäßigen Bewegung getestet. Auswirkungen zeigten sich insbesondere auf die exekutiven Funktionen und die mathematische Leistung. Im fMRT wurde aufgrund des Übungsprogramms erhöhte präfrontale Cortexaktivität und eine verminderte hintere parietale Cortexaktivität beobachtet. Diese Untersuchung zeigte auch einen Dosis-Wirkungs-Vorteil für die täglich 40-Minuten-Bewegungsgruppe. Bemerkenswert ist vor allem auch, dass sich die Mathematikleistung ohne speziellen akademischen Unterricht so verbesserte. Diese Verbesserungen waren auch nur für Mathematik zu beobachten, für das Lesen war dies ohne Nutzen. Davis und ihre Kolleginnen und Kollegen vermuten, „that regular vigorous physical activity promotes children’s development via effects on brain systems that underlie cognition and behavior“ (Davis et al., 2011, S. 96). Die Erklärung dürfte auch hier bei den durch die aerobe Bewegung erhöhte Menge an Wachstumshormonen (dem vom Gehirn abgeleiteten neurotrophen Faktor BDNF – siehe 2.1.3.2.) und der damit verbundenen Erhöhung der kapillaren Blutversorgung im Cortex, was zur Neuro- und Synaptogenese führt, zu finden sein.

Die Forschung deutet darauf hin, dass regelmäßige körperliche Aktivität die Exekutivfunktionen fördert. Sie schafft das, indem sie die funktionelle Konnektivität, die neuronale Effizienz und das Volumen der grauen Substanz, besonders der präfrontalen Regionen, erhöht. Es gibt auch Hinweise zu einer Erhöhung und dem Schutz der weißen Substanz durch Bewegung und Sport (Voelcker-Rehage & Niemann, 2013; in Williams et al., 2017).

Zusammenfassend kann man sagen, dass chronische Bewegungsinterventionen die Gedächtnisfunktionen und Exekutivfunktionen bei Erwachsenen und Kindern positiv beeinflussen. Wiederholte körperlichen Aktivitäten können die Art und Weise verändern, wie Menschen sich an neue Bedingungen anpassen, die ein zielgerichtetes und geplantes – also ein exekutives – Verhalten erfordern (Pesce et al., 2009).

2.4 Fragestellung

Viele Fragen wurden in den angeführten Studien und Untersuchungen beantwortet. Jedoch fand ein Großteil dieser Untersuchungen unter Laborbedingungen statt und lassen somit nur bedingt den unmittelbaren Transfer in die Praxis zu. Mit dem Wissen über die Bedeutung von exekutiven Funktionen für die Schule und das gesamte Leben, der Möglichkeit der Trainierbarkeit dieser und durch meine Beobachtungen in der praktischen Arbeit in der Schule möchte ich folgende zwei Hauptfragen mit dieser Arbeit beantworten:

- *Werden die exekutiven Funktionen der Schülerinnen und Schüler in Schulen mit mehr BSP-Unterricht besser gefördert als in Vergleichsschulen?*
- *Hat ein Unterricht in Bewegung und Sport, der speziell auf die Förderung der exekutiven Funktionen ausgerichtet ist, eine positive Wirkung auf diese?*

Viele der in dieser Arbeit angeführten Studien (z. B. Best, 2010; Chaddock et al., 2012; Etnier et al., 2009; Hillman et al., 2008) zeigen eine positive Wirkung auf die Entwicklung der Exekutivfunktionen regelmäßige Bewegung und Sport. Deshalb wird

auch in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass eine grundsätzliche Verbesserung bei allen Gruppen über die Untersuchungszeit zu beobachten ist. Da für die Aufnahme in Sportklassen ein Mindestmaß an Sportlichkeit vorausgesetzt wird und die aktuelle Forschungslage (z. B. Hillman et al., 2008; Lambourne & Tomporowski, 2010; Masley, Roetzheim & Gualtieri, 2009; Pesce et al., 2009) nahelegt, dass Kinder, die sich mehr bewegen, also fitter sind, bei Exekutivfunktionstests besser abschneiden als ihre weniger fitten Kolleginnen und Kollegen. Es wird daher davon ausgegangen, dass die Sportklassen bei dem ersten Test (t₀), vor Beginn der Intervention, bereits besser abschneiden als die Regelklassen.

Der Anspruch dieser Arbeit liegt ganz klar in der praktischen Umsetzbarkeit für die Pädagoginnen und Pädagogen. Deshalb wurde diese Untersuchung als Feldstudie durchgeführt (siehe Kapitel 3.ff)

3 Methodik

Wie bereits erwähnt wurde die Studie von MMag. Martin Leitner im Rahmen seiner geplanten, allerdings dann doch nicht geschriebenen, Dissertation durchgeführt. Für die Studie wurde ein experimentelles Design mit vier Gruppen und drei Erhebungszeitpunkten gewählt. Damit die Studie im schulischen Setting überprüfbar ist, wurde sie in Form einer Feldstudie durchgeführt. Eine der für die Studie ausgewählte Schulen, wurde von mir betreut.

Um die chronischen Auswirkungen auf die exekutiven Funktionen überprüfen zu können, wurde eine Projektdauer von 20 Unterrichtswochen festgelegt. Zu den chronischen Auswirkungen gibt es, wie in Kapitel 2.3.1.3. angeführt, noch wenige Studien (siehe Tabelle 5). Eine Zwischenerhebung fand nach 10 Wochen statt, um auch eine Aussage auch über die Entwicklung in diesem Zeitraum zu treffen. Ebenfalls umfasste diese Studie einen Elternfragebogen, der die Bewegungsaktivitäten in der Freizeit und den sozioökonomischen Hintergrund der Familien erfasste. Der jedoch in dieser Arbeit keine Berücksichtigung findet. Die Rückmeldungen der Sportpädagoginnen und Sportpädagogen sind hauptsächlich für die Weiterentwicklung der Projektidee von Bedeutung. Die aus dem Projekt gewonnen Erkenntnisse können bezüglich der Unterrichtsgestaltung und der Umsetzung der Förderung der exekutiven Funktionen im Sportunterricht auch für die Verbesserung der Unterstützungsmaterialien und von möglichen Fortbildungsveranstaltungen eingesetzt werden. Auch diese Informationen fließen nicht in diese Arbeit ein, da sie für die Beantwortung der Forschungsfragen nicht von Relevanz sind.

3.1 Durchführung und Ablauf

Die exekutiven Funktionen wurden mit Hilfe eines Design-Fluency-Tests aus der Delis-Kaplan-Testbatterie (Delis, Kaplan, & Kramer, 2001) zu vier unterschiedlichen Zeitpunkten erhoben. Die Testungen fanden Anfang Oktober 2014, Mitte Dezember 2014 und im März 2015 statt. Im Juni 2018 fand noch eine abschließende Testung statt, wobei diese Ergebnisse nicht für die Beantwortung der Forschungsfragen relevant sind

und somit in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden. Die Testungen fanden im Rahmen des Unterrichtes, jeweils am selben Wochentag und in der gleichen Unterrichtseinheit statt. Sie wurden von geschulten Testleiterinnen und Testleitern durchgeführt.

Die Elternbefragung erfolgte Anfang November 2014.

Nach Ende der Intervention wurden die Lehrerinnen und Lehrer zur Durchführung, Umsetzbarkeit und zu Wünschen im Hinblick auf die Förderung der exekutiven Funktionen in Bewegung und Sport befragt. Die Durchführung der Testung wurde sowohl mit der zuständigen Behörde (Landesschulrat für Oberösterreich) als auch mit den jeweiligen Schulleitungen besprochen. Zusätzlich wurden die Eltern über eine Mitteilung darüber informiert.

3.2 Design-Fluency-Test

Es gab mehrere Gründe, weshalb dieses Testverfahren gewählt wurde. Durch das Ziel eine möglichst große Anzahl an teilnehmenden Schulen zu gewinnen und somit viele Schülerinnen und Schüler einzubeziehen, fiel die Entscheidung einen Pencil-Paper-Test zu machen relativ früh. Vor allem, weil dieser relativ unkompliziert und zeitlich rasch in einer Schulklasse durchzuführen ist. Computerunterstützte Tests haben zwar den Vorteil einer schnelleren Auswertung, sind aber nicht an jedem Schulstandort so einfach durchzuführen. Ein anderer Grund für die Testauswahl war, dass der Design-Fluency-Test aus der Delis-Kaplan Testbatterie (Delis et al., 2001) die drei Hauptkomponenten der exekutiven Funktionen: Inhibition, Arbeitsgedächtnis und kognitive Flexibilität misst. Zusätzlich stellt er hohe Anforderungen an die visuelle Aufmerksamkeit und Wahrnehmungsfähigkeit, die Bewegungsgeschwindigkeit, die Planungsfähigkeit und das Problemlösen (Delis et al., 2001). Ein weiterer Grund für diese Testwahl war, dass dieser auch bereits bei anderen internationalen Untersuchungen verwendet wurde (z. B. Wecker, Kramer, Hallam, & Delis, 2005; Kramer J. H. et al., 2007).

3.2.1 Stichprobe

Im Rahmen der ARGE-Sitzung für die Schwerpunktschulen (Sport-Neue Mittelschulen) wurde im März 2014 die Studie vorgestellt. Von den 29 Sportschulen erklärten sich 10 bereit, bei der Studie mitzumachen. Zusätzlich meldeten sich zwei weitere (Nicht Sport-) Schulen an daran teilzunehmen. Im Herbst 2014 wurde mit 32 Klassen der 5. Schulstufe und 659 Schülerinnen und Schülern gestartet. Es handelte sich dabei um 14 Sport- und 18 Regelklassen. Die Zuteilung der Gruppen erfolgte zufällig in Versuchs- und Kontrollgruppe (vgl. Tabelle 6) und es handelte sich somit um ein quasi-experimentelles Studiendesign, auch als Group-Randomized Trial bezeichnet (Murray, Varnell, & Blitstein, 2014). Die Anmeldungen zu den Sport- oder Regelklassen fand nicht zufällig statt, da sich die Schülerinnen und Schüler selbst dafür angemeldet hatten. Von den 659 Schülerinnen und Schüler nahmen 530 an allen drei Messzeitpunkten an der Erhebung teil. Die fehlenden Werte ergeben sich dadurch, dass Schülerinnen bzw. Schüler krank waren und 2 Klassen beim zweiten und 2 weitere Klassen beim dritten Messzeitpunkt die Testung nicht durchgeführt haben. Gründe dafür waren Wintersportwochen bzw. Krankheit des jeweiligen Testleiters.

Tabelle 6: Einteilung der Klassen in Kontroll- und Versuchsgruppe

9 Kontrollgruppe Regelklasse	7 Kontrollgruppe Sportklasse	9 Versuchsgruppe Regelklasse	7 Versuchsgruppe Sportklasse
------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

Tabelle 7: Anzahl und Geschlechteraufteilung von Experimentalgruppe, Kontrollgruppe, Regel- und Sportklasse

		Geschlecht					
		männlich		weiblich		gesamt	
KG	Regelklasse	80	47,90%	87	52,10%	167	25,34%
	Sportklasse	102	69,86%	44	30,14%	146	22,15%
VG	Regelklasse	106	61,27%	67	38,73%	173	26,25%
	Sportklasse	122	70,52%	51	29,48%	173	26,25%
		410	62,22%	249	37,78%	659	100,00%

Es wurde versucht die Anzahl der Schülerinnen und Schüler möglichst gleichmäßig auf die 4 Gruppen aufzuteilen. In jeder Gruppe sind zwischen 146 und 173 Schülerinnen bzw. Schüler. Im Schuljahr 2014/15 gab es in den Sportklassen in Oberösterreich eine durchschnittliche Verteilung von 33 Prozent weiblich zu 67 Prozent männlich (D. Haugeneder (ARGE Sportschulen OÖ persönliche Kommunikation, Mai 2020). Ähnlich ergibt sich das auch bei dieser Auswahl, mit einem Anteil von rund 70% männlichen Schülern (vgl. Tabelle 7). Auch in der Regelklasse der Experimentalgruppe ist das Geschlechterverhältnis unausgewogen. Darum wird bei der Berechnung der Effekte dies auch entsprechend berücksichtigt (siehe Kapitel 3.5.).

Tabelle 8: Alter von Kontroll- und Versuchsgruppe, Regel- und Sportklasse nach Geschlecht

KG/VG	RK/VK	Geschlecht	Alter	SD
Mittelwert Kontrollgr.	Regelkl.	m	11.0	0.615
		w	10.8	0.493
	Sportkl.	m	10.8	0.425
		w	10.7	0.412
Versuchsgr.	Regelkl.	m	11.0	0.688
		w	10.7	0.543
	Sportkl.	m	10.9	0.534
		w	10.8	0.469

Das Alter ist bei den 4 Gruppen sehr ausgeglichen und der Mittelwert ist bei den Schülerinnen zwischen 10,7 und 10,8 Jahren und bei den Schülern zwischen 10,8 und 11,0 (vgl. Tabelle 8).

Von den 12 teilnehmenden Schulen sind 2 Schulen Gymnasien und 10 sind Neue Mittelschulen. Dies passt auch zu der Verteilung, dass von den 27 Schulen mit sportlichem Schwerpunkt nur 2 Gymnasien sind.

3.2.2 Testdurchführung

Die Testung fand jeweils im Klassenraum statt und wurde von ausgewählten Testleiterinnen und Testleiter durchgeführt. Diese bekamen eine genaue Anweisung für die Durchführung der Testung (siehe Anhang). Insgesamt mussten die Schülerinnen und Schüler drei unterschiedliche Testaufgaben erledigen. Diese wurden als Bedingung eins, zwei und drei bezeichnet. Vor jeder Testaufgabe bekamen die Schülerinnen und Schüler die Regeln erklärt, die Verbindung zweier Linien an einem Punkt vorgezeigt und anschließend konnten sie Fragen dazu stellen. Im Anschluss konnten drei Probefelder ausgefüllt werden und die Schülerinnen und Schüler wurden auf falsche Lösungen hingewiesen. Mit dem Kommando „Fertig? Start!“ wurde die Testdurchführung begonnen und die Probanden hatten für jede der drei Bedingungen je 60 Sekunden Zeit.

Bedingung 1 – Punkte:

Auf der Seite sind 35 Quadrate mit jeweils fünf schwarzen Punkten darin, die in jedem Quadrat gleich angeordnet sind. Die Punkte müssen mit genau vier geraden Linien verbunden werden, wobei das Muster immer ein anderes sein soll. Jede Linie muss bei einem Punkt beginnen und auch bei einem Punkt enden und jede Linie muss sich zumindest an einem Punkt mit einer anderen Linie treffen. Die Linien dürfen sich kreuzen und es ist egal, wenn die Muster nicht benannt werden können.

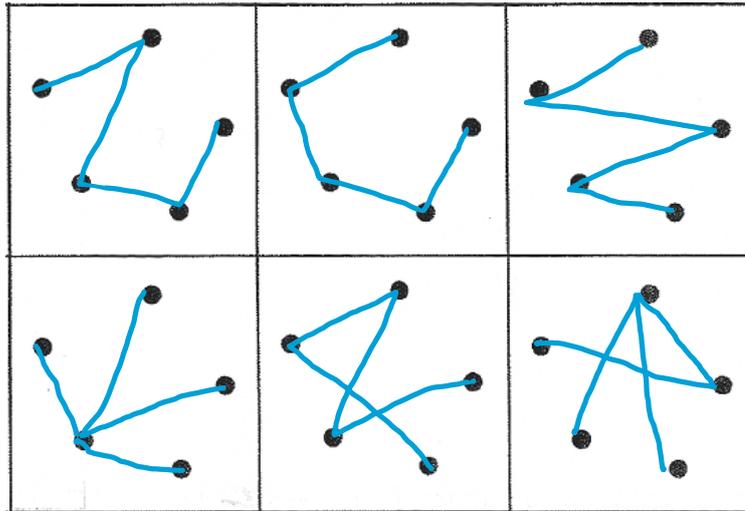


Abbildung 13: Beispiele für Lösungen unter Bedingung eins

Bedingung 2 – Kreise:

So wie bei Bedingung eins sind hier 35 Quadrate mit jeweils den gleichen Mustern vorhanden, wobei dieses Mal 5 Punkte und 5 Kreise das Muster bilden. Die Aufgabe besteht bei dieser Bedingung darin, die Kreise mit exakt vier geraden Linien zu verbinden, dabei ist zu beachten, dass keine schwarzen Punkte berührt werden und unterschiedliche Muster gezeichnet werden.

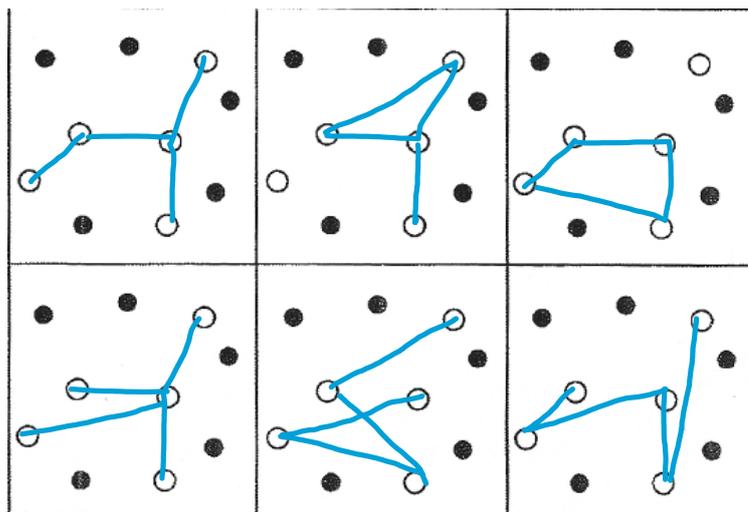


Abbildung 14: Beispiele für Lösungen unter Bedingung zwei

Bedingung 3 – Abwechseln:

Wie bei Bedingung zwei sind in den 35 Quadraten fünf Kreise und fünf Punkte. Bei Bedingung drei müssen die vier geraden Linien abwechselnd von einem Punkt zu einem Kreis gezogen werden. Die erste von den vier geraden Linien eines neuen Musters kann entweder bei einem Kreis oder bei einem Punkt beginnen. Und auch hier dürfen sich die Muster nicht wiederholen.

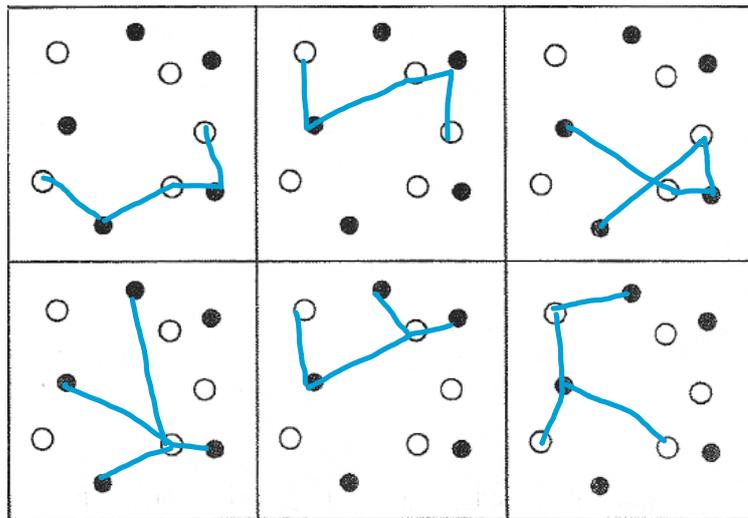


Abbildung 15: Beispiele für Lösungen unter Bedingung drei

3.2.3 Auswertung

Für die Auswertung wurden die Lösungen mit einem Code gespeichert, damit diese dann entsprechend weiterbearbeitet werden konnten. Für die Bedingung eins gab es 5 Ziffern, die eindeutig den 5 Punkten zugeordnet wurden und immer gleichblieben, und für Bedingung zwei und drei jeweils 10 Ziffern. Die Reihenfolge der Ziffern geben die Striche wieder (z. B. „12345“ oder „53214“) und wenn ein Knoten verwendet wurde, von dem mehrere Linien weggingen, so wurde dies mit einem „k“ gekennzeichnet (z.B. „1k2345“ oder „134k25“).

Falsche Lösungen wurden nach der Auswertung mit einem „f“ gekennzeichnet, wobei ein Design als fehlerhaft gilt, wenn dieses:

- mehr oder weniger als vier Linien hat,

- mindestens eine isolierte Linie hat,
- mindestens eine nicht verbundene Linie hat, die an einem Ende mit einem Punkt verbunden ist, aber nicht am anderen Ende,
- mindestens eine freie Linie, die an keinem Ende mit einem Punkt verbunden ist, hat,
- mindestens eine Linie enthält, welche eine Kurve zwischen den beiden Punkten macht, wobei der Winkel zwischen den Endpunkten weniger als 90 Grad hat,
- rein zufällig gekritzelt wurde,
- einen oder mehreren „gefüllten“ Punkt verbindet (für Bedingung 2) oder
- mindestens eine Linie hat, welche zwei Punkte oder zwei Kreise miteinander verbindet (für Bedingung 3). (Delis et al., 2001, S. 84f)

Bei Wiederholungsfehlern wurde das erste Design als richtig gewertet (wenn die Anforderungen erfüllt sind), wenn dasselbe Design, innerhalb der jeweiligen Bedingung, zweimal oder öfters gezeichnet wurde. (Delis et al., 2001, S. 85)

Die Auswertung des Design Fluency-Tests sieht vor, die Rohwerte der einzelnen Bedingungen mit Hilfe von mathematischen Formeln und Tabellen in Normwerten umzurechnen, um sie vergleichbar zu machen. Da dies für die Beantwortung der Forschungsfragen und Hypothesen nicht notwendig ist und vor allem, weil die Gruppen der Schülerinnen und Schüler über den Untersuchungszeitraum nur mit miteinander und die Schülerinnen und Schüler mit sich selber verglichen werden, wurde dies in dieser Arbeit nicht gemacht.

Der Hauptwert der Messung ist der „*Design Fluency: Total Correct measure*“ (Delis et al., 2001, 85). Hier wird er als Exekutive Funktionen Gesamt (EFG) bezeichnet. Hierfür werden die Werte bei jedem der drei Bedingungen addiert (Delis et al., 2001, S. 85). Des Weiteren werden bei der Ergebnisdarstellung auch die Werte von Bedingung eins (Bed1), zwei (Bed2) und drei (Bed3) und die Korrektheit (EFK) dargestellt. Für die *Korrektheit*, bei der die richtigen Lösungen im Verhältnis der versuchten Lösungen angegeben werden, erfolgte eine Division und die Werte sind in Prozent angegeben (Delis et al., 2001). Es gibt schließlich eine zusammengesetzte Wertung, die ebenfalls

aus den Grundwerten berechnet werden. Dabei werden für den ersten Wert, der in der Folge mit EF12 abgekürzt wird, die richtigen Lösungen von Bedingung eins und zwei addiert und somit kann abgeschätzt werden, wie gut jemand Lösungen findet, ohne die Umschaltanforderung von Bedingung drei mit dabei zu haben (Delis et al., 2001, S. 86f).

Zur Beurteilung der Veränderung der *exekutiven Funktionen* bei den unterschiedlichen Gruppen wird der Wert von EFG herangezogen und die Werte bei den 3 Bedingungen als auch die Korrektheit bei der Ausführung. Für Aussagen zum Thema *Arbeitsgedächtnis* werden vor allem das Gesamtergebnis (EFG) und die Korrektheit verwendet. Für die Beurteilung der *Inhibition* wird vor allem die Entwicklung bei Bedingung 2 und die Entwicklung bei Bedingung zwei im Verhältnis zu Bedingung 1 herangezogen. Für das Abschätzen von Veränderungen bei der *kognitiven Flexibilität* werden neben EFG vor allem die Entwicklung von Bedingung drei herangezogen.

3.2.4 Unterstützungsmaterialien für Bewegung und Sport

Es gab mit allen Pädagoginnen und Pädagogen in den Experimentalgruppen eine einstündige Besprechung, in der die Grundidee der Studie, der theoretische Hintergrund und das Unterstützungsmaterial für den Unterricht besprochen wurden. Jede teilnehmende Schule erhielt für das Konferenzzimmer einen Ordner mit dem Handbuch zur Förderung der exekutiven Funktionen von Wolfgang Stöglehner (2012b; 2012c), die Artikel von Kubesch, Emrich und Beck (2011a; 2011b; 2011c) und die Spielesammlung von Kleindienst-Cachay & Schulz (2011). So konnten die Lehrerinnen und Lehrer die Grundlagen zur Förderung der exekutiven Funktionen nachlesen und hatten Zugang zu vielen Unterrichtselementen, die für den Einsatz in einer fünften Schulstufe geeignet sind. Alle Lehrerinnen und Lehrer der Experimentalgruppe erhielten diese Unterlagen auch zusätzlich in elektronischer Form als PDF-Dateien übermittelt. Die Internetadresse der Stiftung „Sport in der Schule in Baden-Württemberg“ wurde den Lehrerinnen und Lehrern ebenfalls elektronisch zur Verfügung gestellt. Diese Stiftung hat dort Hintergrundinformationen zu den Exekutivfunktionen und viele Beispiele für den Sportunterricht unter dem Namen „Fit für Lernen und Leben“ zusammengestellt (<https://fit-lernen-leben.ssids.de/wbt-sport-selbstregulation/praxis/introtext>). Diese

Internetadresse sollte für den Unterricht in Bewegung und Sport als Unterstützung dienen.

Hier nun ein paar ausgewählte Beispiele, die den Lehrerinnen und Lehrern zur Verfügung gestellt wurden:

- **„Spiele und Übungen im aeroben Belastungsbereich“:**

Herrchen und Hund

Die Kinder gehen paarweise zusammen. Ein Kind ist das Herrchen und eines der Hund. Das Herrchen läuft beliebig in der Halle und der Hund versucht an der rechten Seite des Herrchens zu bleiben.

- **„Spiele und Übungen im anaeroben Belastungsbereich“:**

Risikolauf

Es werden mehrere Gruppen gebildet, die hinter verschiedenen Markierungshütchen starten. Im selben Abstand sind vor allen Startmarkierungen 4 bis 6 weitere Markierungshütchen im Abstand von einem Meter aufgestellt. Es startet pro Durchgang immer ein Läufer pro Gruppe. Die Lehrperson gibt vor jedem Durchgang eine Zeit vor, z. B. 8 Sekunden, 15 Sekunden, etc. Die Aufgabe der Läufer ist es innerhalb der angegebenen Zeit ein Hütchen vor der Startmarkierung zu berühren und wieder zum Start zurückzukehren. Für das nächste Hütchen gibt es einen Punkt, für das zweitnächste zwei, usw. Die Lehrperson pfeift, wenn die Zeit um ist. Kommt man nach dem Pfiff zum Start zurück, gibt es keine Punkte. Welche Gruppe hat nach einer bestimmten Wiederholungszahl die meisten Punkte?

- **„Kombiniert kognitiv-physische Spiele und Übungen“:**

Heiße Reifen

Es werden zwei Mannschaften gebildet und Reifen in einem Spielfeld ausgelegt. Dabei gibt es etwa 2 bis 3 Reifen mehr als Mannschaftsmitglieder. Eine Mannschaft verteidigt und eine greift an. Nach einer bestimmten Zeit wird gewechselt. Ziel der angreifenden Mannschaft ist es Punkte zu bekommen, indem ein Ball in der Mannschaft zugespielt und in einen Reifen gelegt wird, der nicht besetzt ist. Die verteidigende Mannschaft kann Reifen besetzen, indem sie einen Fuß in die Reifen stellt. Dieses Spiel

schult die kognitive Flexibilität in dem sich die Spielsituation durch das Besetzen von Reifen sehr schnell ändern kann.

- **„Koordinative Spiele und Übungen“:**

Reboundball

Einige Kinder stehen in einer Reihe in kurzem Abstand vor dem Basketballkorb. Der/die Vorderste in der Reihe hat den Ball und wirft ihn gegen das Brett und stellt sich hinten an. Der/die Nächste in der Reihe versucht inzwischen den Ball in der Luft zu fangen und ihn in der Luft auch wieder gegen das Brett zu spielen. Anschließend stellt er/sie sich hinten an und der/die Nächste fängt den Ball wieder in der Luft usw.

3.3 Statistische Analyse

Die statistische Analyse wurde mit Jamovi (Version 1.6.23.0), einem open-source-Statistikprogramm, durchgeführt. Neben der deskriptiven Statistik für alle drei Erhebungen wurden auch weitere statistische Verfahren zur Überprüfung der Forschungsfragen und Hypothesen verwendet.

Das gewählte Längsschnittdesign mit Dreifachmessung der abhängigen Variable erfordert auf analytischer Ebene die Durchführung einer Varianzanalyse mit Messwiederholung (Repeated Measures ANOVA). Die Innersubjektvariablen sind die unterschiedlichen Erfassungsmerkmale des Design-Fluency-Tests zu den drei Messzeitpunkten. Die Gruppen werden sowohl in die Kontroll- und Versuchsgruppe als auch in die Regel- und Sportklasse unterteilt. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung wurde für den Gesamtwert des Design Fluency-Tests (exekutive Funktionen Gesamtwert, EFG) durchgeführt.

Durch die Größe der Stichprobe, die wesentlich über 30 ist, kann aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes auf die Normalverteilungsprüfung verzichtet werden, da man bei $n = 30$ davon ausgeht, „dass die Stichprobenverteilung des Mittelwerts etwa normalverteilt sein wird“ (Hemmerich, 2016). Es werden sowohl die Freiheitsgrade (df) der F-Wert (F) und die Irrtumswahrscheinlichkeit (p) angegeben.

Die bei der Varianzanalyse mit Messwiederholung aufgedeckten Wechselwirkungen zwischen Gruppenzugehörigkeit und Messzeitpunkt werden

ebenfalls mit dem F-Wert (F), den Freiheitsgraden (df) und der Irrtumswahrscheinlichkeit (p) angegeben. Bei der Darstellung der Ergebnisse wird ein zweistufiges Signifikanzniveau mit 5 Prozent (signifikant) und mit 1 Prozent (hoch signifikant) verwendet (Bortz & Döring, 2006).

4 Ergebnisse

Zu Beginn werden die Gesamtergebnisse des Design-Fluency-Tests aller Gruppen dargestellt. Danach folgen die Auswertungen der einzelnen Bedingungen und die Analyse der zusammengesetzten Werte aus Bedingung 1 und 2. Den Abschluss bildet die Analyse der Korrektheit der bearbeiteten Designs. Auch hier wird wieder nach Regel- und Sportklasse bzw. nach Kontroll- und Versuchsgruppe unterschieden. Bei einer Verletzung der Voraussetzung der Sphärizität, wurde eine Greenhouse-Geisser Korrektur der Freiheitsgrade mit vorgenommen. Für alle Post-Hoc-test wurde der Scheffe-Test verwendet.

4.1 Design-Fluency-Test (DFT)

Neben der Darstellung der Werte in Tabellenform, werden auch Plotdiagramme verwendet. Bei den Auswertungen werden nur die Daten jener 530 Schülerinnen und Schülern verwendet, die an allen Erhebungen zu den drei Testzeitpunkten teilgenommen haben. Hierzu finden sich in der Tabelle 9 eine Übersicht aller Schülerinnen und Schülern der unterschiedlichen Gruppen. Die Gruppe der Regelklassen besteht aus 287 und die Gruppe der Sportklassen aus 243 Schülerinnen und Schülern. Die Kontrollgruppe ist mit 231 und die Versuchsgruppe mit 307 Kindern besetzt. Neben den deskriptiven Analysen werden die Zusammenhänge und Veränderungen der Testergebnisse in den jeweiligen Gruppen mittels Varianzanalyse beschrieben.

Tabelle 9: Übersicht aller Schülerinnen und Schülern in den unterschiedlichen Gruppen, die an allen drei Testzeitpunkten teilgenommen haben.

RK/SK	KG/VG	t0	t1	t2
Regelklasse	Kontrollgruppe	122	122	122
	Versuchsgruppe	165	165	165
Sportklasse	Kontrollgruppe	101	101	101
	Versuchsgruppe	142	142	142

4.1.1 Gesamtergebnisse

Die Ergebnisse beziehen sich auf jene 530 Schülerinnen und Schüler, die zu allen 3 Testzeitpunkten mit dabei waren. Jede einzelne Gruppe verbessert sich über den Untersuchungszeitraum. Die Regelklassen in der Kontrollgruppe steigern sich von durchschnittlich 23,8 auf 33,6 und in der Versuchsgruppe von 23,3 auf 34,7 richtig gelöste Designs. Die Sportklassen in der Kontrollgruppe startet im Mittel mit 24,9 (einem durchschnittlich höheren Wert als die Regelklassen) und steigern sich auf 36,4. Die Sportklassen in der Versuchsgruppe starten auf etwa Regelklassenniveau bei 23,5 und steigern sich auf 37,5 richtig gelöste Designs (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Entwicklung der exekutiven Funktionen Gesamt (EFG) für alle Gruppen

	RK/SK	KG/VG	t0	t1	t2
Mittelwert	Regelkl.	Kontrollgr.	23.8	29.5	33.6
		Versuchsgr.	23.3	29.3	34.7
	Sportkl.	Kontrollgr.	24.9	32.6	36.4
		Versuchsgr.	23.5	31.5	37.5
Standardabweichung	Regelklasse	Kontrollgr.	6.15	8.27	9.64
		Versuchsgr.	5.82	7.78	9.46
	Sportklasse	Kontrollgr.	5.68	8.68	8.13
		Versuchsgr.	7.00	9.44	10.3

Wie in der Tabelle 10 zu sehen, können sich alle Gruppen über den gesamten Untersuchungsverlauf bei der Gesamtanzahl der richtig gelösten Designs steigern (vgl. Abbildung 16).

Messwiederholungseffekte:

Es tritt ein hoch signifikanten Haupteffekt ZEIT auf ($F(1.95, 1026.77) = 499,48$, $p < .001$, $\eta^2 = .487$). Die Post Hoc Analyse ergibt, dass sich alle Gruppen über die Zeit hoch

signifikant verbessern $t_0 - t_1$ ($t(1052) = -18.4, p < .001$), $t_1 - t_2$ ($t(1052) = -13.0, p < .001$), $t_0 - t_2$ ($t(1052) = -31.5, p < .001$) (vgl. Tabelle A 3 im Anhang). Die Sportklassen starten auf einem ähnlichen Niveau wie die Regelklassen (RK: 23,5; SK: 24,1). Bis zum Testzeitpunkt t_1 verbessern sie sich besser als die Regelklassen (RK: 29,4, SK: 31,9) und können den Unterschied zu t_2 noch leicht vergrößern (RK: 34,2 SK: 37,0). Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt eine signifikante Interaktion zwischen ZEIT und KLASSE ($F(1.95, 1026.77) = 5.202, p = .006$, partielles $\eta^2 = .01$). Der Post Hoc Test zeigt, dass sich die Regel- und Sportklassen nicht signifikant zum Testzeitpunkt t_0 ($t(1090) = -0.89, p = .977$), jedoch signifikant zu t_1 ($t(1090) = -3.67, p = .020$) und t_2 ($t(1090) = -3.84, p = .012$) (siehe Abbildung 16, vgl. Tabelle A 4 im Anhang) unterscheiden.

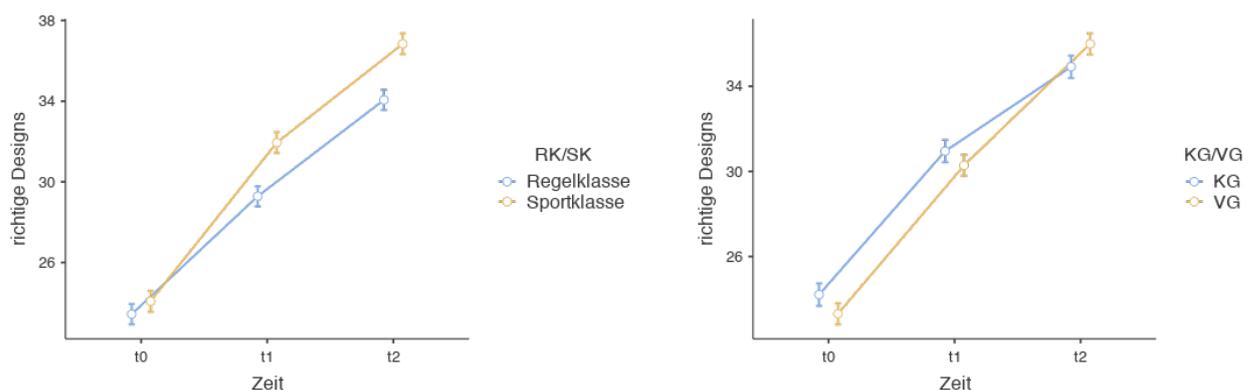


Abbildung 16: Entwicklung der Gesamtergebnisse (Anzahl der richtigen Designs) zu den drei Testzeitpunkten für die Regel- und Sportklassen bzw. der Kontroll- und Versuchsgruppe

Die Versuchsgruppe liegt zu Untersuchungsbeginn (t_0) etwas hinter der Kontrollgruppe zurück (KG: 24,3; VG: 23,4), verkürzt den Abstand bis zu t_1 (KG: 30,9; VG: 30,3) und überholt die Kontrollgruppe zu t_2 (KG: 34,9; VG: 36,0). Es zeigt sich eine signifikante Interaktion zwischen ZEIT und GRUPPE ($F(1.95, 1026.77) = 5.20, p = .016$, $\eta^2 = .008$). Die Post Hoc Analyse zeigt keine signifikanten Unterschiede zu den drei relevanten Testzeitpunkten: t_0 ($t(1090) = 1.24, p = .907$), t_1 ($t(1090) = -0.92, p = .974$), t_2 ($t(1090) = -1.48, p = .820$) (siehe Abbildung 16, vgl. Tabelle A 5 im Anhang). Die dreifach-Interaktion

aus ZEIT * GRUPPE * KLASSE ($F(1.95, 1026.77) = 0.23, p = .787, \text{partielles } \eta^2 = .000$) ist nicht signifikant (vgl. Tabelle A 1 im Anhang).

Zwischensubjekteffekte:

Die Homogenität der Fehlervarianzen zwischen den Gruppen ist gemäß dem Levene-Test für alle Variablen erfüllt ($p > .05$). Der Unterschied in der Anzahl der insgesamt richtig gelösten Aufgaben zwischen der Kontroll- und der Versuchsgruppe liegt zu Gunsten der Kontrollgruppe bei ca. 0,17 Punkten. Somit gibt es keinen statistisch signifikanten Effekt zwischen den beiden Gruppen, $F(1, 526) = 0,08, p < .778, \text{partielles } \eta^2 = .000$ (vgl. Tabelle A 2 im Anhang). Die Sportklassen lösen über den gesamten Untersuchungszeitraum im Durchschnitt rund 2 Aufgaben mehr als die Regelklassen. Es tritt ein hoch signifikanter Haupteffekt zwischen den Regel- und Sportklassen auf, was für einen hoch signifikanten Unterschied zwischen den Klassentypen spricht, $F(1, 526) = 12,09, p < .001, \text{partielles } \eta^2 = .022$ (siehe Abbildung 17, vgl. Tabelle A 2 und Tabelle A 6 im Anhang).

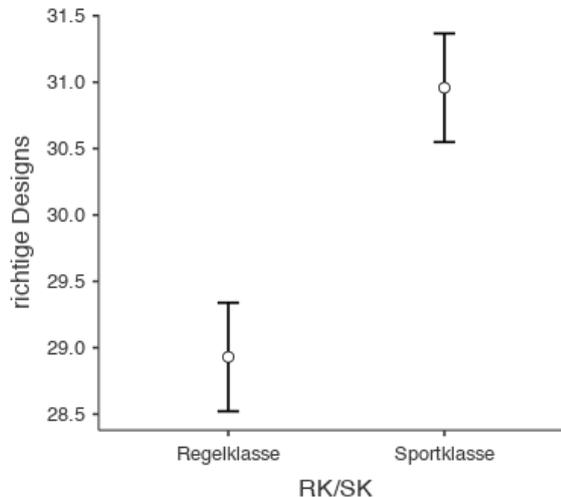


Abbildung 17: Durchschnittliche Anzahl aller richtig gelösten Designs über die drei Testzeitpunkte für die Regel- und Sportklassen

Es tritt keine signifikante Interaktion der Zwischensubjekteffekte zwischen GRUPPE und KLASSE auf ($F(1, 526) = 0.27, p = .606, \text{partielles } \eta^2 = .001$, vgl. Tabelle A 2 im Anhang).

4.1.2 Bedingung 1, Bedingung 2, Bedingung 3

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Bedingungen zu den drei Testzeitpunkten analysiert.

4.1.2.1 Bedingung 1

Genauso wie bei den Gesamtergebnissen verbessert sich auch bei Bedingung 1 jede Gruppe über den Untersuchungszeitraum. Die Regelklassen in der Kontrollgruppe starten bei durchschnittlich 7,94 und verbessert sich auf 11,9 und in der Versuchsgruppe von 8,18 auf 12,4 richtig gelöste Designs. Die Sportklassen in der Kontrollgruppe hat zum Testzeitpunkt t0 im Mittel 8,54 (einem durchschnittlich höheren Wert als die Regelklassen) und steigerten sich auf 13,7. Die Sportklassen in der Versuchsgruppe starten bei 8,16 und steigern sich auf 13,3 richtig gelöste Designs (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Entwicklung von Bedingung 1 bei allen vier Gruppen

	KG/VG	RK/SK	Bed1; t0	Bed1; t1	Bed1; t2
Mittelwert	Kontrollgr.	Regelkl.	7.94	10.4	11.9
		Sportkl.	8.54	11.9	13.7
	Versuchsgr.	Regelkl.	8.18	10.9	12.4
		Sportkl.	8.16	11.1	13.3
Standardabweichung	Kontrollgr.	Regelkl.	2.35	3.72	4.24
		Sportkl.	2.79	3.83	3.50
	Versuchsgr.	Regelkl.	2.72	3.21	4.44
		Sportkl.	3.16	4.18	4.60

Messwiederholungseffekte:

Auch hier ergibt die Varianzanalyse mit Messwiederholung einen hoch signifikanten Haupteffekt ZEIT ($F(1.95, 1027.67) = 345.85, p < .001, \text{partielles } \eta^2 = .397$). Die Post Hoc Analyse zeigt eine hoch signifikante Verbesserung aller Gruppen über die Zeit: t0 - t1

($t(1052) = -16.09, p < .001$), $t_1 - t_2$ ($t(1052) = -9.97, p < .001$), $t_0 - t_2$ ($t(1052) = -26.06, p < .001$) (siehe Abbildung 18, vgl. Tabelle A 9 im Anhang). Bei Bedingung 1 verbessert sich die Kontrollgruppe über den gesamten Untersuchungsverlauf um durchschnittlich 4,52 und die Versuchsgruppe um 4,69 richtig gelöste Designs. Die ZEIT * GRUPPE -Interaktion ($F(1.95, 1027.67) = 0.20, p = .814, \text{partielles } \eta^2 = .000$) ist nicht signifikant (siehe Abbildung A 1 und Tabelle A 7 im Anhang).

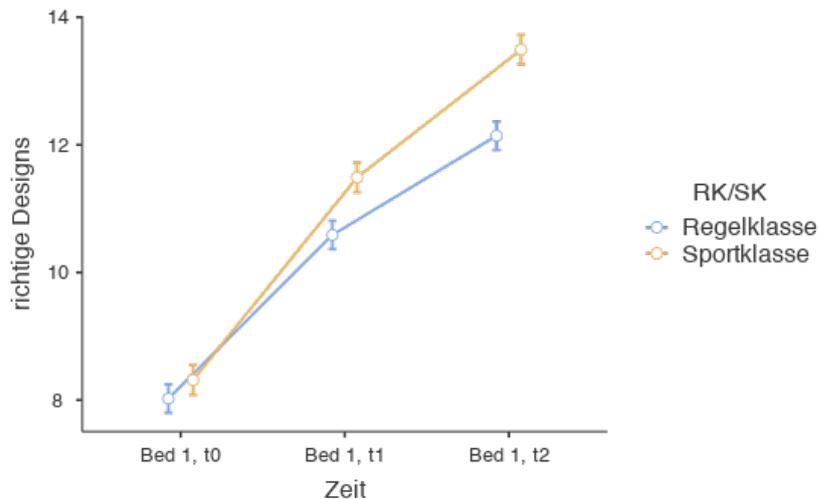


Abbildung 18: Entwicklung von Bedingung 1 bei Regel- und Sportklassen

Die Regelklassen starten bei Bedingung 1 zum Testzeitpunkt t_0 mit durchschnittlich 8,08 richtig gelösten Designs und steigern sich dann von 10,66 bei t_1 auf 12,22 bei t_2 . Die Sportklassen beginnen bei t_0 knapp vor den Regelklassen mit 8,32 und verbessern sich bei den nächsten beiden Testzeitpunkten auf 11,46 bei t_1 und 13,50 richtigen Lösungen bei t_2 . Die Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt eine signifikante Interaktion zwischen ZEIT und KLASSE ($F(1.95, 1027.67) = 4.44, p = .013, \text{partielles } \eta^2 = .008$). Der Post Hoc Test zeigt, dass sich die Regel- und Sportklassen nicht signifikant zum Testzeitpunkt t_0 ($t(1052) = -0.90, p = .976$) und t_1 ($t(1052) = -2.8, p = .166$), aber signifikant zum Testzeitpunkt t_2 ($t(1052) = -4.19, p = .004$) unterscheiden (siehe Abbildung 19, vgl. Tabelle A 10 im Anhang). Die dreifach Interaktion aus ZEIT * GRUPPE * KLASSE ($F(1.95, 1027.67) = 0.41, p = .657, \text{partielles } \eta^2 = .001$) ist nicht signifikant (siehe Tabelle A 7 im Anhang).

Zwischensubjekteffekte:

Gemäß dem Levene-Test ist die Homogenität der Fehlervarianzen zwischen den Gruppen für alle Variablen erfüllt ($p > .05$). Vergleicht man die Gesamtergebnisse der Gruppen über die gesamte Zeit, stellt man fest, dass die Kontrollgruppe im Durchschnitt etwas mehr Designs bei Bedingung 1 richtig gelöst hat als die Versuchsgruppe, es aber keinen signifikanten Haupteffekt der Kontroll- und Versuchsgruppe gibt, $F(1, 526) = 0.04$, $p < .835$, partielles $\eta^2 = .000$ (vgl. Tabelle A 8 im Anhang). Anders ist es bei der Analyse der Zwischensubjekteffekte der Regel- und Sportklassen. Hier lösen die Sportklassen im Durchschnitt 0,85 Aufgaben mehr als die Regelklassen. Es tritt ein hoch signifikanter Haupteffekt zwischen den Regel- und Sportklassen auf, $F(1, 526) = 11.72$, $p < .001$, partielles $\eta^2 = .022$ (siehe Abbildung 19, vgl. Tabelle A 8 und Tabelle A 11 im Anhang).

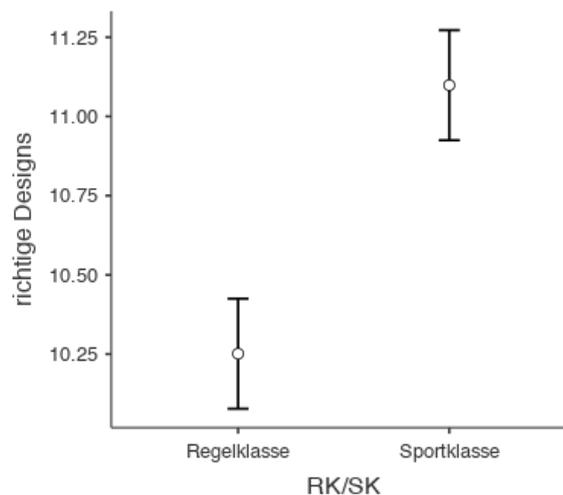


Abbildung 19: Boxplot der Summe aller richtigen Designs bei Bedingung 1 bei Regel- und Sportklassen

Die GRUPPE * KLASSE Interaktion ($F(1, 526) = 3.55$, $p = .060$, partielles $\eta^2 = .0087$) ist nicht signifikant (vgl. Tabelle A 8 im Anhang).

4.1.2.2 Bedingung 2

Wie in Tabelle 12 zu sehen, steigern sich die Regelklassen in der Kontrollgruppe von durchschnittlich 8,98 auf 13,3 und in der Versuchsgruppe von ebenfalls 8,98 auf 14,0 richtig gelöste Designs. Die Sportklassen in der Kontrollgruppe haben zum Testzeitpunkt t_0 im Mittel 9,75 und steigern sich auf 14,3. Die Sportklassen in der Versuchsgruppe

starten auf Regelklassenniveau bei 8,99 und steigern sich auf 15,0 richtig gelöste Designs.

Tabelle 12: Entwicklung von Bedingung 2 bei allen vier Gruppen

	KG/VG	RK/SK	Bed2; t0	Bed2; t1	Bed2;t2
Mittelwert	Kontrollgr.	Regelkl.	8.98	11.4	13.3
		Sportkl.	9.75	12.9	14.3
	Versuchsgr.	Regelkl.	8.98	11.4	14.0
		Sportkl.	8.99	12.5	15.0
Standardabweichung	Kontrollgr.	Regelkl.	2.98	3.85	4.61
		Sportkl.	2.53	4.38	3.75
	Versuchsgr.	Regelkl.	2.59	3.80	4.36
		Sportkl.	2.95	4.23	5.04

Messwiederholungseffekte:

Bei Bedingung 2 ist auch eine Verbesserung aller Gruppen über den Untersuchungszeitraum zu sehen. So ergibt sich ein hoch signifikanter Haupteffekt Zeit bei der Varianzanalyse mit Messwiederholung ($F(1.95, 1023.31) = 333.14, p < .001$, partielles $\eta^2 = .388$). Somit ergibt auch die Post Hoc Analyse eine hoch signifikante Verbesserung aller Gruppen über die Zeit: $t_0 - t_1$ ($t(1052) = -14.9, p < .001$), $t_1 - t_2$ ($t(1052) = -10.8, p < .001$), $t_0 - t_2$ ($t(1052) = -25.7, p < .001$) (vgl. Tabelle A 14 im Anhang). Bei Bedingung 2 hat sich die Versuchsgruppe (vor allem von Testzeitpunkt t_1 auf t_2) besser entwickelt als die Kontrollgruppe. Sie konnte sich um durchschnittlich 5,52 im Vergleich zu 4,38 richtig gelöste Aufgaben steigern.

Weiters zeigt sich eine signifikante Interaktion ($F(1.95, 1023.31) = 5.36, p = .005$, partielles $\eta^2 = .010$) zwischen ZEIT und GRUPPE (siehe Abbildung 20, vgl. Tabelle A 12 im Anhang). Der Post Hoc Test zeigt allerdings keine relevanten signifikanten Unterschiede

zwischen den beiden Gruppen (vgl. Tabelle A 15 im Anhang) zu einem der drei Testzeitpunkte: t0 ($t(1267) = 1.12, p = .940$), t1 ($t(1267) = 0.72, p = .991$) und t2 ($t(1267) = -2.29, p = .386$).

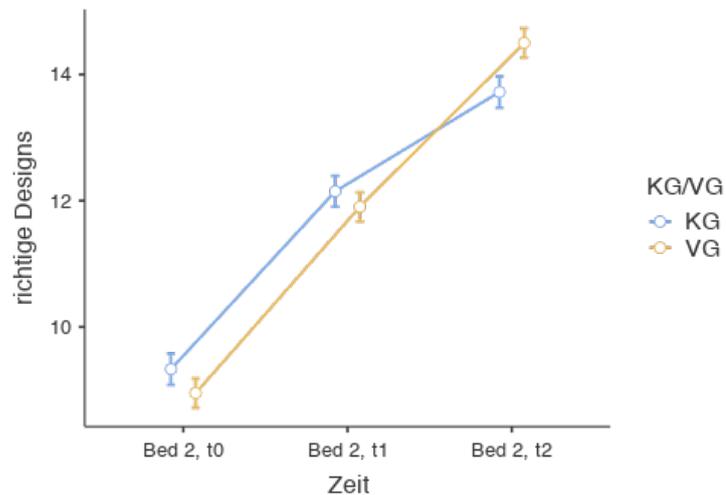


Abbildung 20: Entwicklung von Bedingung 2 bei Kontroll- und Versuchsgruppe

Die Regelklassen verbessern sich bei Bedingung 2 gleichmäßig von 8,98 (t0) auf 11,42 (t1) und 13,69 (t2). Die Entwicklung der Sportklassen zeigt mit der Steigerung von 9,31 (t0) auf 12,66 (t1) zu Beginn eine bessere Entwicklung als die Regelklassen. Im zweiten Abschnitt verläuft die Verbesserung ähnlich den Regelklassen und so erreichen die Sportklassen bei t2 14,72 richtig gelöste Designs. Die ZEIT * KLASSE-Interaktion ($F(1.95, 1023.31) = 2.72, p = .068, \text{partielles } \eta^2 = .005$) ist nicht signifikant (siehe Abbildung 21, vgl. Tabelle A 12 im Anhang).

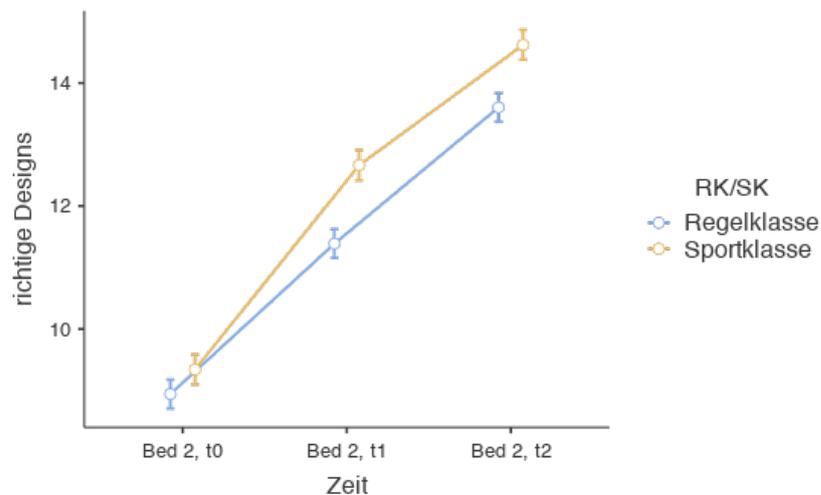


Abbildung 21: Entwicklung von Bedingung 2 bei Regel- und Sportklassen

Auch die 3-fach Wechselwirkung ZEIT * GRUPPE * KLASSE ist nicht signifikant ($F(1.95, 1023.31) = 0.52, p = .590$, partielles $\eta^2 = .001$, vgl. Tabelle A 12 im Anhang).

Zwischensubjekteffekte:

Der Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen zwischen den Gruppen mittels Levene-Test ist für alle Variablen erfüllt ($p > .05$). Bei der Analyse der Zwischensubjekteffekten der Kontroll- und Versuchsgruppe gibt es keinen signifikanten Haupteffekt, $F(1, 526) = 0.04, p < .842$, partielles $\eta^2 = .000$, da beide Gruppen annähernd gleich viele Designs richtig lösen (vgl. Tabelle A 13 im Anhang).

Auch bei Bedingung 2 lösen die Sportklassen durchschnittlich mehr Aufgaben als die Regelklassen. Somit tritt auch hier ein hoch signifikanter Haupteffekt zwischen den Regel- und Sportklassen auf, $F(1, 526) = 12.31, p < .001$, partielles $\eta^2 = .023$ (vgl. Tabelle A 13 und Tabelle A 16 im Anhang). Die Wechselwirkung aus GRUPPE * KLASSE ($F(1, 526) = 0.55, p = .458$, partielles $\eta^2 = .001$) ist nicht signifikant (vgl. Tabelle A 13 im Anhang).

4.1.2.3 Bedingung 3

Bei Bedingung 3 steigert sich die Regelklassen in der Kontrollgruppe von durchschnittlich 6,84 und verbessern sich auf 8,44 und in der Versuchsgruppe von 6,16 auf 8,24 richtig gelöste Designs. Die Sportklassen in der Kontrollgruppe haben zum

Testzeitpunkt t0 im Mittel 6,56 und steigern sich auf 8,43. Die Sportklassen in der Versuchsgruppe starten bei 6,35 und steigern sich auf 9,08 richtig gelöste Designs (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Entwicklung von Bedingung 3 bei allen vier Gruppen

	KG/VG	RK/SK	Bed3;t0	Bed3;t1	Bed3;t2
Mittelwert	Kontrollgr.	Regelkl.	6.84	7.67	8.44
		Sportkl.	6.56	7.75	8.43
	Versuchsgr.	Regelkl.	6.16	7.01	8.24
		Sportkl.	6.35	7.88	9.08
Standardabweichung	Kontrollgr.	Regelkl.	2.52	2.89	2.85
		Sportkl.	2.58	3.46	3.53
	Versuchsgr.	Regelkl.	2.52	2.78	2.93
		Sportkl.	2.48	2.98	3.03

Messwiederholungseffekte:

Auch bei der letzten Bedingung - Bedingung 3 - ist eine deutliche Verbesserung aller Gruppen über die Zeit zu sehen. Die Post Hoc Analyse ergibt, dass sich alle Gruppen über die Zeit hoch signifikant verbessern: t0 - t1 ($t(1052) = -7.41, p < .001$), t1 - t2 ($t(1052) = -6.55, p < .001$), t0 - t2 ($t(1052) = -13.96, p < .001$) (vgl. Tabelle A 19 im Anhang). Nachdem sich die Kontroll- und Versuchsgruppe von t0 nach t1 ähnlich entwickeln (KG: + 0,99; VG: + 1,16), verbessert sich, wie bei Bedingung 2, auch hier die Versuchsgruppe vor allem von Testzeitpunkt t1 auf t2 mehr als die Kontrollgruppe (KG: + 0,72; VG: + 1,22). Der Unterschied wird jedoch nie statistisch signifikant (siehe Abbildung 22, vgl. Tabelle A 17 im Anhang) zwischen ZEIT und GRUPPE ($F(2, 1052) = 2.79, p = .062$, partielles $\eta^2 = .005$).

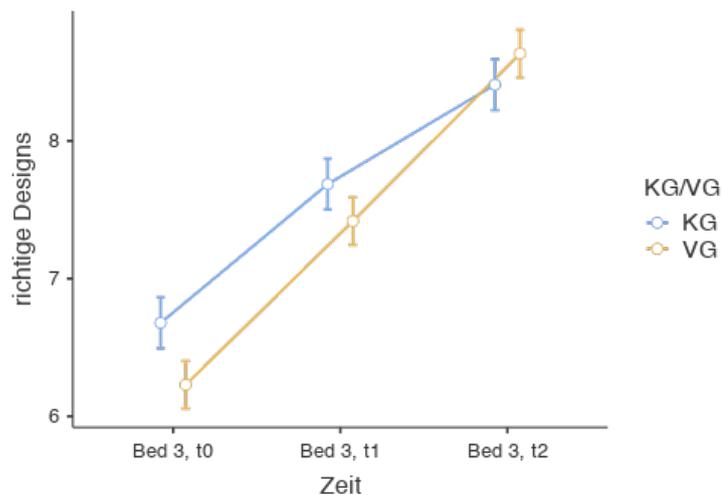


Abbildung 22: Entwicklung von Bedingung 3 bei Kontroll- und Versuchsgruppe

Die Sportklassen entwickeln sich von t0 nach t1 besser als die Regelklassen. Danach entwickeln sich beide Gruppen ähnlich und die Unterschiede werden nie signifikant: RK: 6,45 (t0), 7,29 (t1), 8,32 (t2); SK: 6,44 (t0), 7,83 (t1), 8,81 (t2). Die ZEIT * KLASSE -Interaktion ($F(2, 1052) = 1.84, p = .159, \text{partielles } \eta^2 = .003$) ist nicht signifikant (siehe Abbildung 23, vgl. Tabelle A 17 im Anhang).

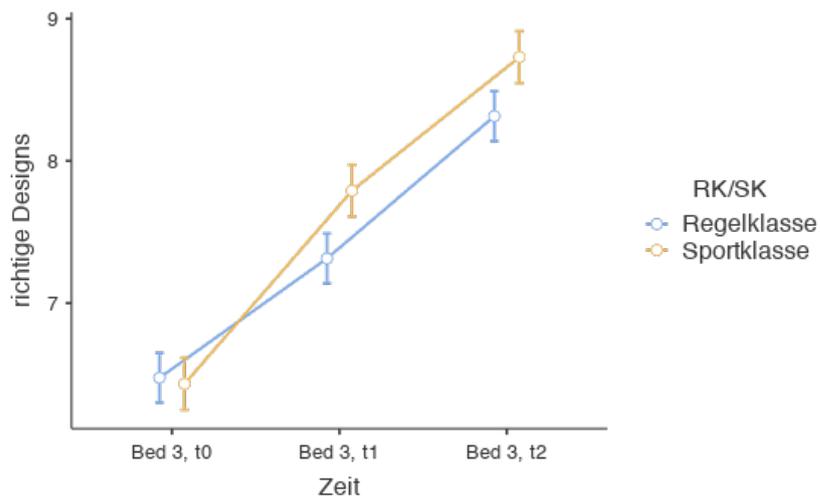


Abbildung 23: Entwicklung von Bedingung 3 bei Regel- und Sportklassen

Auch die Wechselwirkung aus ZEIT * GRUPPE * KLASSE ($F(2, 1052) = 0.25, p = .781, \text{partielles } \eta^2 = .000$) ist nicht signifikant (vgl. Tabelle A 17 im Anhang).

Zwischensubjekteffekte:

Bei der Durchführung des Levene-Tests zeigt sich auch hier eine Homogenität der Fehlervarianzen zwischen den Gruppen für alle Variablen ($p > .05$). Insgesamt löst die Kontrollgruppe mehr Aufgaben richtig als die Versuchsgruppe. Bei der Analyse der Zwischensubjekteffekten der beiden Gruppen Kontroll- und Versuchsgruppe gibt es keinen signifikanten Haupteffekt, $F(1, 526) = 0.77$, $p < .381$, partielles $\eta^2 = .001$ (vgl. Tabelle A 18 im Anhang). Die Sportklassen lösen während des gesamten Untersuchungszeitraumes mehr Aufgaben korrekt, als die Regelklassen, ohne statistisch signifikant zu werden. Zwischen den beiden Klassen Regel- und Sportklasse tritt kein signifikanter Haupteffekt auf, $F(1, 526) = 2.29$, $p < .130$, partielles $\eta^2 = .004$ (vgl. Tabelle A 18 im Anhang). Ebenso ist die GRUPPE * KLASSE Interaktion ($F(1, 526) = 3.61$, $p = .058$, partielles $\eta^2 = .007$) nicht signifikant (vgl. Tabelle A 18 im Anhang).

4.1.3 EF12

Für diese Auswertung werden die richtigen Lösungen von Bedingung eins und zwei addiert. Wie die Tabelle 14 zeigt, steigern sich alle Gruppen über den Untersuchungszeitraum in der Summe der richtigen gelösten Designs von Bedingung 1 und 2.

Tabelle 14: Übersicht über die Entwicklung von EF12 bei allen Gruppen

	KG/VG	RK/SK	EF12_t 0	EF12_t 1	EF12_t 2
Mittelwert	Kontrollgr.	Regelkl.	16.9	21.8	25.2
		Sportkl.	18.3	24.8	28.0
	Versuchsgr.	Regelkl.	17.2	22.3	26.5
		Sportkl.	17.2	23.6	28.4
Standardabweichung	Kontrollgr.	Regelkl.	4.62	6.56	8.08

Tabelle 14: Übersicht über die Entwicklung von EF12 bei allen Gruppen

KG/VG	RK/SK	EF12_t	EF12_t	EF12_t
		0	1	2
Versuchsgruppe	Sportkl.	4.80	7.21	6.38
	Regelkl.	4.55	6.40	8.12
	Sportkl.	5.61	7.77	8.97

Messwiederholungseffekte:

Diese Steigerung zeigt sich auch hoch signifikant in der Analyse des Hauptfaktors Zeit mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung wieder ($F(1.94, 1021.13) = 456.96, p < .001$, partielles $\eta^2 = .470$). Der Post Hoc Test weist eine hoch signifikante Steigerung der richtig gelösten Designs für alle Gruppen über alle Untersuchungszeiträume auf: $t_0 - t_1: t(1052) = -18.1, p < .001$; $t_1 - t_2: t(1052) = -12.2, p < .001$ und $t_0 - t_2: t(1052) = -30.3, p < .001$ (vgl. Tabelle A 22 im Anhang).

Die Analyse der kombinierten Wertung von Bedingung 1 und 2 ergibt eine stärkere Verbesserung der Versuchsgruppe, vor allem im Zeitraum von t_1 zu t_2 . Der durchschnittliche Unterschied zwischen den beiden Gruppen ändert sich zu Gunsten der Versuchsgruppe von 0,451 (t_0) auf 0,399 (t_1) zu -0,848 (t_2) (siehe Abbildung 24). Es gibt keine statistisch signifikante Interaktion (vgl. Tabelle A 20 im Anhang) zwischen ZEIT und der GRUPPE ($F(1.94, 1021.13) = 2.69, p = .070$, partielles $\eta^2 = .005$).

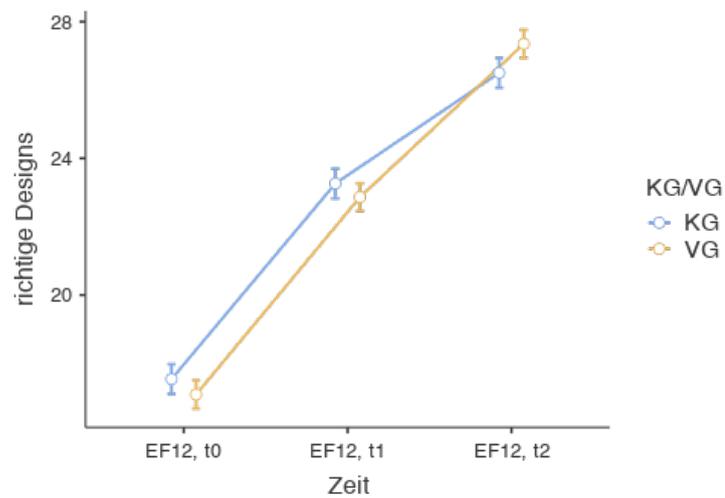


Abbildung 24: Entwicklung der Summe durchschnittlich richtig gelösten Designs von Bedingung 1 und 2 über die drei Testzeitpunkte für die Kontroll- und Versuchsgruppe

Da sich die Sportklassen, wie in Kapitel 4.1.2. schon zu sehen, bei Bedingung 1 und 2 besser entwickeln als die Regelklassen, liegen sie natürlich auch bei der Summe aus Bedingung 1 und 2 voran. Die Interaktion zwischen ZEIT und KLASSE ergibt, dass sich die Sportklassen im Vergleich zu den Regelklassen signifikant besser entwickeln ($F(1.94, 1021.13) = 4.20, p = .016, \text{partielles } \eta^2 = .008$) (vgl. Tabelle A 20 im Anhang). Die Ergebnisse der Post Hoc Tests zeigt keinen signifikanten Unterschied bei t0 ($t(1140) = -1.15, p = .933$), jedoch signifikante Unterschiede bei t1 ($t(1140) = -3.64, p = .022$) und t2 ($t(1140) = -3.96, p = .008$) (siehe Abbildung 25, vgl. Tabelle A 23 im Anhang).

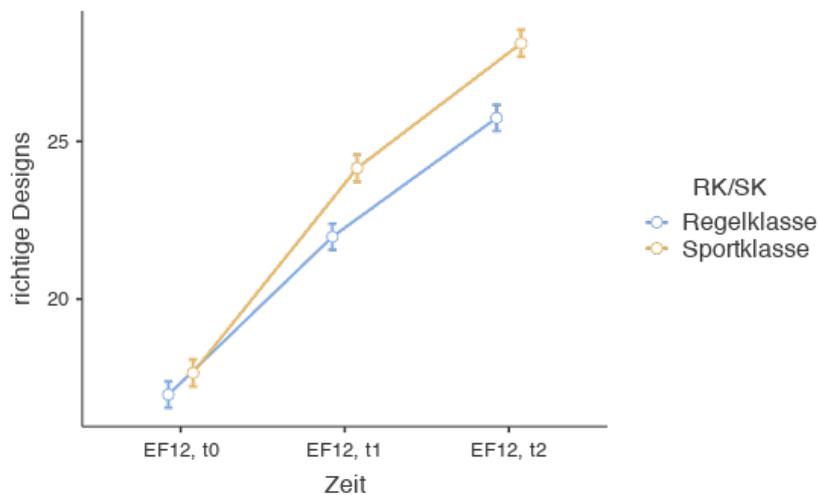


Abbildung 25: Entwicklung der Summe durchschnittlich richtig gelösten Designs von Bedingung 1 und 2 über die drei Testzeitpunkte für die Regel- und Sportklassen

Die Analyse der Dreifachwechselwirkung Zeit * Kontroll-/Versuchsgruppe * Regel-/Sportklassen zeigt keine signifikante Interaktion ($F(1.94, 1021.13) = 0.20, p = .812$, partielles $\eta^2 = .000$) (vgl. Tabelle A 20 im Anhang).

Zwischensubjekteffekte:

Die Homogenität der Fehlervarianzen zwischen den Gruppen ist gemäß dem Levene-Test für alle Variablen erfüllt ($p > .05$). Die Summe der richtigen gelösten Designs von Bedingung 1 und 2 sind in der Kontrollgruppe und in der Versuchsgruppe über den Untersuchungsverlauf beinahe ident. Somit gibt es bei der Analyse des Zwischensubjekteffektes der Kontroll- und Versuchsgruppe keinen signifikanten Haupteffekt, $F(1, 526) = 2.09e-6, p < .999$, partielles $\eta^2 = .000$ (vgl. Abbildung A 2 und Tabelle A 21 im Anhang). Auch hier bei der Summe aus Bedingung 1 und 2, zeigt sich wieder, dass die Sportklassen wie auch schon bei Bedingung 1 und 2 jeweils hoch signifikant mehr Aufgaben lösen als die Regelklassen. So tritt zwischen den Regel- und Sportklassen ein hoch signifikanter Haupteffekt auf, $F(1, 526) = 13.57, p < .001$, partielles $\eta^2 = .025$ (vgl. Tabelle A 21 und Tabelle A 24 im Anhang). Es tritt kein signifikanter Zwischensubjekteffektinteraktion zwischen GRUPPE und KLASSE auf, $F(1, 526) = 1.92, p = .166$, partielles $\eta^2 = .004$ (vgl. Tabelle A 21 im Anhang).

4.1.4 Korrektheit

Für die Auswertung der Korrektheit wird die Anzahl der richtig gelösten Aufgaben in Verhältnis zu den versuchten Lösungen gesetzt und die Werte dann in Prozent dargestellt (Delis et al., 2001). Homogenität der Fehlervarianz zwischen den Gruppen war für die Korrektheit gemäß dem Levene-Test für nicht alle Variablen erfüllt ($p < .05$). Somit ist die eigentliche Auswertung der ANOVA nicht zulässig. Allerdings ist es trotzdem möglich, die post-hoc Vergleiche zu interpretieren. In der Tabelle 15 ist zu sehen, dass sich bis auf die Sportklassen in der Kontrollgruppe alle Gruppen über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg verbessern. Die erwähnten Sportklassen verschlechtern sich von t0 nach t1, verbessern sich aber zu t2 klar über ihren Ausgangswert.

Tabelle 15: Übersicht über die Entwicklung der Korrektheit bei allen Gruppen

	KG/VG	RK/SK	Korrektheit t0 in %	Korrekthei t t1 in %	Korrekthei t t2 in %
Mittelwert	Kontrollgr.	Regelkl.	82.6	82.9	85.4
		Sportkl.	84.4	83.1	87.4
	Versuchsgr	Regelkl.	82.1	84.0	88.7
		Sportkl.	81.0	85.3	89.1
Standardabweichung	Kontrollgr.	Regelkl.	13.1	16.1	15.3
		Sportkl.	10.9	14.8	10.6
	Versuchsgr	Regelkl.	12.9	14.4	10.0
		Sportkl.	14.5	14.2	9.55

Messwiederholungseffekte:

Der hoch signifikanten Haupteffekt ZEIT ($F(2, 1052) = 32.52, p < .001$, partielles $\eta^2 = .058$) findet sich auch in dieser Analyse mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung wieder (vgl. Tabelle A 25 im Anhang). Der Post Hoc Test zeigt ebenfalls eine hoch signifikante Steigerung der Korrektheit für alle Gruppen über die Zeiträume: $t1 - t2: t(1052) = -5.78, p < .001$ und $t0 - t2: t(1052) = -7.76, p < .001$. Im ersten Zeitraum ($t0 - t1$) findet keine signifikante Verbesserung der richtig gelösten Designs statt: $t0 - t1: t(1052) = -1.98, p < .143$; (vgl. Tabelle A 26 im Anhang). Die Analyse der Korrektheit ergibt eine kontinuierliche Verbesserung der Versuchsgruppe. Sie startet zwar mit einem Rückstand ($t0; 1,95$), hat aber bereits zu Testzeitpunkt $t1$ (-1,66) die Kontrollgruppe überholt und baut den Abstand zu Zeitpunkt $t2$ (-2,49) noch weiter aus. Es gibt eine statistisch signifikante Interaktion (siehe Abbildung 26, vgl. Tabelle A 25 im Anhang) zwischen der Zeit und der Kontroll- und Versuchsgruppe ($F(2, 1052) = 6.37, p = .002$, partielles $\eta^2 = .012$). Nach dem Post Hoc Test unterscheiden sich die Kontrollgruppe von der Versuchsgruppe zu keinem (relevanten) Zeitpunkt signifikant voneinander: $t0$ ($t(1260) = 1.67, p = .731$), $t1$ ($t(1260) = -1.43, p = .843$) und $t2$ ($t(1260) = -2.14, p = .472$) (vgl. Tabelle A 27 im Anhang).

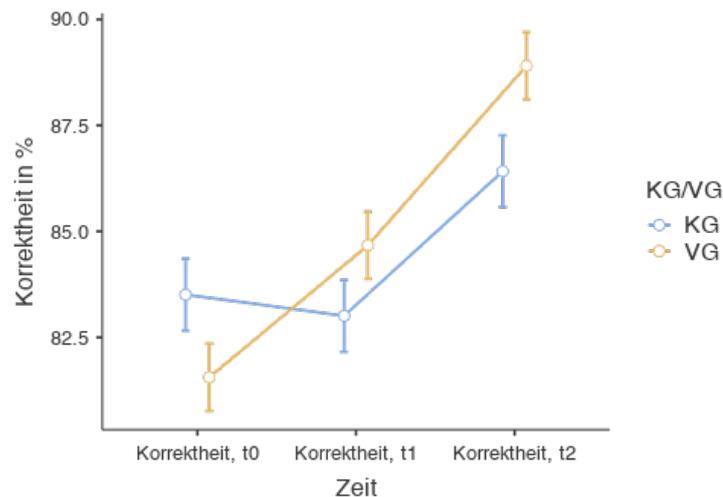


Abbildung 26: Entwicklung der Korrektheit über die drei Testzeitpunkte für die Kontroll- und Versuchsgruppe

Die Regel- und Sportklassen starten bei t0 auf demselben Niveau (RK: 82,3%; SK: 82,4%). Zum zweiten Testzeitpunkt (t1) verbessern sich die Sportklassen etwas mehr als die Regelklassen (RK: 83,5%; SK: 84,4%). Danach verläuft die durchschnittliche Entwicklung der Korrektheit in beiden Klassentypen ähnlich (RK: 87,3%; SK: 88,4%). In beiden Gruppen ist eine deutlich größere Verbesserung von t1 nach t2 zu sehen als zwischen den ersten beiden Testzeitpunkten t0 und t1. Die Sportklassen liegen aber zu allen Zeitpunkten vor den Regelklassen. Die Interaktion aus ZEIT * KLASSE ($F(2, 1052) = 0.21, p = .814, \text{partielles } \eta^2 = .000$) ist nicht signifikant (siehe Abbildung 27, vgl. Tabelle A 25 im Anhang).

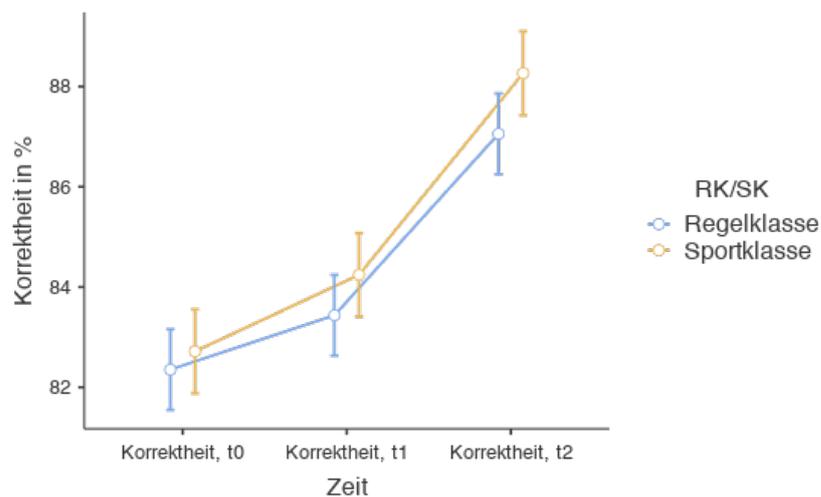


Abbildung 27: Entwicklung der Korrektheit über die drei Testzeitpunkte für die Regel- und Sportklassen

Die Analyse der Dreifachwechselwirkung zwischen ZEIT * GRUPPE * KLASSE zeigt ebenfalls keine statistisch signifikante Interaktion ($F(2, 1052) = 1.13, p = .322, \text{partielles } \eta^2 = .002$, vgl. Tabelle A 25 im Anhang).

Zwischensubjekteffekte:

Da die Homogenität der Fehlervarianzen zwischen den Gruppen gemäß dem Levene-Test nicht für alle Variablen erfüllt ist ($p < .05$) (vgl. Tabelle A 28 im Anhang), ist eine Analyse und Interpretation der Zwischeneffekte nicht zulässig.

5 Zusammenfassung, Kritik und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es die Fragen, ob *exekutive Funktionen der Schülerinnen und Schüler in Schulen mit mehr BSP-Unterricht besser gefördert werden als in Vergleichsschulen* und *ob ein Unterricht in Bewegung und Sport, der speziell auf die Förderung der exekutiven Funktionen ausgerichtet ist, eine positive Wirkung auf diese hat*, zu beantworten. Colcombe & Kramer zeigen 2003, dass vor allem die Exekutivfunktionen einen größeren Nutzen an Bewegung haben und Diamond & Lee, weisen mit ihrer Interventionsstudie mit Kindern 2011 eindeutig eine Verbesserung der exekutiven Funktionen nach.

Das Thema dieser Arbeit ist aus mehreren Gründen von Bedeutung. Erstens kann es ein neues Licht auf den Bewegung- und Sport-Unterricht in der Schule werfen, indem es zeigt, welche Bedeutung der Pflichtgegenstand für die kognitive Entwicklung im Bereich der Exekutivfunktionen der Kinder und Jugendlichen haben kann. Zweitens ist dieses Wissen darüber für die Aus- und Fortbildung von Pädagoginnen und Pädagogen von großer Bedeutung.

Für die Beantwortung der Fragen startete die Studie im Oktober 2014 mit 659 Schülerinnen und Schülern in 32 Klassen (18 Regel- und 14 Sportklassen) an 12 Schulstandorten in Oberösterreich. Bei der Auswahl der Schulen wurde auf eine gleichmäßige Verteilung von Stadt-, Stadtnahen- und Land-Schulen geachtet. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich über 20 Wochen, da laut Pesce et al. (2009) wiederholte körperliche Aktivitäten die Art und Weise verändern können, wie Menschen sich an neue Bedingungen anpassen, die ein zielgerichtetes und geplantes – also ein exekutives – Verhalten erfordern. Die Ergebnisse legen Assoziationen zwischen mehr Bewegungszeit bzw. einem speziell auf die Förderung von exekutiven Funktionen ausgelegten Bewegungs- und Sportunterricht und einer Verbesserung der Exekutivfunktionen nahe, die sich allerdings in einigen Bereichen unterscheiden.

Grundsätzlich war über alle Klassen und Gruppen hinweg eine signifikante Verbesserung im Untersuchungszeitraum im Design-Fluency-Test festzustellen. Übereinstimmend mit diesem Ergebnis beschreiben Diamond und Lee (2011), dass Bewegung und Sport (in seiner ganzen Fülle an Möglichkeiten) den exekutiven

Funktionen mehr zugutekommt, als reines aerobes Training. Denn Sport verbessert nicht nur die Fitness, sondern fordert die Exekutivfunktionen heraus, indem anhaltende Aufmerksamkeit, diszipliniertes Handeln und ein aktives Arbeitsgedächtnis von den Kindern und Jugendlichen verlangt wird. Außerdem kann Sport Freude, Stolz und soziale Interaktionen fördern, was die Grundlagen für die Entwicklung der Exekutivfunktionen sind.

In den Regelklassen wurden die Inhalte des speziellen Sportprogrammes mindestens 2-mal pro Woche in einem Zeitausmaß von 20 Minuten durchgeführt und in Sportklassen 3-mal mit 20 Minuten. Die Sportlehrerinnen und Sportlehrer der Kontrollklassen gestalteten ihren Unterricht ohne Einfluss von außen. Die Beschreibung der Interventionsbeispiele findet sich auszugsweise in Kapitel 3.2.4.. Diese Unterrichtsbeispiele setzen sich aus physischen und kognitiven Elementen zusammen, da diese laut Kubesch & Walk (2009) und Best (2010) am effektivsten zu sein scheinen. Durch unterschiedliche Spiele könnte dies in der Praxis am besten umgesetzt werden. Dabei werden die Exekutivfunktionen auf physischer Ebene allein schon durch die körperliche Aktivität trainiert, weil aerobes Training und körperliche Fitness positive Effekte auf die Exekutivfunktionen haben. Auf kognitiver Ebene ergibt sich das Training aus der Bewegungsaufgabe (Kubesch & Walk, 2009, 314). Best (2010) zeigt, dass ältere Kinder und Jugendliche mehr Nutzen aus anspruchsvolleren Spielen ziehen, die komplexere Regelstrukturen aufweisen. Das den Sportpädagoginnen und -pädagogen zur Verfügung gestellten Unterrichtsmaterial verwendet eben solche Inhalte.

Die erste Testung mit dem Design-Fluency-Test (Delis et al., 2001) fand Anfang Oktober 2014, vor Beginn der Intervention, die zweite nach 10 und dritte als Abschluss nach 20 Wochen statt.

Tabelle 16: Anzahl der ausgewerteten Design-Fluency-Tests bei t0, t1 und t2

		t0	t1	t2	Gesamt
Kontrollgruppe	Regelklasse	160	159	133	452
	Sportklasse	144	102	141	387
Versuchsgruppe	Regelklasse	172	169	169	510
	Sportklasse	171	169	147	487
Gesamt		647	599	590	1836

Die Anzahl der ausgewerteten Tests (siehe Tabelle 16) ist bei allen 3 Zeitpunkten sehr hoch. Die niedrigere Rücklaufquote bei t1 und t2 kann durch 2 Faktoren erklärt werden: Bei der 2. Testung konnte eine Schule aufgrund einer Krankheit des Lehrers und der Wintersportwoche der Schülerinnen und Schüler diese nicht zeitgerecht durchführen. Da eine nachträgliche Testung nicht zulässig ist, wurde diese nicht nachgeholt. Bei der 3. Testung fehlen die Daten von zwei Klassen aus unterschiedlichen Schulen. Insgesamt stehen nun von 530 Schülerinnen und Schüler alle 3 Testergebnisse zur Verfügung.

Alle Gruppen haben sich im Zeitverlauf der Untersuchung bei der Lösung der Aufgabe verbessert und konnten in der gleichen Zeit mehr richtige Lösungen zeichnen. Es zeigt sich jedoch, dass sich die Sportklassen signifikant besser entwickelten als die Regelklassen und die Versuchsgruppe sich besser entwickelten als die Kontrollgruppe.

In der Abbildung 28 sind die Gesamtergebnisse der richtigen Lösungen aller 3 Bedingungen zu den 3 Testzeitpunkten zusammengefasst und können somit als ein Maß für die gesamten exekutiven Funktionen angesehen werden (Delis et al., 2001). Eine genauere Betrachtung (siehe Abbildung 29) zeigt, dass die 287 Schülerinnen und Schüler der Regelklassen bei t0 mit einem Mittelwert von 23,5 (SD 5,96) starteten und diesen dann bei t1 (29,4; SD 7,98) und bei t3 (34,2; SD 9,53) steigern konnten. Dem gegenüber hatten die 243 Schülerinnen und Schüler der Sportklassen einen Anfangswert von 24,1 (SD 6,52) und konnten diesen Wert in der Folge sowohl bei t1 (31,9; SD 9,13) als auch bei t2 (37,0; SD 9,45) verbessern. Somit kann zusammengefasst werden, dass sich die

Leistung der Sportklassen signifikant besser entwickelt hat, als das bei den Regelklassen der Fall war.

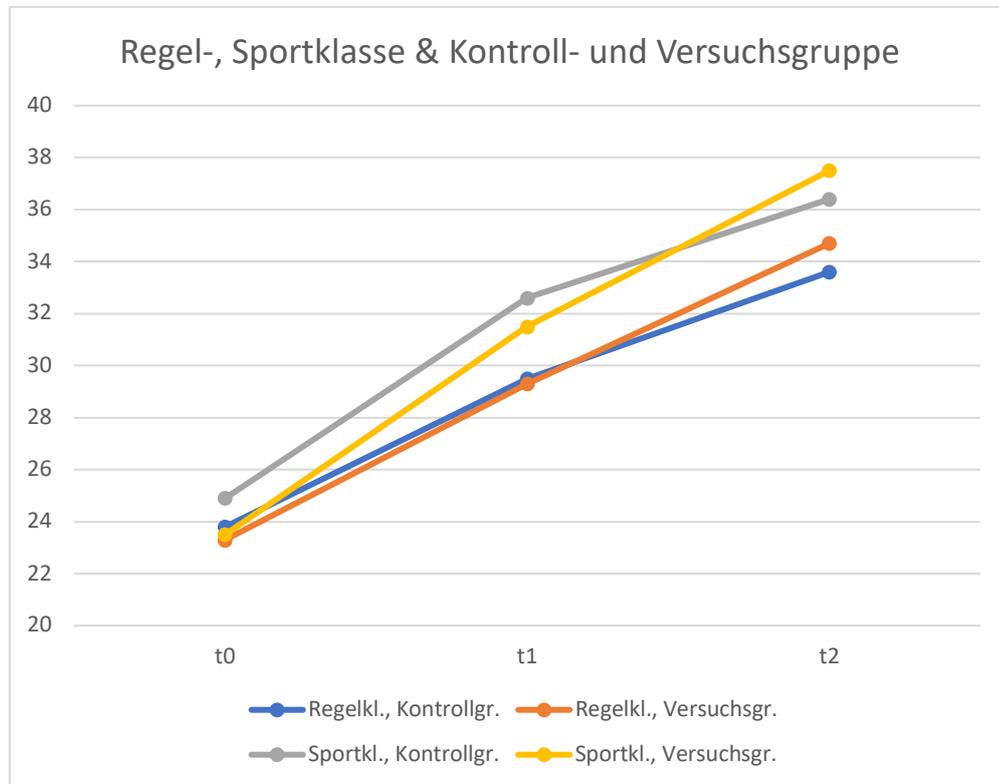


Abbildung 28: Entwicklung der richtigen Designs in den unterschiedlichen Gruppen

Die Ergebnisse zeigen eine starke Steigerung der Exekutivfunktionen durch 7-8 Einheiten Bewegung- und Sport-Unterricht pro Woche. Dazu passend zeigen auch Best (2010), Chaddock et al. (2012), Masley et al. (2009) und Ruscheweyh et al. (2009), dass körperliche Fitness mit erhöhter kognitiver Leistungsfähigkeit verbunden ist, und das speziell mit den exekutiven Funktionen.

Bei dieser Untersuchung wurde der Grad der Fitness nicht erhoben. Durch das Auswahlverfahren zur Aufnahme in den Sportklassen und deutlich mehr Unterrichtseinheiten im Gegenstand Bewegung und Sport ist allerdings davon auszugehen, dass die Schülerinnen und Schüler der Sportklassen im Durchschnitt fitter sind als ihre Kolleginnen und Kollegen in den Regelklassen. So wurde in zahlreichen Studien ein Übertreffen der fitteren Kinder gegenüber ihrer weniger fitten Altersgenossinnen und Altersgenossen bei Tests zu den exekutiven Funktionen (Inhibition, Arbeitsgedächtnis und kognitive Flexibilität) gezeigt (Diamond, 2006;

Hillman, Erickson, & Kramer, 2008; Chaddock et al., 2010; Pontifex et al., 2011; alle in Chaddock et al., 2012). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Kinder kognitive Kontrollprozesse flexibler zuordnen und ihre Strategien so ändern konnten und somit den Herausforderungen der Aufgaben gerecht wurden, wenn sie über ein höheres Fitnessniveau verfügen.

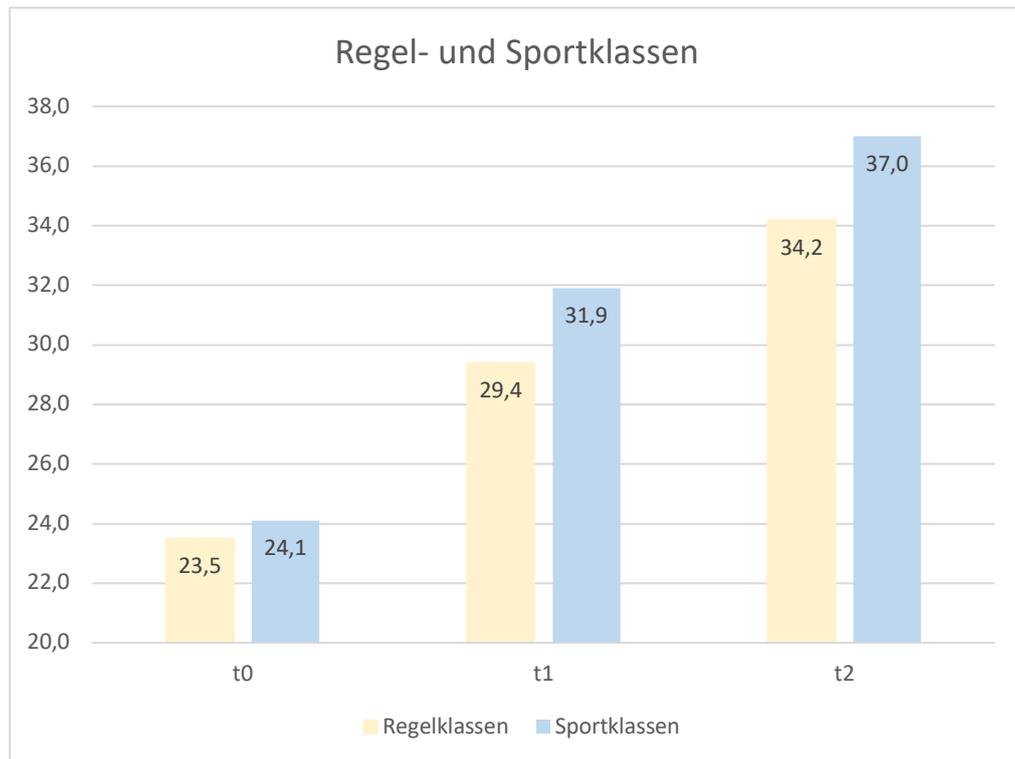


Abbildung 29: Entwicklung der richtigen Designs bei den Regel- und Sportklassen (alle)

Die Steigerung über den gesamten Untersuchungsverlauf (siehe Abbildung 30) findet sich auch in der Kontroll- als auch der Versuchsgruppe wieder. Die 223 Schülerinnen und Schüler der Kontrollgruppe hatten bei t0 einen Mittelwert von 24,3 (SD 5,95), bei t1 30,9 (SD 8,59) und bei t2 34,9 (SD 9,07). Dem gegenüber hatten die 307 Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe einen Anfangswert von 23,4 (SD 6,38) und konnten diesen Wert in der Folge sowohl bei t1 30,3 (SD 8,64) als auch bei t2 36,0 (SD 9,93) verbessern. Somit kann zusammengefasst werden, dass sich die Leistung der Versuchsgruppe besser entwickelt hat, als diese bei der Kontrollgruppe.

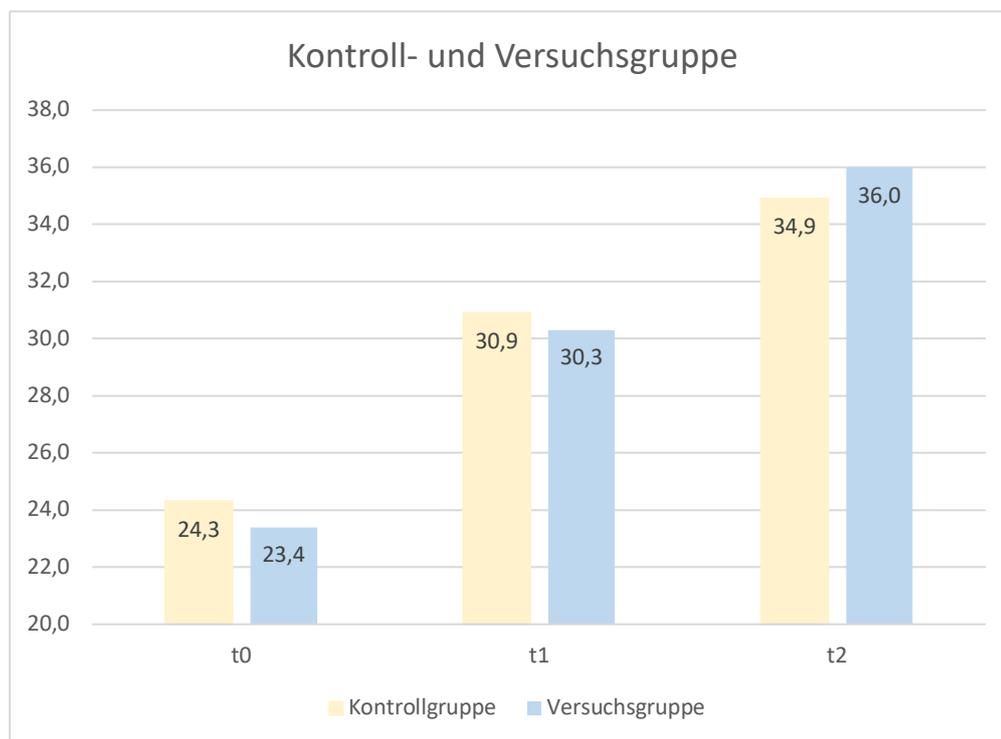


Abbildung 30: Entwicklung der richtigen Designs bei der Kontroll- und Versuchsgruppe (alle)

In Übereinstimmung mit früheren Untersuchungsergebnissen (z. B. Kubesch & Walk, 2009; Best, 2010) kann in dieser Studie ein Trend festgestellt werden, dass ein Bewegung- und Sport-Unterricht bzw. Unterrichtselemente, die physische und psychische Anforderungen kombinieren und so speziell auf die Förderung der exekutiven Funktionen ausgerichtet sind, die Exekutivfunktionen fördern. So konnte auch eine 9-monatigen Interventionsstudie mit 7 – 9-jährigen Kindern von Kamijo et al. (2010) zeigen, dass durch das Training erhöhte Fitnessniveau mit der Verbesserung in der kognitiven Kontrolle des Arbeitsgedächtnisses in Zusammenhang steht. Auch McMorris, Sproule, Turner & Hale (2011) konnten in einer Meta-Analyse signifikante positive Auswirkungen durch akutes, mäßig intensives aerobes Training, auf Aufgaben, die das Arbeitsgedächtnis betreffen, zeigen.

Betrachtet man neben den Hauptergebnissen, nämlich der Summe aller drei Bedingungen bei jedem der drei Testzeitpunkten, die Ergebnisse der einzelnen Bedingungen, finden sich natürlicherweise ähnliche Veränderungen über den

Untersuchungszeitraum – wie oben angeführt – wieder. Die Bedingungen 1 und 2 sind ähnliche Aufgaben, da sich die Schülerinnen und Schüler beim Erstellen der Designs lediglich auf eine Art von Punkt (ausgefüllt oder leer) konzentrieren müssen. Die in Bedingung 2 zusätzliche Anforderung, die Reaktion auf die vollen Punkte zu inhibieren, stellt in der Regel für die Probandinnen und Probanden kein Problem dar. Im Gegenteil, oftmals ist es so, dass sie unter Bedingung 2 etwas höhere Werte erzielen als bei Bedingung 1. Zu erklären ist das mit einem möglichen Lerneffekt (Delis et al., 2001). Bei der Bedingung 1 (volle Punkte) starteten die Regel- und Sportklassen auf einem ähnlichen Niveau. Schon zum zweiten Testzeitpunkt t1 schnitten die Sportklassen etwas besser ab. Zum Zeitpunkt t2 war dann der Unterschied zwischen den beiden Klassentypen zu Gunsten der Sportklassen signifikant. Bei Bedingung 2 (leere Punkte – Kreise) waren die Sportklassen lediglich zum Zeitpunkt t1 signifikant besser als die Regelklassen. In der Post Hoc Analyse für die signifikante Interaktion zwischen der Zeit und der Kontroll- und Versuchsgruppe konnten keine relevanten Unterschiede festgestellt werden. Allerdings ist eine deutlich bessere Entwicklung der Versuchsgruppe von t1 nach t2 ist zu erkennen. Die Ergebnisse von Bedingung 1 und 2 könnten darauf hindeuten, dass die Schülerinnen und Schüler über den Untersuchungsverlauf exekutive Fähigkeiten und eine Reihe anderer kognitiven Stärken, wie z. B. grundlegender visueller Aufmerksamkeit und motorischer Geschwindigkeit und nonverbaler Kreativität und simultaner Verarbeitung verbessern konnten. Dies ist den Sportklassen bei Bedingung 1 signifikant besser gelungen. Die Ergebnisse der Bedingung 2 ermöglichen es auch, eine Aussage über die Inhibitionsfähigkeit zu tätigen, da hier andere Punkte miteinander verbunden werden müssen und nicht jene von Bedingung 1. So könnten die hier vorliegenden Ergebnisse eine verbesserte Inhibitionsfähigkeit der Gruppe, die ein spezielles Sportprogramm über 20 Wochen absolvierte, gegenüber der Kontrollgruppe zeigen.

Die Bedingung 3 (Switching) stellt die herausforderndste Aufgabe dar, da hierbei die Aufgabenanforderung von Bedingung 1 und 2 kombiniert werden und dabei sowohl die nonverbale Kreativität als auch die Umschaltfähigkeit von den Schülerinnen und Schülern abverlangt wird. Es zeigt sich, wie erwartet, ein Rückgang der richtigen Designs

im Vergleich zu Bedingung 1 und 2 (Delis et al., 2001). Bei Bedingung 3 zeigt sich als Trend die jeweils bessere Entwicklung der Sportklassen und der Versuchsgruppe im Vergleich zu den Regelklassen bzw. der Kontrollgruppe. Das könnte bedeuten, dass mehr Sport bzw. spezielle Unterrichtsinhalte die Umschaltfähigkeit der Schülerinnen und Schüler nachweislich verbessern kann. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Klassen und Gruppen waren jedoch zu keinem Zeitpunkt signifikant. Diese in Bedingung 3 besonders geforderten Aufgaben der kognitiven Verlagerung ist der mentale Prozess der bewussten Umlenkung der Aufmerksamkeit von einer Fixierung auf eine andere. Geschieht dieser Prozess dagegen unbewusst, wird er als Aufgabenwechsel bezeichnet. Beides sind Formen der kognitiven Flexibilität. Werden diese Shifting-Fähigkeiten verbessert, kann dies den Schülerinnen und Schülern helfen, Rechtschreibkenntnisse auf Klassenniveau zu erreichen (von Suchodoletz et al., 2017).

Eine Steigerung in der zusammengesetzten Wertung aus Bedingung 1 und 2 ermöglicht eine Aussage über eine Verbesserung des Findens von richtigen Lösungen ohne der Umschaltfunktion von Bedingung 3 (Delis et al., 2001). Hier zeigt sich eine deutlich bessere Entwicklung in den Sportklassen im Vergleich zu den Regelklassen. Bereits ab dem Zeitpunkt t1 sind die Sportklassen signifikant besser als die Kolleginnen und Kollegen aus den Regelklassen.

Bei der Korrektheit aller gelösten Aufgaben ist die Versuchsgruppe über die Zeit gesehen signifikant besser als die Kontrollgruppe. Dies könnte auf eine grundsätzlich größere Veränderung der Exekutivfunktionen und im Speziellen des Arbeitsgedächtnisses hinweisen.

Obwohl diese Studie einige relevante Fragen bezüglich der Beziehung zwischen dem Bewegungs- und Sportunterricht und der Entwicklung der exekutiven Funktionen bei Schülerinnen und Schülern der 5. Schulstufe an oberösterreichischen Schulen beantwortet, könnte diese einige nicht voraussehbare Limitationen haben. Jede Interpretation der Ergebnisse sollte unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen betrachtet werden.

So könnte der Haupteffekt Zeit auf einen möglichen Lerneffekt der Probandinnen und Probanden zurückzuführen zu sein. In zukünftigen Untersuchungen könnte das

vermieden werden, indem die Schülerinnen und Schüler den Design-Fluency-Test vor Beginn der Untersuchung einige Male durchführen. Neben dem Lerneffekt als mögliche Erklärung für den Haupteffekt Zeit, könnte aber auch bzw. zusätzlich das hohe fachliche Niveau der unterrichtenden Sportpädagoginnen und -pädagogen in der Versuchs- und in der Kontrollgruppe sein. Da die Durchführung außerhalb des Laborumfelds stattfand, könnten auch externe Faktoren die Ergebnisse unbeabsichtigt beeinflusst haben

Neben den hier verwendeten Daten und Ergebnissen aus drei Testungen wurden, wie oben erwähnt (siehe Kapitel 3.), auch noch ein Elternfragebogen zu Einkommen, der Bedeutung von Bewegung in der Familie und dem Bildungsstand erhoben. Diese Daten könnten für die Beantwortung anderer Fragen in Bezug zu den hier verwendeten Testergebnissen gesetzt werden. Hier zeigten beispielsweise Diamond & Lee (2011) und Guernsey (2020), dass Kinder aus einkommensschwachen Familien am Training der Exekutivfunktionen am meisten profitieren. Des Weiteren gibt es noch Datenmaterial von einem Testzeitpunkt t3 am Ende der 8. Schulstufe (Ende Juni 2018). Interessant wäre es zu sehen, ob die hier gefundenen Unterschiede und Trends weiter Bestand haben oder nicht. Raver et al. (2018) veröffentlicht in PLOS ONE, dass Teenager weiterhin bessere Noten schrieben, wenn sie im Kindergarten speziell geschulte Pädagoginnen und Pädagogen hatten (Guernsey, 2020). Interessant für Folgeuntersuchungen wäre auch die Verknüpfung der Testergebnisse mit den schulischen Leistungen, wie dies schon in anderen Untersuchungen gemacht wurde (z. B. Dekker et al., 2017; Ribner et al., 2017)

Die Ergebnisse der Studie zeigen deutlich, dass es einen Zusammenhang zwischen Bewegungszeit, den speziellen Inhalten der Bewegungsangebote und der positiven Entwicklung der exekutiven Funktionen gibt. Diese positiven Effekte können wichtige Auswirkungen auf die Entwicklung der Kinder und Jugendlichen und die Bildungspolitik haben.

So sind diese Ergebnisse für die Ausbildung von Pädagoginnen und Pädagogen von großer Bedeutung und sollten auch bei der Gestaltung von Lehrplänen berücksichtigt werden. Auf diese Weise kann die zentrale Rolle der exekutiven Funktionen in der pädagogischen Arbeit angeregt und optimiert werden. Dies darf allerdings nicht erst in

der Sekundarstufe passieren, sondern muss viel früher, nämlich bereits ab dem Eintritt in den Kindergarten, Anwendung finden. Denn ein frühes Training der exekutiven Funktionen kann kognitive Leistungsdefizite ausgleichen und die Leistungsluft verringern (Diamond & Lee, 2011). So sind die Exekutivfunktionen nicht nur ein Prädiktor für den akademischen Erfolg, sondern können auch dazu beitragen, Defizite auszugleichen (von Suchodoletz et al., 2017). Um sie zu verbessern, müssen die exekutiven Funktionen ständig (heraus)gefordert werden -und das funktioniert relativ einfach, ohne teure Ausrüstung. Ein Schlüsselement für den Erfolg ist die Bereitschaft des Kindes/des Jugendlichen sich der Aktivität zu widmen. Die österreichischen Bildungseinrichtungen mit ihren Konzepten, Lehrplänen und ihrer Schulautonomie sind dafür bestens geeignet, da sie für alle zugänglich sind und früh genug in den kognitiven Entwicklungsprozess eingreifen können und so auch die Entwicklung der Exekutivfunktionen im weitesten Sinne beeinflussen können.

Wenn es das Ziel ist, die physische und kognitive Gesundheit, aber auch die Stärken unserer Schülerinnen und Schüler zu verbessern und zu fördern, müssen dafür jegliche Einschnitte im Bewegung- und Sport-Unterricht (aber auch in den musisch-kreativen Fächern) gestoppt werden. Der schulische Sportunterricht scheint die exekutiven Aufmerksamkeitsprozesse der Schülerinnen und Schüler positiv zu beeinflussen und hat somit das Potential, die Leistungen in alle Fächer zu unterstützen (Kubesch et al., 2009). Wie Studien (z. B. Diamond & Lee, 2011) zeigen, können die Exekutivfunktionen natürlich auch mit (anderen) Programmen trainiert werden. Die Übertragung ist hier allerdings kaum gegeben. Das bedeutet, wenn ich das Arbeitsgedächtnis trainiere, verbessere ich das Arbeitsgedächtnis, nicht die Inhibition oder die kognitive Flexibilität. Der Vorteil des Bewegung- und Sport-Unterrichts ist, dass die angebotenen Inhalte breiter sind und somit mehr Exekutivfunktionskomponenten ansprechen.

Somit ist schulischer Sportunterricht mehr als nur Bewegung und Sport!

6 Literatur

- Åberg, M. A. I., Pedersen, N. L., Torén, K., Svartengren, M., Bäckstrand, B., Johnsson, T., ... Kuhna, H.G. (2009). Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood. *PNAS*, *106*(49), 20906-20911. doi: 10.1073/pnas.0905307106
- Akyurek, G. (2018). Executive Functions and Neurology in Children and Adolescents. In M. Huri (Hrsg.), *Occupational Therapy – Therapeutic and Creative Use of Activity*, 29-49. doi: 10.5772/intechopen.78312
- Anderson, P. (2002). Assessment and Development of Executive Function (EF) During Childhood. *Child Neuropsychology*, *8*(2), 71-82. doi: 10.1076/chin.8.2.71.8724
- Audiffren, M., Tomporowski, P. & Zagrodnik, J. (2009). Acute aerobic exercise and information processing: Modulation of executive control in a Random Number Generation task. *Acta Psychologica*, *132*(1), 85-95. doi: 10.1016/j.actpsy.2009.06.008
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, *30*(4), 331-351. doi: 10.1016/j.dr.2010.08.001
- Best, J.R., & Miller, P. H. (2010). A Developmental Perspective on Executive Function. *Child Development*, *81*(6): 1641-1660. doi: 10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x
- Best, J. R., Miller, P. H. & Naglieri, J.A. (2011). Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample. *Learning and Individual Differences*, *21*(4), 327-336. doi: 10.1016/j.lindif.2011.01.007
- Blair, C. & Raver, C. C. (2015). School readiness and self-regulation: a developmental psychobiological approach. *Annual review of psychology*, *66*, 711-731. Doi: 10.1146/annurev-psych-010814-015221
- Blair, C. & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child development*, *78*(2), 647-663. doi: 10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x

- Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler: Mit 87 Tabellen* (4., überarbeitete Auflage). Springer-Lehrbuch Bachelor, Master. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Brunetti, M., Zappasodi, F., Croce, P. & Matteo, R. D. (2019). Parsing the Flanker task to reveal behavioral and oscillatory correlates of unattended conflict interference. *Scientific Reports* 9(13883). doi: 10.1038/s41598-019-50464-x
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietraßyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P., & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters*, 441(2), 219-223. doi: 10.1016/j.neulet.2008.06.024
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF). (o.J.). Verfügbar unter:
<https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulsystem/sa/ms.html> (7. Mai 2020)
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF). (2005). *Änderung Lehrplan Sport – pdf*. Verfügbar unter:
https://www.bmbwf.gv.at/dam/jcr:0fbbb73c-75cd-4401-ad4c-6c42b435f8ba/materialien_aend_lp_sport_13424.pdf
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF). (2014). Bildungsstandard für Bewegung und Sport. Salzburg & Wien: Interfakultärer Fachbereich Sport- und Bewegungswissenschaft der Universität Salzburg. Verfügbar unter: <https://www.schulsportinfo.at/infos/bewegung-und-sport/root/unterricht/bildungsstandards/bildungsstandard-bewegung-und-sport>
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF). (2018a). *Lehrpläne – Lehrplan der Neuen Mittelschulen*. Verfügbar unter:
<https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR40207228/NOR40207228.pdf>
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF). (2018b). *Lehrpläne – Lehrplan der Neuen Mittelschulen – Lehrplan der Neuen Sportmittelschule*. Verfügbar unter:

<https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR40207230/NOR40207230.pdf>

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF). (2019).

Bewegung und Sport in der Schule. Verfügbar unter:

<https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/schwerpunkte/gesund/sport.html>

BVMed. (o.J.). *Bewegungssteuerung durch das Gehirn*. Verfügbar unter:

https://www.bvmed.de/wbt/interaktion/kap4_it4/index.html

Castelli, D., Hillman, C., Buck, S., & Erwin, H. E. (2007). Physical fitness and academic achievement in 3rd and 5th grade students. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29(2), 239-252. doi: 10.1123/jsep.29.2.239

Center on the Developing Child. (2012). *Executive Function (InBrief)*. Verfügbar unter:

<https://developingchild.harvard.edu/resources/inbrief-executive-function/>

Chaddock, L., Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Johnson, C. R., Raine, L. B., & Kramer, A. F. (2012). Childhood aerobic fitness predicts cognitive performance one year later. *Journal of Sports Science*, 30(5), 421-430. doi: 10.1080/02640414.2011.647706

Chang, Y., & Etnier, J. (2009). Effects of an acute bout of localized resistance exercise on cognitive performance in middle-aged adults: A randomized controlled trial study. *Psychology of Sport and Exercise*, 10(1), 19-34. doi: 10.1016/j.psychsport.2008.05.004

Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness Effects on the Cognitive Function of Older Adults: A Meta-Analytic Study. *Psychological Science*, 14(2), 125-130. doi: 10.1111/1467-9280.t01-1-01430

Cristofori, I., Cohen-Zimmerman, S., & Grafman, J. (2019). Chapter 11 – Executive Functions. In M. D'Esposito & J. H. Grafman (Hrsg.), *Handbook of Clinical Neurology*, 163(3), 197-219. doi: 10.1016/B978-0-12-804281-6.00011-2

Daucourt, M. C., Schatschneider, C., Connor, C. M., Al Otaiba S., & Hart S. A. (2018). Inhibition, Updating Working Memory, and Shifting Predict Reading Disability

- Symptoms in a Hybrid Model: Project KIDS. *Frontiers in Psychology*, 9(238), 34-49. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00238
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E., ... Naglieri, J. A. (2011). Exercise Improves Executive Function and Achievement and Alters Brain Activation in Overweight Children: A Randomized Controlled Trial. *Health Psychology*, 30(1), 91-98. doi: 10.1037/a0021766.
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037-2078. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006
- Dekker, M. C., Ziermans, T. B., Spruijt A. M., & Swaab, H. (2017). Cognitive, Parent and Teacher Rating Measures of Executive Functioning: Shared and Unique Influences on School Achievement. *Frontiers in Psychology*, 8(48), 50-62. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00048
- Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. H. (2001). *Executive Function System, Examiners Manual*. San Antonio: Psychological Corp.
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions Shown to Aid Executive Function Development in Children 4 to 12 Years Old. *Science*, 333(6045), 959-964. doi: 10.1126/science.1204529
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Dishman, R. K., Berthoud, H.-R., Booth, F. W., Cotman, C. W., Edgerton, V. R., Fleshner, M. R., ... Zigmond, M. J. (2006). Neurobiology of exercise. *Obesity*, 14(3), 345-356. Doi: 10.1038/oby.2006.46
- Etnier, J.L., & Chang, Y.-K. (2009). The effect of physical activity on executive function: a brief commentary on definitions, measurement issues, and the current state of the literature. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 31(4), 469-483. doi: 10.1123/jsep.31.4.469

- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all Executive Functions are related to Intelligence. *Psychological Science, 17*(2), 172-179. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01681.x
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin, 134*(1), 31-60. Doi: 10.1037/0033-2909.134.1.31
- Griffin, E. W.; Mulally, S; Foley, C.; Warmington, S. A.; O'Mara, S. M., & Kelly A. M. (2011). Aerobic exercise improves hippocampal function and increases BDNF in the serum of young adult males. *Physiology & Behavior, 104*(5), 934-941. doi: 10.1016/j.physbeh.2011.06.005
- Guernsey, L. (2020). Spielend schlau. *Gehirn und Geist, 05*, 40-45.
- Hall, P. A. (2013). Executive Function. In Gelman M.D., Turner J.R. (eds) *Encyclopedia of Behavioral Medicine*. 725-727. Springer, New York
- Hemmerich, W. (2016). *StatistikGuru: Stichprobenverteilung*. Verfügbar unter: <https://statistikguru.de/lexikon/stichprobenverteilung.html>
- Hillman, C. H., Buck, S. M., Themanson, J. R., Pontifex, M. B., & Castelli, D. M. (2009). Aerobic Fitness and Cognitive Development: Event-Related Brain Potential and Task Performance Indices of Executive Control in Preadolescent Children. *Developmental Psychology, 45*(1), 114-129. doi: 10.1037/a0014437
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D., Hall, E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience, 159*(3), 1044-1054. doi:10.1016/j.neuroscience.2009.01.057
- Hillman, C. H., Erickson, K., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature, 9*(1), 58-65. Doi: 10.1038/nrn2298
- Hillman, C. H., Castelli, D., & Buck, S. (2005). Aerobic Fitness and Neurocognitive Function in Healthy Preadolescent Children. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 37*(11), 1967-1974. doi: 10.1249/01.mss.0000176680.79702.ce
- Huizinga, M., Baeyens, D., Burack, J. A. (2018). *Executive Function and Education*. Frontiers in Psychology. Lausanne. doi:10.3389/978-2-88945-572-0

- Huizinga, M., & van der Molen, M. W. (2007). Age-Group Differences in Set-Switching and Set-Maintenance on the Wisconsin Card Sorting Task. *Developmental Neuropsychology*, *31*(2), 193-215. doi: 10.1080/87565640701090817
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia* *44*(11), 2017-2036. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.010
- Hung, T.-M., Tsai, C.-L., Chen, F.-T., Wang, C.-C., & Chang, Y.-K. (2013). The immediate and sustained effects of acute exercise on planning aspect of executive function. *Psychology of Sport and Exercise*, *14*, 728-736. doi:10.1016/j.psychsport.2013.05.004
- Joyce, J., Graydon, J., McMorris, T., & Davranche, K. (2009). The time course effect of moderate intensity exercise on response execution and response inhibition. *Brain and Cognition*, *71*(1), 14-19. doi:10.1016/j.bandc.2009.03.004
- Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The Elusive Nature of Executive Functions: A Review of our Current Understanding. *Neuropsychology Review*, *17*(3), 213-233. doi:10.1007/s11065-007-9040-z
- Kamijo, K., & Takeda, Y. (2010). Regular physical activity improves executive function during task switching in young adults. *International Journal of Psychophysiology*, *75*(3), 304-311. doi:10.1016/j.ijpsycho.2010.01.002
- Kleindienst-Cachay, C., & Schulz, M. (2011). *Noch mehr kleine Spiele zum Training exekutiver Funktionen im Schulsport*. Verfügbar unter: https://www.unibielefeld.de/sport/events/pdf/Manuskript_workshop_2011_Christa_Kleindienst.pdf
- Kramer, A. F., & Erickson, K. (2007). Capitalizing on cortical plasticity influence of physical activity on cognition and brain function. *Trends in Cognitive Science*, *11*(8), 342-348. doi:10.1016/j.tics.2007.06.009
- Kramer, J. H., Quitania, L., Dean, D., Neuhaus, J., Rosen, H. J., Halabi, C., ... Miller B. L. (2007). Magnetic resonance imaging correlates of set shifting. *Journal of the*

International Neuropsychological Society, 13(3), 386-392. doi:

10.1017/S1355617707070567

Kubesch, S., Emrich, A., & Beck, F. (2011a). Exekutive Funktionen im Sportunterricht fördern. *Sportunterricht*, 60(10), 312-316.

Kubesch, S., Emrich, A. & Beck, F. (2011 b). Training exekutiver Funktionen in Kleinen und Großen Sportspielen. Teil1 - Grundschule. *Lernhilfen für den Sportunterricht*, 60(10), 9-13.

Kubesch, S., Emrich, A. & Beck, F. (2011 c). Training exekutiver Funktionen in Kleinen und Großen Sportspielen. Teil 2 - Sekundarstufe. *Lehrhilfen für den Sportunterricht*, 60(11), 7-13.

Kubesch, S., Walk, L., Spitzer, M., Kammer, T., Lainburg, A., Heim, R., & Hille, K. (2009) A 30-Minute Physical Education Program Improves Students' Executive Attention. *Mind, Brain, and Education*, 3(4), 235-242. doi: 10.1111/j.1751-228X.2009.01076.x

Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12-24. doi: 10.1016/j.brainres.2010.03.091

Lecturio. (2017a). *Die Motorik – Alles zu den Grundlagen der Bewegung und motorischen Systemen*. Verfügbar unter:

<https://www.lecturio.de/magazin/grundlagen-motorik/>

Lecturio. (2017b). *Kennen Sie den unglaublichen Fall des Phineas Gage? Das passiert, wenn das Frontalhirn aussetzt*. Verfügbar unter:

<https://www.lecturio.de/magazin/frontalhirn/>

Leitner, M., & Kainberger, S. (2015). Lernen braucht eine bewegte Schule! *Bewegung & Sport: Fachzeitschrift für Aus- und Fortbildung in Kindergärten, Schulen und Vereinen*, 69(1), 21-24.

Masley, S., Roetzheim, R., & Gualtieri, T. (2009). Aerobic exercise enhances cognitive flexibility. *Journal of Clinical Psychology in Medical Settings*, 16(2), 186-193. doi: 10.1007/s10880-009-9159-6

- McMorris, T., Sproule, J., Turner, A., Hale, B. J. (2011). Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: A meta-analytical comparison of effects. *Physiology & Behavior*, *102*(3-4), 421-428. doi: 10.1016/j.physbeh.2010.12.007
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, *21*(1), 8-14. doi: 10.1177/0963721411429458
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49-100. doi: 10.1006/cogp.1999.0734
- Mulder, H., Verhagen, J., Van der Ven, S. H. G., Slot, P. L., & Leseman P. P. M. (2017). Early Executive Function at Age Two Predicts Emergent Mathematics and Literacy at Age Five. *Frontiers in Psychology*, *8*(1706), 8-21. doi: 10.3389/fpsyg.2017.01706
- Murray, D. M., Varnell, S. P., & Blitstein, J. L. (2004). Design and Analysis of Group-Randomized Trials: A Review of Recent Methodological Developments. *American journal of public health*, *94*(3), 423-432. doi: 10.2105/ajph.94.3.423
- Okutemo, J., & Nakamura, M. (2019). Executive Functions are better than IQ?. *Archives of Neurology & Neurological Disorders*, *2*(1), 107.
- Pesce, C., Crova, C., Cereatti, L., Casella, R. & Belluci, M. (2009). Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity*, *2*(1), 16-22. doi: 10.1016/j.mhpa.2009.02.001
- Psylex. (oJ). *Anteriorer cingulärer Cortex (Gehirn)*. Verfügbar unter: <https://psylex.de/psychologie-lexikon/gehirn/anatomie/anteriorer-cingulaerer-cortex.html>
- Repovs, G., & Baddeley, A. D. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience* *139*(1): 5-21. doi: 10.1016/j.neuroscience.2005.12.061

- Ribner, A. D., Willoughby, M. T., Blair C. B. & The Family Life Project Key Investigators (2017). Executive Function Buffers the Association between Early Math and Later Academic Skills. *Frontiers in Psychology*, 8(869), 22-33. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00869
- Röthlisberger, M., Neuenschwander, R., Michel, E., & Roebbers, C. M. (2010). Exekutive Funktionen: Zugrundeliegende kognitive Prozesse und deren Korrelate bei Kindern im späten Vorschulalter. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 42(2): 99-110. doi: 10.1026/0049-8637/a000010
- Ruscheweyh, R., Willemer, C., Krüger, K., Duning, T., Warnecke, T. Sommer, J. ... Flöel, A. (2009). Physical activity and memory functions: An interventional study. *Neurobiology of Aging*, 2011, 32(7), 1304-1319. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2009.08.001
- Schachl, H. (2017). *Das lernende Gehirn*. Skriptum für den Masterlehrgang „Neurowissenschaften und Bildung“ an der Pädagogischen Hochschule der Diözese Linz.
- Spektrum. (2000a). *d2-Test*. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/d2-test/3093>
- Spektrum. (2000b). *P300*. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/p300/9381>
- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(4), 745-759. doi: 10.1080/17470210500162854
- Stöglehner, W. (2012a). *Durch Sportunterricht zu gesteigerter kognitiver Kontrolle. Erstellung und Evaluation einer Lehrer/innen-Handreichung zur Förderung exekutiver Funktionen*. Diplomarbeit. Salzburg: Universität Salzburg, Fachbereich für Bewegungs- und Sportwissenschaften.
- Stöglehner, W. (2012b). Exekutive Funktionen. Allgemeine Spiele Vorbereitungsphase. *Volleyball-Magazin* (1), 32–35.

- Stöglehner, W. (2012c). Training fürs Leben. *Volleyball-Magazin* (2), 27–31.
- Themanson, J., Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (2008). Fitness and Action Monitoring: evidence for improved cognitive flexibility in young adults. *Neuroscience*, *157*(2), 319-328. doi: 10.1016/j.neuroscience.2008.09.014
- Tiedemann, C. (2020). "Sport" – Vorschlag einer Definition. Verfügbar unter: <http://sport-geschichte.de/tiedemann/documents/sportdefinition.html>
- Tomprowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and Children's Intelligence, Cognition, and Academic Achievement. *Educational Psychology Review*, *20*(2), 111-131. doi: 10.1007/s10648-007-9057-0
- von Suchodoletz, A., Fäsche, A., & Skuballa, I. T. (2017). The Role of Attention Shifting in Orthographic Competencies: Cross-Sectional Findings from 1st, 3rd, and 8th Grade Students. *Frontiers in Psychology*, *8*(1685), 63-78. doi: 10.3389/fpsyg.2017.01665
- Voss, M. W., Nagamatsu, L. S., Liu-Ambrose, T., & Kramer, A. F. (2011). Exercise, brain, and cognition across the life span. *Journal of Applied Physiology*, *111*(5), 1505-1513. doi: 10.1152/jappphysiol.00210.2011
- Wecker, N. S., Kramer, J. H., Hallam, B. J., & Delis, D. C. (2005). Mental Flexibility: Age Effects on Switching. *Neuropsychology*, *19*(3), 345-352. doi: 10.1037/0894-4105.19.3.345
- Williams, P. G., Tinajero, R., & Suchy, Y. (2017). Executive Functioning and Health. In *Oxford Handbooks Online*. Verfügbar unter: <https://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780199935291.001.0001/oxfordhb-9780199935291-e-75?rskey=V7hXo2&result=>

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Unity an Diversity Modell nach Miyake & Friedmann, 2012, S. 11	13
Abbildung 2. Präfrontaler Kortex (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:	18
Abbildung 3. Hirnareale, die mit verschiedenen Exekutivfunktionen assoziiert sind, basierend auf Läsions- und/oder Neurobildgebungsstudien nach Cristofori et al., 2019, S. 4.....	18
Abbildung 4: Die Entwicklung der Exekutivfunktionen im Laufe des Lebens (Center on the Developing Child., 2012).....	21
Abbildung 5: Entwicklung der Inhibition im Alter von 4 bis 13 Jahren (Davidson et al., 2006, S. 52).	23
Abbildung 6. Projizierte Entwicklungspfade der Exekutivbereiche (Anderson et al., 2002) (Anderson et al. haben hier zusätzlich die Zielsetzung als eigene exekutive Funktion angeführt.)	25
Abbildung 7: Homunculus: Bildliche Darstellung der Repräsentation der Körperteile im motorischen Cortex (Lecturio, 2017a).	38
Abbildung 8: Vereinfachte Darstellung der Bewegungsbahnen und Funktionsschleifen bis zur tatsächlich ausgeführten Bewegung (BVMed, o.J.)	39
Abbildung 9: Relevante neuronale Netzwerke für die Lese- und Mathematikleistungen in Anlehnung an Hillman et al., 2008	44
Abbildung 10: Konzentrationsfähigkeit im Verlauf eines Schulvormittages (Leitner & Kainberger, 2015, S. 22).....	47
Abbildung 11: Meta-analytische Befunde zu den Auswirkungen von Bewegungstraining auf die Kognition bei älteren Erwachsenen (Hillman et al., 2008, S. 60)	49
Abbildung 12: Ein heuristisches Diagramm zum Verständnis der Neurobiologie von Bewegung und körperlicher Aktivität (nach Dishman et al., 2006, S. 348).....	59
Abbildung 13: Beispiele für Lösungen unter Bedingung eins	69
Abbildung 14: Beispiele für Lösungen unter Bedingung zwei.....	69
Abbildung 15: Beispiele für Lösungen unter Bedingung drei.....	70

Abbildung 16: Entwicklung der Gesamtergebnisse (Anzahl der richtigen Designs) zu den drei Testzeitpunkten für die Regel- und Sportklassen bzw. der Kontroll- und Versuchsgruppe	78
Abbildung 17: Durchschnittliche Anzahl aller richtig gelösten Designs über die drei Testzeitpunkte für die Regel- und Sportklassen	79
Abbildung 18: Entwicklung von Bedingung 1 bei Regel- und Sportklassen	81
Abbildung 19: Boxplot der Summe aller richtigen Designs bei Bedingung 1 bei Regel- und Sportklassen.....	82
Abbildung 20: Entwicklung von Bedingung 2 bei Kontroll- und Versuchsgruppe.....	84
Abbildung 21: Entwicklung von Bedingung 2 bei Regel- und Sportklassen	85
Abbildung 22: Entwicklung von Bedingung 3 bei Kontroll- und Versuchsgruppe.....	87
Abbildung 23: Entwicklung von Bedingung 3 bei Regel- und Sportklassen	87
Abbildung 24: Entwicklung der Summe durchschnittlich richtig gelösten Designs von Bedingung 1 und 2 über die drei Testzeitpunkte für die Kontroll- und Versuchsgruppe	90
Abbildung 25: Entwicklung der Summe durchschnittlich richtig gelösten Designs von Bedingung 1 und 2 über die drei Testzeitpunkte für die Regel- und Sportklassen	91
Abbildung 26: Entwicklung der Korrektheit über die drei Testzeitpunkte für die Kontroll- und Versuchsgruppe	93
Abbildung 27: Entwicklung der Korrektheit über die drei Testzeitpunkte für die Regel- und Sportklassen.....	94
Abbildung 28: Entwicklung der richtigen Designs in den unterschiedlichen Gruppen ..	98
Abbildung 29: Entwicklung der richtigen Designs bei den Regel- und Sportklassen (alle)	99
Abbildung 30: Entwicklung der richtigen Designs bei der Kontroll- und Versuchsgruppe (alle)	100

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Konzepte und Komponenten der exekutiven Funktionen bei unterschiedlichen Autoren (Jurado & Rosselli, 2007, S. 214)	12
Tabelle 2: Exekutivfunktionen sind für fast jeden Aspekt des Lebens wichtig (Diamond, 2013, S. 137)	27
Tabelle 3: Zusammenfassung der Wege, auf denen aerobes Training die exekutive Funktion beeinflusst (nach Best, 2010, S. 339)	52
Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse experimenteller Studien, die die Auswirkungen von akuter Bewegung auf die exekutive Funktion von Kindern bewerten (Best, 2010, S. 335).....	58
Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse von experimentellen Studien, die die Auswirkungen von chronischer Bewegung auf die exekutive Funktion von Kindern untersuchen (Best, 2010, S. 334)	61
Tabelle 6: Einteilung der Klassen in Kontroll- und Versuchsgruppe	66
Tabelle 7: Anzahl und Geschlechteraufteilung von Experimentalgruppe, Kontrollgruppe, Regel- und Sportklasse	67
Tabelle 8: Alter von Kontroll- und Versuchsgruppe, Regel- und Sportklasse nach Geschlecht	67
Tabelle 9: Übersicht aller Schülerinnen und Schülern in den unterschiedlichen Gruppen, die an allen drei Testzeitpunkten teilgenommen haben.	76
Tabelle 10: Entwicklung der exekutiven Funktionen Gesamt (EFG) für alle Gruppen ...	77
Tabelle 11: Entwicklung von Bedingung 1 bei allen vier Gruppen.....	80
Tabelle 12: Entwicklung von Bedingung 2 bei allen vier Gruppen.....	83
Tabelle 13: Entwicklung von Bedingung 3 bei allen vier Gruppen.....	86
Tabelle 14: Übersicht über die Entwicklung von EF12 bei allen Gruppen	88
Tabelle 15: Übersicht über die Entwicklung der Korrektheit bei allen Gruppen	92
Tabelle 16: Anzahl der ausgewerteten Design-Fluency-Tests bei t0, t1 und t2.....	97

9 Anhang

Gesamtergebnisse	121
Tabelle A 1: Innersubjekteffekte für alle Gruppen	120
Tabelle A 2: Zwischensubjekteffekte für alle Gruppen	120
Tabelle A 3: Post Hoc Analyse - Zeit - Gesamtergebnisse	121
Tabelle A 4: Post Hoc Analyse - Zeit * RK/SK - Gesamtergebnisse	121
Tabelle A 5: Post Hoc Analyse - Zeit * KG/VG - Gesamtergebnisse.....	122
Tabelle A 6: Post Hoc Analyse - Regelklasse/Sportklasse - Gesamtergebnisse.....	122
Bedingung 1	123
Abbildung A 1: Entwicklung von Bedingung 1 bei Kontroll- und Versuchsgruppe	122
Tabelle A 7: Innersubjekteffekte für alle Gruppen bei Bedingung 1.....	123
Tabelle A 8: Zwischensubjekteffekte: für alle Gruppen bei Bedingung 1	123
Tabelle A 9: Post Hoc Analyse - Zeit - Bedingung 1.....	124
Tabelle A 10: Post Hoc Analyse - Zeit * Regelklasse/Sportklasse - Bedingung 1.	124
Tabelle A 11: Post Hoc Analyse - Regelklasse/Sportklasse - Bedingung 1	124
Bedingung 2	126
Tabelle A 12: Innersubjekteffekte für alle Gruppen bei Bedingung 2.....	125
Tabelle A 13: Zwischensubjekteffekte: für alle Gruppen bei Bedingung 2	125
Tabelle A 14: Post Hoc Analyse - Zeit - Bedingung 2.....	126
Tabelle A 15: Post Hoc Analyse - Zeit * Kontrollgruppe/Versuchsgruppe - Bedingung 2	126
Tabelle A 16: Post Hoc Analyse - Regelklasse/Sportklasse - Bedingung 2	126
Bedingung 3	128
Tabelle A 17: Innersubjekteffekte für alle Gruppen bei Bedingung 3.....	127
Tabelle A 18: Zwischensubjekteffekte für alle Gruppen bei Bedingung 3	127
Tabelle A 19: Post Hoc Analyse - Zeit - Bedingung 3.....	127

EF12	129
Tabelle A 20: Innersubjekteffekte für alle Gruppen bei der Summe aus Bedingung 1 und 2	128
Tabelle A 21: Zwischensubjekteffekte für alle Gruppen bei der Summe aus Bedingung 1 und 2	128
Tabelle A 22: Post Hoc Analyse - Zeit - EF12	129
Tabelle A 23: Post Hoc Analyse - Zeit * Regelklasse/Sportklasse - EF12	129
Tabelle A 24: Post Hoc Analyse - Regelklasse/Sportklasse - EF12.....	129
Abbildung A 2: Boxplot der Summe aller richtigen Designs bei Bedingung 1 und 2 zusammen (EF12)	130
 Korrektheit	 131
Tabelle A 25: Innersubjekteffekte für alle Gruppen bei der Korrektheit der versuchten Aufgaben.....	130
Tabelle A 26: Post Hoc Analyse – Zeit – Korrektheit.....	131
Tabelle A 27: Post Hoc Analyse - Zeit * Kontrollgruppe/Veruchsgruppe - Korrektheit.....	131
Tabelle A 28: Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianz - Korrektheit	131

Gesamtergebnisse

Tabelle A 1: Innersubjekteffekte für alle Gruppen

	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	η^2_p
Zeit	Greenhouse-Geisser	35362.7	1.95	18115.78	499.479	< .001	0.487
Zeit * KG/VG	Greenhouse-Geisser	298.6	1.95	152.98	4.218	0.016	0.008
Zeit * RK/SK	Greenhouse-Geisser	368.3	1.95	188.67	5.202	0.006	0.010
Zeit * KG/VG * RK/SK	Greenhouse-Geisser	16.5	1.95	8.44	0.233	0.787	0.000
Residual	Greenhouse-Geisser	37240.4	1026.77	36.27			

Note. Type 3 Sums of Squares

Tabelle A 2: Zwischensubjekteffekte für alle Gruppen

	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p	η^2_p
KG/VG	10.4	1	10.4	0.0799	0.778	0.000
RK/SK	1580.8	1	1580.8	12.0925	< .001	0.022
KG/VG * RK/SK	34.8	1	34.8	0.2661	0.606	0.001

	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p	η^2_p
Residual	6876 3.4	52 6	130.7			

Note. Type 3 Sums of Squares

Tabelle A 3: Post Hoc Analyse - Zeit - Gesamtergebnisse

Vergleich		Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe
t0	t1	-6.85	0.372	1052	-18.4	< .001
	t2	-11.69	0.372	1052	-31.5	< .001
t1	t2	-4.83	0.372	1052	-13.0	< .001

Tabelle A 4: Post Hoc Analyse - Zeit * RK/SK - Gesamtergebnisse

Vergleich		Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe
t0	Regelkl. - t0 Sportkl.	-0.645	0.724	1090	-0.892	0.977
t1	Regelkl. - t1 Sportkl.	-2.654	0.724	1090	-3.666	0.020
t2	Regelkl. - t2 Sportkl.	-2.783	0.724	1090	-3.845	0.012

Tabelle A 5: Post Hoc Analyse - Zeit * KG/VG - Gesamtergebnisse

Vergleich									
Zeit	KG/VG	Zeit	KG/VG	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe	
t0	KG	- t0	VG	0.901	0.724	1090	1.244	0.907	
t1	KG	- t1	VG	0.668	0.724	1090	0.922	0.947	
t2	KG	- t2	VG	-1.074	0.724	1090	-1.484	0.820	

Tabelle A 6: Post Hoc Analyse - Regelklasse/Sportklasse - Gesamtergebnisse

Vergleich							
RK/SK	RK/SK	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe	
Regelklasse	- Sportklasse	-2.03	0.583	526	-3.48	< .001	

Bedingung 1

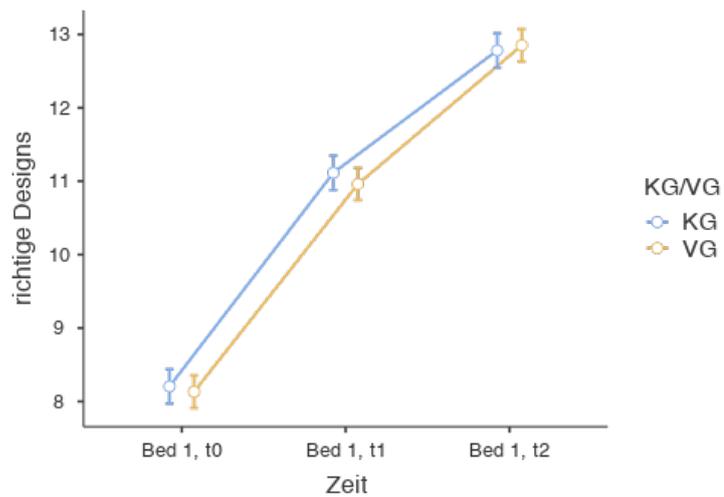


Abbildung A 1: Entwicklung von Bedingung 1 bei Kontroll- und Versuchsgruppe

Tabelle A 7: Innersubjekteffekte für alle Gruppen bei Bedingung 1

	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	η^2p
Zeit	Greenhouse-Geisser	5639.92	1.95	2886.73	345.849	< .001	0.397
Zeit * KG/VG	Greenhouse-Geisser	3.25	1.95	1.67	0.200	0.814	0.000
Zeit * RK/SK	Greenhouse-Geisser	72.46	1.95	37.09	4.444	0.013	0.008
Zeit * KG/VG * RK/SK	Greenhouse-Geisser	6.73	1.95	3.44	0.413	0.657	0.001
Residual	Greenhouse-Geisser	8577.73	1027.67	8.35			

Note. Type 3 Sums of Squares

Tabelle A 8: Zwischensubjekteffekte: für alle Gruppen bei Bedingung 1

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	η^2p
KG/VG	1.02	1	1.02	0.0434	0.835	0.000
RK/SK	276.26	1	276.26	11.7193	< .001	0.022
KG/VG * RK/SK	83.72	1	83.72	3.5515	0.060	0.007
Residual	12399.41	526	23.57			

Note. Type 3 Sums of Squares

Tabelle A 9: Post Hoc Analyse - Zeit - Bedingung 1

Vergleich							
Zeit		Zeit	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe
Bed 1, t0	-	Bed 1, t1	-2.87	0.178	1052	-16.09	< .001
	-	Bed 1, t2	-4.65	0.178	1052	-26.06	< .001
Bed 1, t1	-	Bed 1, t2	-1.78	0.178	1052	-9.97	< .001

Tabelle A 10: Post Hoc Analyse - Zeit * Regelklasse/Sportklasse - Bedingung 1

Vergleich								
Zeit	RK/SK	Zeit	RK/SK	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe
Bed 1, t0	Regelkl.	Bed 1, t0	Sportkl.	-0.291	0.32 2	1215	-0.904	0.976
Bed 1, t1	Regelkl.	Bed 1, t1	Sportkl.	-0.901	0.32 2	1215	-2.799	0.166
Bed 1, t2	Regelkl.	Bed 1, t2	Sportkl.	-1.350	0.32 2	1215	-4.193	0.004

Tabelle A 11: Post Hoc Analyse - Regelklasse/Sportklasse - Bedingung 1

Vergleich							
RK/SK		RK/SK	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe
Regelklasse	-	Sportklasse	-0.848	0.248	526	-3.42	< .001

Bedingung 2

Tabelle A 12: Innersubjekteffekte für alle Gruppen bei Bedingung 2

	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	η^2p
Zeit	Greenhouse- Geisser	6389.50	1.95	3284.33	333.144	< .001	0.388
Zeit *	Greenhouse- Geisser	102.82	1.95	52.85	5.361	0.005	0.010
KG/VG							
Zeit *	Greenhouse- Geisser	52.20	1.95	26.83	2.722	0.068	0.005
RK/SK							
Zeit *	Greenhouse- Geisser	9.98	1.95	5.13	0.520	0.590	0.001
KG/VG *							
RK/SK							
Residual	Greenhouse- Geisser	10088.36	1023.31	9.86			

Note. Type 3 Sums of Squares

Tabelle A 13: Zwischensubjekteffekte: für alle Gruppen bei Bedingung 2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	η^2p
KG/VG	0.995	1	0.995	0.0396	0.842	0.000
RK/SK	309.081	1	309.081	12.3101	< .001	0.023
KG/VG * RK/SK	13.846	1	13.846	0.5515	0.458	0.001
Residual	13206.755	526	25.108			

Note. Type 3 Sums of Squares

Tabelle A 14: Post Hoc Analyse - Zeit - Bedingung 2

Vergleich							
Zeit		Zeit	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe
Bed 2, t0	-	Bed 2, t1	-2.88	0.193	1052	-14.9	< .001
	-	Bed 2, t2	-4.97	0.193	1052	-25.7	< .001
Bed 2, t1	-	Bed 2, t2	-2.09	0.193	1052	-10.8	< .001

Tabelle A 15: Post Hoc Analyse - Zeit * Kontrollgruppe/Versuchsgruppe - Bedingung 2

Vergleich									
Zeit	KG/VG		Zeit	KG/VG	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe
t0	KG	-	t0	VG	0.380	0.339	1267	1.119	0.940
t1	KG	-	t1	VG	0.246	0.339	1267	0.724	0.991
t2	KG	-	t2	VG	-0.778	0.339	1267	-2.293	0.386

Tabelle A 16: Post Hoc Analyse - Regelklasse/Sportklasse - Bedingung 2

Vergleich							
RK/SK		RK/SK	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe
Regelklasse	-	Sportklasse	-0.896	0.256	526	-3.51	< .001

Bedingung 3

Tabelle A 17: Innersubjekteffekte für alle Gruppen bei Bedingung 3

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	η^2p
Zeit	1097.68	2	548.84	97.581	< .001	0.156
Zeit * KG/VG	31.39	2	15.69	2.790	0.062	0.005
Zeit * RK/SK	20.69	2	10.35	1.840	0.159	0.003
Zeit * KG/VG * RK/SK	2.77	2	1.39	0.247	0.781	0.000
Residual	5916.90	1052	5.62			

Note. Type 3 Sums of Squares

Tabelle A 18: Zwischensubjekteffekte für alle Gruppen bei Bedingung 3

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	η^2p
KG/VG	10.4	1	10.4	0.769	0.381	0.001
RK/SK	30.9	1	30.9	2.294	0.130	0.004
KG/VG * RK/SK	48.6	1	48.6	3.611	0.058	0.007
Residual	7083.5	526	13.5			

Note. Type 3 Sums of Squares

Tabelle A 19: Post Hoc Analyse - Zeit - Bedingung 3

Vergleich		Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe
Zeit	Zeit					
Bed 3, t0	- Bed 3, t1	-1.098	0.148	1052	-7.41	< .001
	- Bed 3, t2	-2.068	0.148	1052	-13.96	< .001
Bed 3, t1	- Bed 3, t2	-0.970	0.148	1052	-6.55	< .001

EF12

Tabelle A 20: Innersubjekteffekte für alle Gruppen bei der Summe aus Bedingung 1 und 2

	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	η^2p
Zeit	Greenhouse-Geisser	24024.8	1.94	12375.63	465.963	< .001	0.470
Zeit * KG/VG	Greenhouse-Geisser	138.6	1.94	71.41	2.689	0.070	0.005
Zeit * RK/SK	Greenhouse-Geisser	216.7	1.94	111.63	4.203	0.016	0.008
Zeit * KG/VG * RK/SK	Greenhouse-Geisser	10.3	1.94	5.31	0.200	0.812	0.000
Residual	Greenhouse-Geisser	27120.3	1021.13	26.56			

Note. Type 3 Sums of Squares

Tabelle A 21: Zwischensubjekteffekte für alle Gruppen bei der Summe aus Bedingung 1 und 2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	η^2p
KG/VG	1.80e-4	1	1.80e-4	2.09e-6	0.999	0.000
RK/SK	1170	1	1169.8	13.57	< .001	0.025
KG/VG * RK/SK	166	1	165.7	1.92	0.166	0.004
Residual	45343	526	86.2			

Note. Type 3 Sums of Squares

Tabelle A 22: Post Hoc Analyse - Zeit - EF12

Vergleich							
Zeit		Zeit	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe
EF12, t0	-	EF12, t1	-5.75	0.317	1052	-18.1	< .001
	-	EF12, t2	-9.62	0.317	1052	-30.3	< .001
EF12, t1	-	EF12, t2	-3.86	0.317	1052	-12.2	< .001

Tabelle A 23: Post Hoc Analyse - Zeit * Regelklasse/Sportklasse - EF12

Vergleich									
Zeit	RK/SK		Zeit	RK/SK	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe
t0	Regelkl.	-	t0	Sportkl.	-0.688	0.598	1140	-1.15	0.933
t1	Regelkl.	-	t1	Sportkl.	-2.176	0.598	1140	-3.64	0.022
t2	Regelkl.	-	t2	Sportkl.	-2.367	0.598	1140	-3.96	0.008

Tabelle A 24: Post Hoc Analyse - Regelklasse/Sportklasse - EF12

Vergleich							
RK/SK		RK/SK	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe
Regelklasse	-	Sportklasse	-1.74	0.473	526	-3.68	< .001

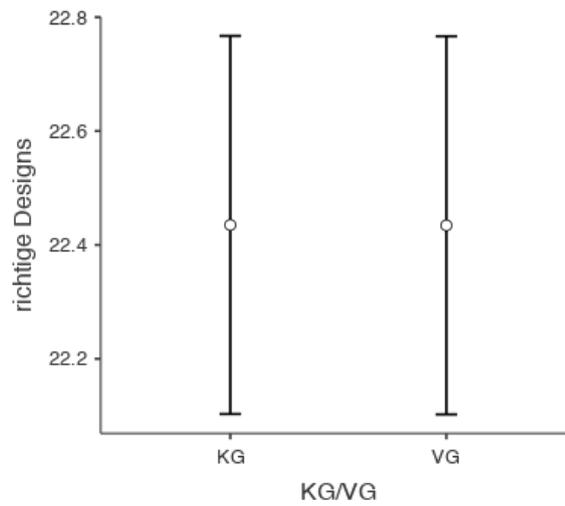


Abbildung A 2: Boxplot der Summe aller richtigen Designs bei Bedingung 1 und 2 zusammen (EF12)

Korrektheit

Tabelle A 25: Innersubjekteffekte für alle Gruppen bei der Korrektheit der versuchten Aufgaben

	Sum Squares	of df	Mean Square	F	p	η^2p
Zeit	7285.0	2	3642.5	32.517	< .001	0.058
Zeit * KG/VG	1427.1	2	713.5	6.370	0.002	0.012
Zeit * RK/SK	46.0	2	23.0	0.205	0.814	0.000
Zeit * KG/VG * RK/SK	253.9	2	127.0	1.133	0.322	0.002
Residual	117843.4	1052	112.0			

Note. Type 3 Sums of Squares

Tabelle A 26: Post Hoc Analyse – Zeit – Korrektheit

Vergleich							
Zeit	Zeit	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe	
t0	- t1	-1.31	0.661	1052	-1.98	0.143	
	- t2	-5.13	0.661	1052	-7.76	< .001	
t1	- t2	-3.82	0.661	1052	-5.78	< .001	

Tabelle A 27: Post Hoc Analyse - Zeit * Kontrollgruppe/Veruchsgruppe - Korrektheit

Vergleich									
Zeit	KG/VG	Zeit	KG/VG	Mittlere Differenz	SE	df	t	pscheffe	
t0	KG	- t0	VG	1.948	1.164	1260	1.673	0.731	
t1	KG	- t1	VG	-1.663	1.164	1260	-1.429	0.843	
t2	KG	- t2	VG	-2.488	1.164	1260	-2.137	0.472	

Tabelle A 28: Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianz - Korrektheit

	F	df1	df2	p
Korrektheit t0 in %	2.50	3	526	0.059
Korrektheit t1 in %	1.31	3	526	0.272
Korrektheit t2 in %	4.32	3	526	0.005