

Aus der
Universitätsklinik für Psychiatrie und Psychotherapie Tübingen
Abteilung Allgemeine Psychiatrie und Psychotherapie mit
Poliklinik

**Prädiktoren für Lern- und Therapieerfolg eines
Nahinfrarotspektroskopie-basierten Neurofeedbacktrainings
für Kinder mit einer
Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Shin-Junghanß, Ye-Si

2023

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. T. Renner

2. Berichterstatter: Professor Dr. Dr. H.-O. Karnath

Tag der Disputation: 11.07.2023

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
1 Einleitung	
1.1 Aufmerksamkeitsdefizit- und Hyperaktivitätsstörung (ADHS)	8
1.2 Ätiopathogenese	9
1.2.1 Endophänotypen	11
1.2.2 Neurobiologie	12
1.2.3 Neurophysiologie	14
1.2.3.1 Elektroenzephalographie (EEG)-Befunde	
1.2.3.2 Befunde aus funktionellen Bildgebungsverfahren	15
1.2.4 Neuropsychologie	16
1.3 Klinische Ausprägung und Relevanz	17
1.4 Therapie	
1.4.1 Nicht-medikamentöse Therapieansätze	17
1.4.2 Medikamentöse Therapieansätze	19
1.5 Neurofeedbacktraining als Therapieansatz	20
1.5.1 Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) als Neurofeedbackmethode	22
1.5.2 Differenzierung Lerner und Nicht-Lerner	23
1.5.3 Lernerfolg und Therapieerfolg	24
1.5.4 Prädiktoren für Lern- und Therapieerfolg im NFT	25
1.5.5 Impliziert Lernerfolg Therapieerfolg?	28
1.6 Hypothesen	30
2 Material und Methoden	
2.1 Versuchspersonen und Rekrutierung	30
2.2 Ein- und Ausschlusskriterien	32
2.3 Apparative Messgeräte	33
2.4 Ablauf der Neurofeedbackstudie	
2.4.1 Prä-, Post- und Follow up-Test	35
2.4.2 Trainingssitzungen	36
2.5. Definition Lern- und Therapieerfolg	38

2.6	Prädiktoren	39
2.7	Statistische Analysen	40
3	Ergebnisse	
3.1	Lernerfolg der Versuchspersonen	43
3.2	Therapieerfolg der Versuchspersonen	
3.2.1	Conners Skalen Elternversion	44
3.2.2	Conners Skalen Lehrerinnen- und Lehrerversion	45
3.2.3	Go/NoGo Aufgabe	46
3.3	Prädiktoren für Lernerfolg und Therapieerfolg	
3.3.1	Motivation als Prädiktorvariable	49
3.3.2	Regulatorische Kapazität als Prädiktorvariable	49
3.4	Impliziert Lernerfolg Therapieerfolg?	53
4	Diskussion	54
4.1	Bewertung der Prädiktoren	55
4.2.	Weitere mögliche Einflussfaktoren auf Lern- und Therapieerfolg im NFT	58
4.3	Limitationen	64
5	Zusammenfassung	66
6	Literaturverzeichnis	68
7	Anhang	88
	Erklärung zum Eigenanteil	91
	Danksagung	92

Abkürzungsverzeichnis

ADHS	Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung
BAIAP2	Brain-specific angiogenesis inhibitor 1-associated protein 2 (gehirnspezifisches Angiogenese-Inhibitor-1-assoziiertes Protein 2)
BFT	Biofeedbacktraining
BRIEF	<i>Behavior Rating Inventory of Executive Function</i>
CNV	contingent negative variation (kontingente negative Variation)
CPRS-R	<i>Revised Conners Parents' Rating Scale</i>
CTRS-R	<i>Revised Conners Teachers' Rating Scale</i>
desoxy-Hb	desoxygeniertes Hämoglobin
dIPFC	dorsolateraler Präfrontalkortex
DAT	Aktiver Dopamintransporter
DRD4	Dopaminrezeptor-D4
DSM-5	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 5
EEG	Elektroenzephalographie
EMG	Elektromyographie
ERP	event related potential (Ereigniskorreliertes Potential)
5-HTT	5-Hydroxytryptamintransporter
HTR1B	Hydroxytryptaminrezeptor 1B
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
fu	follow up
Hz	Hertz
ICD-10	10. Version des International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
ICD-11	11. Version des International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
NF	Neurofeedback
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
oxy-Hb	oxygeniertes Hämoglobin
SCP	slow cortical potential (langsames kortikales Potential)
SNAP25	Synaptosomal-assoziiertes Protein 25
vIPFC	ventrolateraler Präfrontalkortex

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Mittlere Lernindizes (%) der Trainingssitzungen in S2bis S4 und S12 bis S14	43
Abbildung 2	Mittlere Reaktionszeiten (ms) in der Go/NoGo Aufgabe zu den drei Testzeitpunkten	46
Abbildung 3	Standardabweichungen der Reaktionszeiten (ms) in der Go/NoGo Aufgabe zu den drei Testzeitpunkten (prä/post/follow up)	47
Abbildung 4	Ausrichtung der NIRS-Optoden in Projektion auf den Kortex	87
Abbildung 5	Zeitlicher Ablauf der Studie	88
Abbildung 6	Screenshot des virtuellen Klassenzimmers	89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Ergebnisse der Conners Skalen der Elternversion und Lehrerinnen- und Lehrerversion zu den jeweiligen Testzeitpunkten	46
Tabelle 2	Ergebnisse der Reaktionszeiten und Standardabweichung der Reaktionszeiten in der Go/NoGo Aufgabe zu den jeweiligen Testzeitpunkten	48
Tabelle 3	Kommissionsfehler und Omissionsfehler in der Go/NoGo Aufgabe zu den jeweiligen Testzeitpunkten	49
Tabelle 4	Übersicht Regressionen Motivation und Lernerfolg bzw. Therapieerfolg	51
Tabelle 5	Übersicht Regressionen regulatorische Kapazität und Lernerfolg bzw. Therapieerfolg	52
Tabelle 6	Übersicht Regressionen Lernerfolg und Therapieerfolg	54

1 Einleitung

1.1 Aufmerksamkeitsdefizit- und Hyperaktivitätsstörung (ADHS)

Die Aufmerksamkeitsdefizit- und Hyperaktivitätsstörung (ADHS) ist eine der häufigsten psychischen Erkrankungen des Kindes- und Jugendalters und zeichnet sich durch die Kernsymptome Unaufmerksamkeit, Hyperaktivität und Impulsivität aus. Um die Diagnose einer ADHS zu stellen, müssen die Diagnosekriterien der 10. Version der International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (ICD-10) (World Health Organization, 1997) oder des Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 5 (DSM-5) erfüllt sein. Seit dem 1. Januar 2022 ist die 11. Version der International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (ICD-11) in Kraft, jedoch wird diese in Deutschland erst nach einer mehrjährigen Übergangszeit endgültig in der Praxis in Kraft treten (Gaebel, 2021). Aufgrund der internationalen Gültigkeit liegt dieser Arbeit das Klassifikationssystem DSM-5 zugrunde. Gemäß der Definition des DSM-5, herausgegeben durch die American Psychiatric Association (APA), müssen die Symptome Unaufmerksamkeit, Hyperaktivität und Impulsivität in einem Ausmaß ausgeprägt sein, welches nicht dem Alter, Entwicklungsstand und der Intelligenz des Kindes entspricht und in verschiedenen Lebensbereichen überdauernd und situationsübergreifend zu wesentlichen Beeinträchtigungen führen. Das Klassifikationsschema nach DSM-5 differenziert zwischen drei klinischen Präsentationsformen der ADHS: der vorwiegend unaufmerksamen, der vorwiegend hyperaktiv-impulsiven und der kombinierten Form. Die Ausprägung muss jeweils vor dem 12. Lebensjahr auftreten und sich mindestens 6 Monate überdauernd sowie in mindestens zwei verschiedenen Lebensbereichen, wie beispielsweise in der Schule und im häuslichen Umfeld, manifestieren. Das Klassifikationsschema nach ICD-10 verwendet den Begriff „Einfache Aktivitäts- und Aufmerksamkeitsstörung“, welche unter der Kategorie „Hyperkinetische Störung“ eingeordnet ist. Für die Diagnose müssen, anders als im DSM-5, alle drei Kernsymptome erfüllt sein: dabei mindestens 6 von 9 Kriterien für „Unaufmerksamkeit“, mindestens 3 von 5 für „Hyperaktivität“ und mindestens 1 von 4 für „Impulsivität“. Weiterhin definiert die ICD-10 eine niedrigere Altersgrenze mit einem Symptombeginn vor dem 7. Lebensjahr. Sie schreibt eine Einschränkung durch die Symptomatik in mehr als einer Situation vor, während nach dem DSM-5 eine

Einschränkung in mindestens zwei Lebensbereichen vorliegen muss. Gemäß der ICD-10 darf die Diagnose einer einfachen Aktivitäts- und Aufmerksamkeitsstörung nur gestellt werden, wenn die Diagnosekriterien für eine tiefgreifende Entwicklungsstörung, eine manische Episode, eine depressive Episode oder eine Angststörung nicht erfüllt sind. Das DSM-5 setzt voraus, dass die Symptomatik nicht im Rahmen einer Schizophrenie oder anderen psychotischen Erkrankung auftritt und nicht durch eine andere psychische Störung besser erklärbar ist (z.B. affektive Störung, Angststörung, dissoziative Störung, Persönlichkeitsstörung, Substanzmissbrauch oder -entzug). Die ICD-11 verwendet ebenfalls den Begriff der Aufmerksamkeitsdefizit- und Hyperaktivitätsstörung und differenziert zwischen drei Subtypen: der überwiegend unaufmerksamen Form, der überwiegend hyperaktiv-impulsiven Form und der kombinierten Form. In den Diagnosekriterien liegt eine Annäherung an das DSM-5 vor: die Symptome müssen vor dem 12. Lebensjahr auftreten und mindestens 6 Monate überdauern. Außerdem müssen mehrere Lebensbereiche (z.B. Schule, Freundschaften, Familie) von der Symptomatik beeinträchtigt sein.

Die weltweite Prävalenz der ADHS im Kindesalter beträgt etwa 5 % (Faraone et al., 2015). Es zeigte sich, dass mit der Diagnose ein signifikant erhöhtes Auftreten schulischer Schwierigkeiten im Kindes- und Jugendalter assoziiert ist, außerdem ein niedrigerer sozioökonomischer Status und höhere Scheidungsraten im Erwachsenenalter sowie eine signifikant erhöhte Prävalenz für dissoziale Persönlichkeitsstörungen und Substanzmissbrauch (Klein et al., 2012).

Bis zu 85 % der Betroffenen mit einer ADHS weisen mindestens eine weitere psychische Erkrankung auf. Zu den häufigsten Komorbiditäten bei Kindern mit einer ADHS zählen die Störung des Sozialverhaltens und die oppositionelle Störung. Auch affektive Störungen, Angsterkrankungen und Tic-Störungen treten als Komorbiditäten auf (Pliszka, 2003, Wehmeier, Schacht, & Barkley, 2010).

1.2 Ätiopathogenese

Zur Entstehung der ADHS wird eine komplexe multifaktorielle Genese diskutiert, in der genetische Faktoren sowie prä-, peri- und postnatale Einflüsse zur Pathogenese beitragen und eine Interaktion zwischen genetischen Faktoren und

Umweltfaktoren stattfindet (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, 2017; Faraone & Larsson, 2019).

Genetik. Zwillings- und Familienstudien zeigten eine hohe Heritabilität von bis zu 74 % (Faraone & Larsson, 2019). Der ADHS zugrunde liegende genetische Prozesse werden als komplex beschrieben, es wird von einer polygenetischen Genese ausgegangen. Als Gene, die in der Heritabilität der Erkrankung eine wesentliche Rolle spielen, konnten vor allem Gene, welche in Codierungsprozesse des Katecholamin-Stoffwechsels involviert sind, identifiziert werden, hierunter das DRD4- und DRD5-Gen (Dopaminrezeptor-D4- bzw. -D5-Gen), das DAT1-Gen (*dopamine active transporter*, aktiver Dopamintransporter), das Dopamin-Dehydroxylase-Gen (DBH), weiterhin das 5-HTT-Gen, das für Serotonintransporter (5-Hydroxytryptamintransporter) und das HTR1B-Gen, das für Serotoninrezeptoren (Hydroxytryptaminrezeptor 1B) codiert, außerdem das SNAP-25-Gen, das für das synaptosomal-assoziierte Protein, welches in die Freisetzung von Neurotransmittern involviert ist, codiert (Biederman & Faraone, 2005; Faraone et al., 2005; Fisher et al., 2002). Weitere Gene, zu denen eine Verbindung analysiert wurde, sind das BAIAP2-Gen (*brain-specific angiogenesis inhibitor 1-associated protein 2*, gehirnspezifisches Angiogenese-Inhibitor-1-assoziiertes Protein 2), das BAIAP2 ist in neuronale Wachstums- und Reifungsprozesse involviert (Bonvicini et al., 2016).

Umweltfaktoren. Verschiedene Studien fanden Einflüsse mütterlichen Übergewichts vor und während der Schwangerschaft auf die spätere Manifestation einer ADHS (Chen et al., 2014; Jo et al., 2015; Rodriguez et al., 2008). Mütterlicher Nikotinkonsum während der Schwangerschaft als kausaler Faktor ist umstritten, es liegt diesbezüglich eine inkonsistente Studienlage vor. Einerseits gibt es Forschungsergebnisse, welche zeigen, dass mütterlicher Nikotinkonsum während der Schwangerschaft und das Auftreten einer ADHS in kausalem Zusammenhang stehen (Holz et al., 2014; Knopik et al., 2016; Linnet et al., 2003), jedoch gibt es etliche Studien, die keine Kausalität zwischen Nikotinkonsum und einem erhöhten Risiko für die Entwicklung einer ADHS nachweisen konnten und die davon ausgehen, dass der Zusammenhang zwischen Nikotinkonsum während der Schwangerschaft und ADHS durch genetische und familiäre Störfaktoren bedingt ist (Knopik et al., 2016; Obel et al., 2016; Skoglund et al., 2014). Des Weiteren wurden Zusammenhänge zu einem

niedrigen Geburtsgewicht sowie Frühgeburtlichkeit des Kindes nachgewiesen, jedoch ist auch hier noch ungeklärt, ob es sich dabei um kausale Zusammenhänge handelt oder diese Faktoren lediglich das Risiko für die Manifestation einer ADHS erhöhen (Aarnoudse-Moens et al., 2009; Thapar et al., 2012).

Ähnlich verhält es sich mit psychosozialen Umweltfaktoren wie Vernachlässigung im Kindesalter und ungünstige Erziehungsmethoden durch primäre Bezugspersonen, niedriger sozioökonomischer Status oder Mobbing Erfahrungen. Es zeigen sich Zusammenhänge, jedoch konnte bisher nicht hinreichend geklärt werden, ob eine Kausalität zur Pathogenese besteht oder ob soziale bzw. familiäre Umweltfaktoren vielmehr eine Reaktion auf Symptome und Verhaltensweisen von Kindern mit einer ADHS darstellen (Thapar et al., 2012).

1.2.1 Endophänotypen

Aufgrund der beschriebenen großen genetischen, ätiologischen, pathophysiologischen Heterogenität und klinischen Phänotyp-Heterogenität wird bei der ADHS das Konzept der Endophänotypen verfolgt (Castellanos & Tannock, 2002; Doyle et al., 2005). Ein Endophänotyp wird zwischen Genotyp und Phänotyp eingeordnet und kann neuroanatomischer, neurophysiologischer, neurochemischer, endokrinologischer, kognitiver oder neuropsychologischer Art sein. Es liegt beim Endophänotypen eine direktere Verbindung zum Genotyp vor und es wird von einer geringeren Modifizierung durch Umwelteinflüsse, als es beim Phänotypen der Fall ist, ausgegangen (Gottesman & Gould, 2003). Durch das Konzept der Endophänotypisierung ist eine individuellere Aufschlüsselung verschiedener Dimensionen und somit ein tieferes und differenzierteres Verständnis der ADHS in ihrer Komplexität und Heterogenität möglich (Coghill et al., 2005; Nigg et al., 2005).

Ein verbreitetes Konzept der Klassifizierung verschiedener Endophänotypen ist das von Castellanos & Tannock (2002), in dem folgende drei Kandidaten-Endophänotypen als Modelle vorgeschlagen werden: das erste Modell beschreibt ein fehlreguliertes Belohnungssystem als Endophänotyp, welches zu einem verkürztem Belohnungsaufschub führt. Das zweite Modell postuliert eine veränderte Zeitwahrnehmung- und -verarbeitung als Endophänotyp, was zu Defiziten im Schätzen und in der Reproduktion von Zeitintervallen führt. Das dritte Modell beschreibt als

Endophänotypen Defizite des Arbeitsgedächtnisses mit konsekutiven defizitären exekutiven Funktionen, Aufmerksamkeitsstörungen und phonologischen Verarbeitungsprozessen.

1.2.2 Neurobiologie

Bei Personen mit einer ADHS konnten verschiedene neuroanatomische Veränderungen nachgewiesen werden. Auf hirnstruktureller Ebene liegt eine bereits langjährige konsistente Studienlage vor, in der Dysfunktionalitäten des Präfrontalkortex (PFC) und der Basalganglien nachgewiesen wurden (u.a. Castellanos, 1997; Nakao et al., 2011). Weiterhin wurden global reduzierte Volumina der grauen Substanz bei Betroffenen mit einer ADHS nachgewiesen (Nakao et al., 2011; Norman et al., 2016; Valera et al., 2007). Hoogman et al. (2017) verglichen in ihrer Querschnitts-Megaanalyse T1-gewichtete Magnetresonanztomographie (MRT)-Daten von insgesamt 1713 Probandinnen und Probanden mit der Diagnose ADHS mit den Daten von 1529 gesunden Teilnehmenden der Kontrollgruppen aus und fanden signifikant reduzierte Volumina der Amygdala, des Nucleus accumbens und des Hippocampus bei Studienteilnehmenden mit ADHS-Diagnose. Resultate früherer Studien, die reduzierte Volumina des Nucleus caudatus und des Putamens nachgewiesen haben (Ellison-Wright et al., 2008; Frodl & Skokauskas, 2012), konnten gestützt und um den Nachweis eines bilateralen Vorliegens der Volumenreduktion erweitert werden.

In den letzten 20 Jahren fand zunehmend eine Entwicklung hin zu einem erweiterten Verständnis pathophysiologischer Befunde statt, indem weniger einzelne Veränderungen bestimmter Hirnareale sondern vielmehr dysfunktionale kortikale Netzwerke in den Fokus rückten (Cortese & Coghill, 2018). Es zeigten sich insbesondere Dysfunktionalitäten im Sinne einer Unteraktivität in frontoparietalen Netzwerken, welche für exekutive Funktionen relevant sind, und in ventralen Aufmerksamkeitsnetzwerken (Cortese et al., 2012).

Verschiedene weitere Metaanalysen, welche die Daten von Bildgebungsverfahren wie der fMRT, der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und der Einzelphotonen-Emissionscomputertomographie (SPECT) analysierten, fanden signifikante Minderaktivitäten des dorsolateralen und inferolateralen PFC, des orbitofrontalen Kortex, der Temporal- und Parietallappen, des anterioren Gyrus cinguli, der

Basalganglien und des Thalamus (Amen et al., 2021; Dickstein et al., 2006; McCarthy et al., 2014). Norman et al. (2016) fanden in ihrer Metaanalyse, in der die fMRT-Daten von 931 Versuchspersonen mit der Diagnose ADHS und 822 gesunden Kontrollpersonen analysiert wurden, neben signifikant geringeren Volumina der grauen Substanz eine signifikante Unterfunktion des ventrolateralen PFC (vlPFC) sowie insulatrialer Regelkreise der Basalganglien.

In einigen Studien zeigten sich Ergebnisse, die darauf hindeuten, dass in der veränderten Hirnphysiologie eine Dynamik vorliegt und funktionelle Defizite sich im Laufe der Zeit verändern können: Nakao et al. (2011) wiesen beispielsweise signifikant reduzierte Volumina der grauen Substanz in den Basalganglien nach und fanden voneinander unabhängige Zusammenhänge zwischen zunehmendem Alter der Versuchspersonen sowie zwischen der Einnahme von Stimulanzien und einer Normalisierung betroffener Hirnregionen im Verlauf. Ebenso zeigte sich in der Metaanalyse von Hart eine Normalisierung funktioneller Defizite im Sinne einer Unteraktivität des dorsolateralen PFC (dlPFC) unter Langzeittherapie mit Psychostimulanzien (Hart et al., 2012). McCarthy et al. (2014b) kamen in ihrer Megaanalyse zu dem Resultat, dass Volumenunterschiede betroffener Hirnareale, welche zwischen Erkrankten und Gesunden nachzuweisen waren, vor allem bei Kindern vorkamen, weniger jedoch im Erwachsenenalter. Sie gehen von einer verspäteten Hirnreifung aus. Weiterhin konnte in dieser Megaanalyse kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen Medikation, Schwere der ADHS-Symptomatik oder Komorbiditäten und cerebralen Veränderungen gefunden werden.

Auf neurochemischer Ebene liegen der Regulation frontostriataler Regelkreise katecholaminerge Transmitterfunktionen zugrunde (Zametkin & Rapoport, 1987). So sind auch in der Pathogenese der ADHS dysfunktionale dopaminerge und noradrenerge Regelkreise von Relevanz (Biederman & Spencer, 1999): Bei Personen mit einer ADHS konnte eine erhöhte Dichte an Dopamintransportern (DAT) mit daraus resultierendem verstärktem Abbau des Neurotransmitters Dopamin nachgewiesen werden (Dougherty et al., 1999; Krause et al., 2000). Weiterhin ist für eine regelrechte Funktion des PFC ein suffizientes Konzentrationsverhältnis des Neurotransmitters Noradrenalin an $\alpha 2$ -Rezeptoren erforderlich, sowohl eine zu niedrige als auch zu hohe Noradrenalin-

Konzentration beeinträchtigt die Funktionsfähigkeit des PFC (Brennan & Arnsten, 2008).

1.2.3 Neurophysiologie

1.2.3.1 Elektroenzephalographie (EEG)-Befunde

Frequenzbänder. Anhand von EEG-Aufzeichnungen konnte bei Kindern mit einer ADHS ein Übermaß an langsamen Theta-Wellen im Verhältnis zu schnelleren Beta-Wellen sowie eine erhöhte Theta/Beta-Ratio nachgewiesen werden (Barry, Clarke, & Johnstone, 2003; Barry, Clarke, Johnstone, McCarthy, & Selikowitz, 2009). Theta-Wellen mit einer Frequenz von 4-8 Hertz (Hz) kommen im schläfrigen Zustand vor, während Beta-Wellen mit einer Frequenz von 20-30 Hz in Zuständen fokussierter Konzentration und Aufmerksamkeit aber auch bei körperlicher Aktivität und Angst vorkommen (Engel & Fries, 2010; Strijkstra et al., 2003; Tanaka et al., 1997). Im Verlauf weiterer Forschung konnte die erhöhte Theta/Beta-Ratio jedoch nicht als diagnostisch verlässlicher Marker bestätigt werden (Arns et al., 2013; Muhammad et al., 2017).

Ereigniskorrelierte Potentiale. Bei den ereigniskorrelierten Potentialen (*event related potentials*, ERP) handelt es sich um EEG-Wellen, die mit beobachtbaren Ereignissen, wie z.B. Sinnesreizen, die auf eine Person einwirken, assoziiert sind. Dabei hängen die Amplituden von bestimmten Faktoren, wie den Eigenschaften des Reizes, dem Grad der Aufmerksamkeit und kognitiven Verarbeitungsprozessen ab (Birbaumer et al., 1990; Hansen & Hillyard, 1980). Antizipation und die kognitive Vorbereitung bei Auftreten eines imperativen Reizes implizieren eine zentrale Negativierung und somit Negativierung der Potentiale, was wiederum zu einer Verkürzung der Latenzzeit motorischer Antworten führt und der Vorbereitung auf eine Reizantwort dient. Dabei handelt es sich um die „*contingent negative variation*“ (CNV), welche eine langsame Form der ERPs darstellt (Walter, 1964). Bei Kindern mit einer ADHS konnten Veränderungen der CNV im Vergleich zu gesunden Kontrollgruppen nachgewiesen werden. Während antizipatorischer Prozesse zeigten sich bei betroffenen Kindern eine geringere Aktivierung frontaler Kortexareale sowie eine positivere Ausrichtung und geringere Amplitude der CNV (Banaschewski et al., 2003; Hennighausen et al., 2000; Perchet et al., 2001).

1.2.3.2 Befunde aus funktionellen Bildgebungsverfahren

Zahlreiche Studien untersuchten in der Vergangenheit funktionelle Veränderungen und Defizite bei Betroffenen mit einer ADHS. In Zusammenschau der bisherigen Studienlage konzentrierten sich Forschungsgruppen vor allem auf den dlPFC und vlPFC (Bush et al., 2005), da diesen Arealen Funktionen wie Aufmerksamkeitsverschiebung, Wachsamkeit, Planungsprozesse, Arbeitsgedächtnis und die Kontrolle exekutiver Funktionen zugrunde liegen, welche bei einer ADHS dysfunktionale Prozesse aufweisen. Bush et al. (2005) stellten in ihrer Metaanalyse zusammengefasst eine Studienlage dar, in der mittels funktioneller Bildgebungsverfahren (fMRT, SPECT, PET) insbesondere in fronto-striatalen Hirnstrukturen wie dem dlPFC, dem vlPFC, dem dorsalen anterioren cingulären Kortex (dACC) sowie den Basalganglien funktionelle Veränderungen im Sinne einer Unteraktivität nachgewiesen wurden.

Einige Ergebnisse sprechen für ein fehlreguliertes Ruhezustandsnetzwerk mit unterbrochenen Verbindungen innerhalb desselben sowie mit unterbrochenen Verbindungen zu kognitiven Kontrollfunktionen. Dabei fand sich ein reduziertes Ruhezustandsnetzwerk im posterioren cingulären Kortex und ein erhöhtes in einem Subsystem des dorsalen medialen PFC (Cao et al., 2006; Chabernaud et al., 2012; Sutubasi et al., 2020). Weiterhin konnten in anderen Studien Veränderungen des kortikalen Blutflusses, wie z.B. eine Asymmetrie in der Blutversorgung des dlPFC beider Hemisphären, nachgewiesen werden: bei Kindern mit einer ADHS war der zerebrale Blutfluss des linken dlPFC erniedrigt sowie der Blutfluss des rechten dlPFC erhöht (Spalletta et al., 2001). Ehli et al. konnten bei Erwachsenen mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)-Messungen ebenfalls einen veränderten Blutfluss des PFC nachweisen: Versuchspersonen mit der Diagnose einer ADHS verfügten über einen im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe geringeren Anstieg der oxygenierten Hämoglobinkonzentration im vlPFC während der Durchführung einer Aufgabe, welche Leistungen des Arbeitsgedächtnisses prüft (Ehli et al., 2008).

Insgesamt liegt eine sehr heterogene Datenlage bezüglich funktioneller Veränderungen bei Personen mit einer ADHS vor. Auch große Metaanalysen, wie z.B. um Cortese et al. (2021), welcher die Daten von 30 Studien untersuchte und Samea et al. (2019), welcher

insgesamt 96 Studien in seine Analyse einschloss, konnten keine signifikanten Übereinstimmungen zwischen den Befunden einzelner Studien nachweisen.

1.2.4 Neuropsychologie

Verschiedene Studien wiesen Defizite exekutiver Funktionen bei Kindern und Erwachsenen mit einer ADHS nach (Barkley, 1997; Biederman et al., 2004; Seidman, 2006).

Neben Aufmerksamkeitssteuerung, gezielter kontextadaptierter Steuerung von Handlungen und Selbstkontrolle zählen auch Planungsprozesse und Prozesse des Arbeitsgedächtnisses zu den exekutiven Funktionen (Pennington & Ozonoff, 1996). Miyake et al. (2000) entwickelten ein Dreifaktoren-Modell, welches drei der am häufigsten in der Literatur postulierten exekutiven Funktionen beinhaltet: *Shifting* - Umschalten zwischen Aufgaben; *Updating* - Aktualisieren und Überwachen von Repräsentationen des Arbeitsgedächtnisses; *Inhibition* - Hemmung dominanter, automatisierter Antworten bzw. Reaktionen.

In einer Metaanalyse mit 83 Studien wurden bezüglich einer Beeinträchtigung exekutiver Funktionen bei Personen mit einer ADHS die stärksten und am meisten konsistenten Effektstärken für die Inhibitionsfähigkeit, Wachsamkeit, das Planungsvermögen und das räumliche Arbeitsgedächtnis analysiert (Willcutt et al., 2005).

Barkley (1997) beschreibt in seinem hierarchischen Modell die ADHS primär als eine Beeinträchtigung der Inhibitionsfähigkeit und differenziert diesbezüglich zwischen drei Prozessen: die unmittelbare Inhibition der Reaktion auf einen Reiz, das Stoppen einer bereits begonnenen Reaktion auf einen Reiz sowie die Interferenzkontrolle, welche vor Ablenkung durch Distraktoren schützt. Ein Defizit besagter Inhibitionsprozesse bedingt nach Barkleys Modell Folgestörungen vierer exekutiver Funktionen: Arbeitsgedächtnis, Sprachinternalisierung, Selbstkontrolle von Affekten, Motivation und Erregungszuständen sowie Rekonstitutionsfähigkeit. Aus diesen Defiziten resultiert laut Barkley die Einschränkung adäquater Selbstkontrolle und der Steuerung des Verhaltens.

1.3 Klinische Ausprägung und Relevanz

Schulkinder mit einer ADHS zeigen oftmals Defizite in schulischen Leistungen als Folge der ADHS-Symptomatik, insbesondere als Folge der Unaufmerksamkeit und der Beeinträchtigung exekutiver Funktionen (Daley & Birchwood, 2010).

Hieraus resultieren schwächere Leistungen im Rechnen und Lesen sowie ein gehäuftes Auftreten von Lernbeeinträchtigungen und ein vermehrter Bedarf an spezieller Förderung im Vergleich zu Kindern ohne eine ADHS (Biederman et al., 1996). Darüber hinaus ist der Anteil derer, die Klassenstufen wiederholen müssen, unter Kindern mit einer ADHS höher, zudem werden durchschnittlich niedrigere Schulabschlüsse erreicht (Biederman et al., 2004; Loe & Feldman, 2007).

Es konnte nachgewiesen werden, dass die Bewertung der Lebensqualität bei Kindern mit einer ADHS durchschnittlich niedriger ausfällt als bei Kindern ohne eine ADHS (Wehmeier et al., 2010), es zeigten sich außerdem Korrelationen zwischen der Stärke der Symptomausprägung und der subjektiven Bewertung einer geminderten Lebensqualität (Danckaerts et al., 2012).

Weiterhin zeigen Kinder mit einer ADHS Schwierigkeiten in der Emotionsregulation sowie darin, Emotionen angemessen auszudrücken und weisen eine geringere Frustrationstoleranz sowie eine niedrigere Ausprägung der Empathiefähigkeit auf. Ebenfalls in sozialen Interaktionen mit Gleichaltrigen lassen sich Beeinträchtigungen durch die Symptomatik evaluieren: das Knüpfen enger Freundschaften kann erschwert sein und im sozialen Umgang zeigen sich gehäuft impulsive, selbstbezogene, eher feindselige und dominante Verhaltensweisen (Wehmeier et al., 2010).

1.4 Therapie

1.4.1 Nicht-medikamentöse Therapieansätze

Die AWMF-Leitlinie „Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) im Kinder-, Jugend- und Erwachsenenalter“ (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, 2017) empfiehlt einen multimodalen Therapieansatz. Bei Kindern im Vorschulalter (3 bis 6 Jahre) werden in erster Linie Elterntrainings und Elternberatung mit psychoedukativen Einheiten empfohlen, welche zum Ziel haben, ein vermehrtes Verständnis für die Symptomatik der Kinder zu erreichen und Erziehungsmethoden zu verbessern. Ein gezieltes Elterntraining der

Betroffenen etablierte sich als effektiv (Pelham Jr et al., 1998), hier können beispielsweise gezielt familiäre Konfliktsituationen, ein adäquater Einsatz positiver und negativer Konsequenzen sowie elterliche Kommunikationsmuster supervidiert werden. Das Kind sollte so weit wie möglich in diese Prozesse integriert werden.

Auch Psychoedukation und Beratungen von Erzieherinnen und Erziehern bzw. bei Kindern ab dem Schulalter von Lehrkräften kann ein hilfreicher Therapiebaustein sein (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, 2017). Interventionen im schulischen Umfeld, wie z.B. die Einrichtung des Sitzplatzes in Nähe zu den Lehrerinnen und Lehrern, die Analyse spezifischer herausfordernder Situationen und die Arbeit mit einem Verstärkersystem, erwiesen sich als förderlich hinsichtlich einer Unterstützung bei Hyperaktivität und sozialer Benachteiligung von Kindern mit einer ADHS (DuPaul et al., 2012).

Ab einem Alter, in dem Kinder Gelerntes selbst anwenden können, wird auch die kognitive Verhaltenstherapie als Einzel- oder Gruppentherapie empfohlen. Dabei liegt der Fokus auf sozialem Kompetenztraining, dem Erlernen von Strategien zur Problemlösung und besseren Organisation, der Impulskontrolle, sowie der Affektwahrnehmung, -differenzierung und -regulierung. Der Evidenzgrad für Elterntrainings und schulische Interventionen liegt gemäß der aktuell gültigen Leitlinie bei moderater Evidenz, die Evidenz für patientinnen- und patientenzentrierte Therapieinterventionen wird als mäßig eingestuft (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, 2017).

Ein weiterer nicht-medikamentöser Therapieansatz ist das Neurofeedbacktraining (NFT), das in der AWMF-Leitlinie bisher aufgrund nicht hinreichender Evidenz nicht standardmäßig empfohlen wird, es wird als offene Empfehlung eingestuft und kann gemäß der Leitlinie zum Einsatz kommen, wenn gewährleistet ist, dass dadurch keine andere wirkungsvolle Therapie verzögert oder verhindert wird. Weiterhin wird, gestützt durch Ergebnisse von den Forschungsgruppen um Arns und Cortese, empfohlen, bewährte Standardprotokolle für ein NFT anzuwenden: hierbei handelt es sich um Theta-Beta-Ratio-Feedback (TBR), Sensorimotor-Rhythmus-Feedback (SMR) sowie Feedback langsamer kortikaler Potentiale (SCP). Es gibt Anhaltspunkte, dass die Anwendung besagter Protokolle zu

höheren und signifikanten Effekten führt (Arns et al., 2014; Cortese et al., 2016). NFT als Therapieansatz wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit separat vertieft.

1.4.2 Medikamentöse Therapieansätze

Die am längsten, bereits seit Jahrzehnten etablierte Therapiemethode stellt die Psychopharmakotherapie dar (Pelz et al., 2008), es existiert eine konsistente und breite Studienlage hinsichtlich der Wirksamkeit bezüglich einer Reduktion der Kernsymptome und Überlegenheit gegenüber Placebos. Als Vorreiter der Wirkstoffe gelten Stimulanzien wie Methylphenidat (z.B. Ritalin®, Medikinet®) und Amphetamine (Desamphetamin, Lisdexamfetamin), deren Wirkung am besten erforscht ist und für die übergreifend die effektivste Wirkung für eine Kurzzeitbehandlung nachgewiesen ist (u.a. Cortese et al., 2018; Faraone & Buitelaar, 2010; King et al., 2006). Die Wirksamkeit von Methylphenidat und Desamphetamin auf die ADHS-Kernsymptomatik konnte in mehreren Metaanalysen und systematischen Reviews mit mittleren bis starken Effektstärken belegt werden (Faraone et al., 2006; King et al., 2006; Van der Oord et al., 2008). Auch eine systematische Übersichtsarbeit, welche die Daten von 185 randomisierten doppelblinden Studien mit Placebo-Kontrollgruppen analysierte, kam zu Resultaten, die die Wirksamkeit von Methylphenidat mit hohen Effektstärken bestätigen konnten (Storebø et al., 2015). Die Wirkung der Stimulanzien beruht auf einer Konzentrationserhöhung der Neurotransmitter Dopamin und Noradrenalin im synaptischen Spalt. Durch eine agonistische dopaminerge Wirkung wird die Wiederaufnahme der Transmitter in der präsynaptischen Membran gehemmt. Nachteile sind zum einen die eher kurze Wirkdauer und damit verbundene hohe Einnahmefrequenz (alle 3 bis 6 Stunden) sowie vielfältige Nebenwirkungen, von Kopfschmerzen, Bauchschmerzen, Appetitverlust und Gewichtsabnahme über Wachstumsstörungen bis hin zu einer Verursachung von Tics. Zudem können stimulierende Substanzen potentiell zur Abhängigkeit führen (Biederman & Faraone, 2005; Pelz et al., 2008; Taylor, Doepfner, et al., 2004).

Unter den nicht-stimulierenden Substanzen stellt Atomoxetin (Strattera®) das bekannteste Präparat dar, welches selektiv über eine Blockade der Noradrenalin-Transporter die Konzentration von Noradrenalin im synaptischen Spalt erhöht. Unerwünschte Arzneimittelwirkungen sind auch hier Kopf- und Bauchschmerzen,

Appetitlosigkeit, eine potentielle Hepatotoxizität, kardiovaskuläre Nebenwirkungen, Reizbarkeit und depressive Verstimmtheit sowie in schweren Fällen ein verstärktes Auftreten von Suizidgedanken im Placebo-Vergleich (Pelz et al., 2008).

Ein weiteres Präparat unter den Nicht-Stimulanzien, das in der Pharmakotherapie der ADHS zum Einsatz kommt, ist Guanfacin, ein Alpha-2A-Agonist. Es reduziert die präsynaptische Ausschüttung von Noradrenalin und kann angewendet werden, wenn oben genannte Präparate ineffektiv oder kontraindiziert sind (Taylor, Döpfner, et al., 2004).

In der aktuell gültigen AWMF-Leitlinie wird, im Falle einer Indikation für eine Pharmakotherapie, für den Einsatz von Stimulanzien (Methylphenidat, Amfetamin, Lisdexamfetamin) sowie von den Nicht-Stimulanzien Atomoxetin und Guanfacin, basierend auf hohem Evidenzgrad, eine starke Empfehlung ausgesprochen.

1.5 Neurofeedbacktraining als Therapieansatz

Beim NFT handelt es sich um einen kognitiv-verhaltenstherapeutisch fundierten Therapieansatz, welcher der Erlernung von Strategien zur Selbstregulation bestimmter hirnelektrophysiologischer Parameter dient. Ziel des NFTS ist es, bestimmte hirnelektrophysiologische Parameter mittels selbst erlernter Strategien in eine gewünschte Richtung zu verändern und die das Selbstwirksamkeitserleben in Bezug auf Kognitionen, Emotionen und Verhalten zu erhöhen (Gevensleben, Rothenberger, et al., 2010). NFT basiert auf dem Prinzip der operanten Konditionierung, bei welchem erwünschtes Verhalten, beim NFT in diesem Falle korrekt angewandte Strategien und somit die Modulation des Parameters in die gewünschte Richtung, unmittelbar positiv per visuellen oder auditiven Feedbacks verstärkt wird, um die jeweilige Strategie zu festigen (Holtmann et al., 2014).

Die Wirksamkeit eines NFTs bei Personen mit einer ADHS basiert auf verschiedenen Mechanismen: auf der einen Seite auf dem Prinzip der operanten Konditionierung und „Reparatur“ defizitärer neurophysiologischer Strukturen, wie z.B. eine erhöhte Theta-Aktivität bzw. erniedrigte Beta-Aktivität, auf der anderen Seite auf dem Erlernen zusätzlicher Fähigkeiten der Selbstregulation, wie z.B. Selbstwirksamkeitserleben und motivationale Faktoren, welche nicht zwangsläufig bei einer ADHS beeinträchtigt sind, wodurch Defizite aber in anderen Bereichen kompensiert werden können (Gevensleben,

Moll, Rothenberger, Heinrich, et al., 2014). Letztere These basiert auf dem ätiologischen Konstrukt des biopsychosozialen Modells, nach welchem das klinische Bild einer ADHS multifaktoriell bedingt und aufrechterhalten wird und schreibt zusätzlich zum Erlernen neurophysiologisch basierter selbstregulatorischer Techniken der aktiven Unterstützung des Transfers dieser Techniken durch kognitiv-behaviorale Therapieelemente eine wichtige Bedeutung zu.

Das wachsende Interesse an einer Etablierung des NFTs als nicht-pharmakologische Therapiealternative ist naheliegend, da Veränderungen bestimmter Hirnstrukturen und neurophysiologischer Prozesse bei Betroffenen mit einer ADHS nachgewiesen sind (Barry et al., 2003; Negoro et al., 2010) und diese somit als potentielle Zielparameter für ein NFT in Frage kommen. Weiterhin besteht Bedarf an Therapiealternativen für Kinder, welche unter starken Nebenwirkungen leiden oder solche, die nicht auf Medikamente ansprechen (Drechsler et al., 2007).

NFT entwickelte sich zunehmend als vielversprechende alternative Interventionsmethode in der Therapie der ADHS (Gevensleben et al., 2009; Heinrich et al., 2007; Strehl et al., 2006).

In der Vergangenheit wurde vorwiegend auf Elektroenzephalographie (EEG) - Messungen basierendes NFT angewandt, die Anfänge hierfür liegen bereits in den 1970er Jahren (Lubar & Shouse, 1976). Im EEG-basierten NFT finden vor allem zwei Trainingsprotokolle, das Theta/Beta-Frequenzband-Training und das Training langsamer kortikaler Potentiale (SCP-Training), Einsatz. Arns et al. (2009) analysierten in ihrer Metaanalyse 15 verschiedene NF-Studien, welche die Effekte eines Theta/Beta- bzw. SCP-Trainings auf die ADHS-Symptomatik untersuchten, und fanden klinisch relevante positive Effekte bezüglich der Hauptsymptome Unaufmerksamkeit und Impulsivität sowie teilweise auch bezüglich der Hyperaktivität. Sie postulierten anhand ihrer Ergebnisse jedoch auch die Wahrscheinlichkeit einer zusätzlichen positiven Beeinflussung der Symptome Hyperaktivität und Impulsivität durch unspezifische Faktoren.

Auch innerhalb des SCP-Trainings wurden signifikante Effekte auf die Ausrichtung der CNV und damit einhergehend ebenfalls auf die Verbesserung der klinischen Ausprägung der ADHS-Symptomatik nachgewiesen (Heinrich et al., 2004; Wangler et al., 2011).

Bezüglich einer anhaltenden Langzeitwirkung liegt eine heterogene Studienlage vor: Leins erzielte in ihrer EEG-basierten NF-Studie signifikant stabile Ergebnisse in den Follow up - Erhebungen nach 6 Monaten hinsichtlich einer verbesserten Symptomatik der Versuchspersonen (Leins et al., 2007). Auch weitere Studien und Metaanalysen wiesen Langzeiteffekte bezüglich einer reduzierten ADHS-Symptomatik bis zu 1 bis 2 Jahren später nach (Gani et al., 2008; Meisel et al., 2014a; Pimenta et al., 2021; Strehl et al., 2006; Van Doren et al., 2019). Jedoch gibt es auch Studien, die Langzeiteffekte eines NFTs nicht oder zumindest keine Überlegenheit eines NFTs im Vergleich zu aktiven Kontrollgruppen nachweisen konnten (Arnold et al., 2021; T. W.P. Janssen et al., 2020; Van Doren et al., 2019):

Im direkten Vergleich mit einer medikamentösen Methylphenidat-Therapie erwies sich das NFT in mehreren Vergleichsstudien als mindestens gleichwertige Therapiealternative (Fuchs et al., 2003; Meisel et al., 2014b; Monastra et al., 2002).

1.5.1 Nahinfrarotspektroskopie als Neurofeedbackmethode

Eine Alternative zur EEG als Messinstrument für ein NFT stellt die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) dar, welche hämodynamische Korrelate neuronaler Aktivität misst: Licht des nahinfraroten Spektrums wird von oxygeniertem Hämoglobin (oxy-Hb) und desoxygeniertem Hämoglobin (desoxy-Hb) in unterschiedlichem Ausmaß absorbiert, wodurch Konzentrationsänderungen beider Parameter erfasst und Rückschlüsse auf die kortikale Aktivität jeweiliger Hirnareale geschlossen werden können (Fallgatter & Strik, 1997). Bisherige Studien, welche mittels NIRS die Hirnaktivität von Kindern mit einer ADHS untersuchten, fokussierten sich auf Aktivitätsänderungen des PFC während der Ausübung von Aufgaben, welche Exekutivfunktionen ansprechen (Ehlis et al., 2014). NIRS hat gegenüber der EEG und der fMRT einige Vorteile: die räumliche Auflösung der NIRS ist höher als bei der EEG, die zeitliche Auflösung höher als bei der fMRT. Es liefert, ähnlich wie die fMRT, Aufschlüsse über hämodynamische cerebrale Vorgänge, ist jedoch kostengünstiger und für Patientinnen und Patienten angenehmer, da sie auf einem Stuhl sitzen können. Gegenüber der EEG besteht ein weiterer Vorteil darin, dass die NIRS weniger empfindlich auf Artefakte durch Bewegung reagiert, was gerade bei Probandinnen und

Probanden mit einer ADHS von Vorteil sein kann (Ehlis et al., 2014a; Mehta & Parasuraman, 2013; Perrey, 2008).

Nachteile sind die im Vergleich zur fMRT, dass eine geringere räumliche Auflösung und ein schwächeres Signal-Rausch-Verhältnis vorliegen (Cui et al., 2011).

Inoue et al. (2012) untersuchten mittels NIRS die kortikale Hämodynamik bei Kindern mit einer ADHS während der Bearbeitung von Go-/NoGo-Paradigmen. Es zeigte sich eine signifikante Unteraktivierung des PFC während Inhibitionsvorgängen (NoGo-Kondition) im Vergleich zu Gesunden, während der Antwortausführung (Go-Kondition) lagen hingegen keine signifikanten hämodynamischen Unterschiede zwischen beiden Gruppen vor.

Marx et al. (2015) testeten erstmalig ein NIRS-basiertes NFT als neue NF-Methode. In ihrer Pilotstudie, welcher der Studie, die dieser Arbeit zugrunde liegt, vorausging, wurden die Effekte eines NIRS-, EEG- und EMG-basierten NFTs verglichen. Nach der Absolvierung eines NFTs über 12 Trainingssitzungen hatten sich die Kinder gemäß der Bewertung ihrer Eltern sowohl nach 4 Wochen als auch in der Follow-up Untersuchung nach 6 Monaten signifikant in ihrer ADHS-Symptomatik verbessert. Die Bewertung der Lehrkräfte hatte sich in der Evaluation 4 Wochen nach Trainingsende ebenfalls signifikant verbessert. Zudem erzielten die Kinder signifikant bessere Ergebnisse hinsichtlich der Symptome Aufmerksamkeit und Impulsivität. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass ein NIRS-basiertes NFT ebenfalls als effektive Methode zur Reduzierung der ADHS-Kernsymptome verstanden werden kann.

1.5.2 Differenzierung Lerner und Nicht-Lerner

Aus verschiedenen Studien wurde ersichtlich, dass nicht alle, die ein NFT absolvieren, die erforderlichen Strategien zur kortikalen Selbstregulation erlernen (Drechsler et al., 2007; Kropotov et al., 2005). Drechsler et al. (2007) beispielsweise erhielten in ihrer SCP-basierten NF-Studie einen Anteil von über 50 Prozent, der nicht instande war, die modulierenden Strategien unter Transferbedingungen umzusetzen. Ein Überblick über mehrere NF-Studien (Alkoby et al., 2018), welche zwischen Lernern und Nicht-Lernern differenzierten, zeigt jeweils Anteile an Nicht-Lernern von über 50%.

In der Vergangenheit wurden verschiedene Ansätze verfolgt, eine Klassifikation und Differenzierung von sogenannten „Lernern“ und „Nicht-Lernern“ zu entwickeln. Strehl et al. (2006) separierten die Teilnehmenden ihrer SCP-Studie nach dem Kriterium, ob die Regulierung der SCPs erfolgreich gelernt wurde oder nicht. Hierbei war die suffiziente Negativierung der SCPs unter Transfer-Konditionen ausschlaggebend. Kinder, denen dies erfolgreich gelang, gingen mit verbessertem klinischem Erscheinungsbild aus der Studie hervor.

Drechsler et al. (2007) klassifizierten Lerner als solche, die imstande waren, unter Transferkonditionen zwischen verschiedenen kortikalen Aktivierungszuständen zu differenzieren. Sie erzielten in ihren Ergebnissen einen signifikanten Anteil an Nicht-Lernern, welche die Differenzierung zwischen Positivierung und Negativierung der SCPs unter Transferkonditionen nicht lernten. Es ließen sich keine wesentlichen Unterschiede bezüglich des IQs, der Unterstützung durch die Eltern, Medikation, Alter und anfänglicher Ausprägung der ADHS-Symptomatik zwischen Lernern und Nicht-Lernern evaluieren und keine für den Trainingserfolg prädiktiven Faktoren ermitteln. Weiterhin wurde anhand einer Korrelation von Trainingserfolg unter Transferbedingungen und klinischer Verbesserung auf Symptomebene ein direkter Zusammenhang dieser Parameter widerlegt.

1.5.3 Lernerfolg und Therapieerfolg

In verschiedenen Studien stellte sich der Prozess des Lernens als kontinuierlicher Prozess dar, welcher auch über den Abschluss eines NFTs hinaus zu einer klinischen Verbesserung der Probandinnen und Probanden im Langzeitverlauf führen kann. Strehl et al. (2006) konnten bei Teilnehmenden ihres SCP-Trainings in der Follow Up-Erhebung 6 Monate nach Beendigung des NFTs signifikante Verbesserungen in der klinischen Ausprägung der ADHS nachweisen. Rance et al. (2018) führten ein real-time fMRT-basiertes NFT bei zwei sehr unterschiedlichen Studiengruppen (Versuchspersonen mit einer Zwangsstörung und Versuchspersonen mit einem Tourette-Syndrom) durch, auch die Hirnareale, welche Zielstruktur des Neurofeedbacks waren, unterschieden sich. In den Ergebnissen zeigten sich signifikante kontinuierliche Verbesserungen der Symptomatik der Patientinnen und Patienten auch in den Wochen und Monaten nach Beendigung des NFTs.

Aufgrund der anzunehmenden Dynamik des Lernprozesses im NFT wird Lernerfolg in dieser Arbeit nicht als dichotome Variable, sondern als Kontinuum im Sinne eines Lernindexes verstanden: Kinder werden nicht kategorisch als Lerner oder Nicht-Lerner klassifiziert, sondern nach dem Ausmaß des Lernerfolgs beurteilt.

Therapieerfolg durch ein NFT kann sowohl auf neuropsychologischer Ebene im Sinne einer Verbesserung defizitärer neuropsychologischer Korrelate, die durch das Training adressiert werden, als auch auf klinisch-behavioraler Ebene im Sinne eines Rückgangs der ADHS-Symptomatik betrachtet werden. Als wiederholt in bisheriger Studienlage bestätigte exekutive Dysfunktion bei der ADHS zählt die beeinträchtigte motorische Inhibitionskontrolle, eine zur objektiven Messung dieses Parameters sehr bekannte Methode ist die Go/NoGo Aufgabe (Castellanos et al., 2006; Nigg, 2001). Auch in dieser Arbeit soll die Go/NoGo Aufgabe als objektives Messinstrument zur Beurteilung des Therapieerfolgs auf neuropsychologischer Ebene verwendet werden.

1.5.4 Prädiktoren für Lern- und Therapieerfolg im NFT

In der Vergangenheit wurden verschiedene neurophysiologische Parameter auf ihren prädiktiven Wert für das Ansprechen eines NFTs im Sinne einer erfolgreichen Reduktion der ADHS-Symptome analysiert.

Es wurden Hinweise auf eine Korrelation zwischen neurophysiologischen Parametern und Erfolg im NFT gefunden: Kinder mit einer höheren Theta-Aktivität vor Trainingsbeginn sowie einer stärkeren Abnahme der Theta-Aktivität nach dem Training zeigten eine deutlichere Verbesserung der ADHS-Kernsymptomatik. Zudem ließ sich bei Kindern mit einer höheren CNV vor Trainingsbeginn ebenfalls im Nachhinein eine stärker reduzierte Symptomatik nachweisen (Gevensleben, Moll, et al., 2010).

Wangler et al. (2011) führten SCP-Trainings durch, wodurch die CNV-Amplituden der Versuchspersonen stiegen. Auch hier zeigte sich ein Zusammenhang zwischen den Ausgangsbedingungen vor Trainingsbeginn und dem Outcome der Versuchspersonen: Jene Kinder, die bei der Messung der Hirnaktivität im Ruhezustand (Baseline-Messung) vor Trainingsbeginn höhere CNV-Amplituden aufwiesen, wurden nach Abschluss des NFTs durch ihre Eltern besser bezüglich der ADHS-Symptomatik bewertet. Auch Liechti et al. (2012) konnten der CNV-Amplitude vor Beginn des NFTs einen

prädiktiven Wert für das klinische Outcome im Sinne einer reduzierten Symptomatik zuschreiben.

Sowohl Gevensleben et al. (2010) als auch Wangler et al. (2011) postulierten folgendes Erklärungsmodell: Kinder, die bereits vor Trainingsbeginn über ein höheres Ressourcenkapital verfügen, auf das sie zurückgreifen können, erlernen Strategien zur Selbstregulation schneller als jene, welche diese Ressourcen erst aufbauen müssen. Damit wurde begründet, dass die CNV aus der Baseline vielmehr als prädiktiver Parameter für die erforderliche Anzahl an Trainingseinheiten anstatt für das Ausmaß des Therapieerfolgs gesehen werden kann.

Regulatorische Kapazität bei Trainingsbeginn. In der Vergangenheit kamen einige Studien zu vielversprechenden Ergebnissen, dass die kortikalen regulatorischen Fähigkeiten der ersten Trainingssitzungen ein Indikator für späteres Therapieansprechen des NFTs darstellen (Weber et al., 2011, Nan et al., 2015).

Es ist anzunehmen, dass Personen, welche bereits zu Beginn eines NFTs über bessere „Ausgangsbedingungen“ im Sinne einer höheren Plastizität ihrer kognitiven Fähigkeiten verfügen, Strategien eines NFTs schneller lernen.

Hierauf basierend ist davon auszugehen, dass Personen, welchen bereits in den ersten Trainingssitzungen zu einem höheren prozentualen Anteil die Anwendung der jeweiligen regulatorischen Strategien korrekt gelang, nach Absolvierung des NFTs einen höheren Lernerfolg aufweisen.

Nicht auszuschließen ist jedoch, dass jene, die mit geringerer regulatorischer Kapazität ein NFT beginnen, die Strategien ebenfalls erlernen werden, jedoch mehr Trainingseinheiten benötigen und somit die Leistungen aus der frühen Trainingsphase vielmehr ein Indikator für die Anzahl erforderlicher Trainingseinheiten darstellt als für den kategorischen Ein- oder Ausschluss des Therapierverfahrens.

Prädiktoren aus früher Trainingsphase. Eine weitere Herangehensweise stellt die Untersuchung prädiktiver Werte der NF-Antworten aus der frühen Trainingsphase dar. Weber et al. (2011) gelang eine korrekte Vorhersage der Entwicklung ihrer (gesunden) Versuchspersonen zum „Performer“ oder „Non-Performer“ anhand des Anstiegs der EEG-Amplitude des sensomotorischen Rhythmus (SMR) ab der 11. Trainingssitzung.

Nan et al. (2015) führten mit 18 gesunden Versuchspersonen ein Theta/Beta-Training durch. Anhand der Beta-1-Amplitude des ersten Blocks der ersten Trainingssitzung konnte das Hervorgehen als Responder oder Non-Responder prädiziert werden. Responder im Sinne eines stetigen Anstiegs der Beta/Theta-Ratio über die fünf Trainingssitzungen wiesen eine höhere Beta-1-Amplitude im ersten Block der ersten Trainingssitzung auf.

Moderatoren. Da während eines NFTs gewünschte Veränderungen nach dem Prinzip der operanten Konditionierung positiv verstärkt werden, lässt sich die Hypothese ableiten, dass Verbesserungen der ADHS-Symptomatik partiell durch das Belohnungs- und Verstärkungsverfahren bedingt sind.

Gevensleben et al. (2010) entwickelten ein Modell zur Theorie der Interaktion verschiedener Mediatoren und dem NFT selbst. In besagtem Modell werden drei potenzielle interaktionelle Gruppen von Mediatoren postuliert: persönlichkeitsabhängige (z.B. Motivation, Selbstwirksamkeitserleben), neurophysiologische (z.B. EEG-Muster, regulatorische Kapazität) sowie psychosoziale (z.B. Unterstützung durch Eltern) Faktoren.

In Anbetracht des hohen zeitlichen und finanziellen Aufwands, der mit der Durchführung eines NFTs einhergeht, zeigt sich die Relevanz eines validen Ein- bzw. Ausschlussverfahrens, anhand dessen bereits vor Beginn eines NFTs eingeschätzt werden kann, ob das Verfahren zu einer Verbesserung der ADHS-Symptomatik führen wird oder nicht. Weiterhin kommt der Fragestellung große Bedeutung zu, inwieweit sich unter Berücksichtigung o.g. individueller Faktoren NF-Protokolle und -Settings optimieren und bestmöglich individuell anpassen lassen.

Es gibt verschiedene Studien, welche die Effekte eines NFTs und anderer Verfahren in Kontrollgruppen (z.B. EMG-basiertes Biofeedbacktraining (BFT), computergestütztes Aufmerksamkeitstraining) verglichen, die eine Überlegenheit des NFTs gegenüber der Kontrollbedingungen (Baumeister et al., 2019; Gevensleben et al., 2009) nachwiesen. Hingegen zeigten sich in anderen Studien gegensätzliche Ergebnisse bezüglich der Effektivität eines NFTs: Neurofeedback und Biofeedback erwiesen sich beispielsweise als gleichwertige Methoden in der Verbesserung der Symptome Hyperaktivität und Impulsivität (Bakhshayesh et al., 2011), lediglich hinsichtlich des Symptoms Unaufmerksamkeit zeigte sich die Methode des Neurofeedbacks überlegen; auch im

Vergleich von NFT und Gruppentherapie wurde eine eindeutige Überlegenheit des NFTs widerlegt (Doehnert et al., 2008), was die Vermutung nahelegt, dass die Effekte eines NFTs zusätzlich durch interindividuelle, nicht-spezifische Faktoren moduliert werden. Bisher liegen keine eindeutigen Indikationskriterien für ein NFT als Therapiemethode vor. Noch nicht hinreichend geklärt sind beispielsweise die Festlegung der notwendigen und ausreichenden Anzahl an Trainingssitzungen, der Trainingsfrequenz sowie interindividuelle Unterschiede, welche den Einsatz individualisierter Trainingsprotokolle zur Therapieoptimierung erforderlich machen können (Gevensleben et al., 2011).

Bisher wurden in der Untersuchung prädiktiver Parameter für späteren Erfolg im NFT lediglich EEG-basierte Parameter berücksichtigt. In dieser Arbeit soll ein NIRS-spezifischer Parameter auf seinen prädiktiven Wert für das Outcome der Versuchspersonen in Hinblick auf das Ausmaß des Lern- und Therapieerfolgs untersucht werden.

Motivation. Kindern mit einer ADHS fällt es leicht, unterhaltsamen und abwechslungsreichen Tätigkeiten nachzugehen, wohingegen bei der Bearbeitung monotoner Aufgaben die Symptome stärker ausgeprägt zum Vorschein kommen. Hier obliegt daher den Trainingsleitenden die Aufgabe, die Probandinnen und Probanden beim Umgang mit frustrierenden und als langweilig empfundenen Situationen während des Trainings zu unterstützen, um die Motivation weiterhin aufrechtzuerhalten (Strehl, 2014). Kleih et al. (2010) untersuchten die modulierende Wirkung der Motivation auf die P300 Amplitude während eines Brain Computer Interface Trainings. Die Ausprägung der Motivation der Versuchspersonen und die P300 Amplitude über Cz korrelierten stark miteinander, darüber hinaus konnte der Motivation mittels linearer Regression ein signifikant prädiktiver Wert für die P300 Amplitude über Cz attribuiert werden. In dieser Arbeit soll die Trainingsmotivation als Prädiktor für späteren Lern- und Therapieerfolg untersucht werden.

1.5.5 Impliziert Lernerfolg Therapieerfolg?

Kotchoubey et al. (1999) untersuchten die Einflüsse eines SCP-basierten NFTs auf die Anfallsreduktion bei Epilepsiepatientinnen und -patienten. Hier zeigte sich, dass

es bei einem Drittel derer, welche erfolgreich lernten, die SCPs zu kontrollieren, dennoch nicht zu einer Anfallsreduktion kam wie bei den anderen zwei Dritteln. Kropotov et al. (2005) klassifizierten die Versuchspersonen ihres EEG-basierten Beta-Trainings als „gute Performer“ und „schlechte Performer“. Als „gute Performer“ wurden jene klassifiziert, welche in mehr als 60% der Trainingssitzungen den Trainingsparameter über 25% im Vergleich zum Ruhezustand erhöhen konnten. Die Probandinnen und Probanden absolvierten vor und nach dem Training eine Go/NoGo Aufgabe. Hier zeigte sich nicht nur bei den „guten Performern“, sondern auch bei den „schlechten Performern“ eine signifikante Verbesserung im Sinne einer Reduktion der Omissions- und Kommissionsfehler. Hingegen blieb in der Gruppe der „schlechten Performer“ eine Verbesserung auf klinischer Ebene aus.

Auch Drechsler et al. (2007) untersuchten in ihrer EEG-basierten NF-Studie mit Kindern mit einer ADHS, inwieweit Lernerfolg im NFT und Verbesserungen auf klinischer Ebene miteinander korrelierten. Es ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge. Gevensleben et al. (2010) definierten als Kriterium, welches Therapieerfolg definiert, eine Reduktion der Symptomatik gemäß der behavioralen Beurteilungsskala der German ADHD Rating Scale um mindestens 25 Prozent. Auch hier sprachen 50 Prozent der Versuchspersonen nicht auf das NFT an. Takahashi et al. (2014) untersuchten evaluierten den Therapieerfolg eines SCP-Trainings mit Kindern zum einen auf neurophysiologischer, zum anderen auf behavioraler Ebene. Während sich auf neurophysiologischer Ebene signifikante Verbesserungen hinsichtlich der Aufmerksamkeitsregulierung zeigten, fiel auf behavioraler Ebene die Bewertung der Kinder hinsichtlich der klinischen Ausprägung der Symptomatik unverändert aus. Dies wurde als möglichen Hinweis darauf interpretiert, dass Effekte eines NFTs auf neurophysiologischer Ebene bereits früher auftreten als auf behavioraler Ebene und dass für Verbesserungen auf behavioraler Ebene möglicherweise eine höhere Anzahl an Trainingssitzungen erforderlich sind.

Hudak et al. (2017) hingegen konnten in ihrer Studie mit hoch-impulsiven Erwachsenen eine starke Korrelation zwischen dem Lernindex der Probandinnen und Probanden innerhalb der Experimentalgruppe, welche ein NIRS-basiertes NFT absolvierte, und der Reduktion der Kommissionsfehler in einer Go/NoGo Aufgabe, was für eine Verbesserung der Inhibitionskontrolle spricht, nachweisen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bezüglich einer objektiven Erfassung von Lern- und Therapieerfolg in einem NFT sowie bezüglich beeinflussender Faktoren von Lern- und Therapieerfolg eine heterogene Studienlage vorliegt.

1.6 Hypothesen

Ziel dieser Arbeit ist es zu prüfen, inwieweit Lernerfolg und Therapieerfolg (Responding) anhand der durchschnittlichen Trainingsmotivation der Versuchspersonen sowie anhand der regulatorischen Kapazität der ersten Trainingssitzungen eines NIRS-basierten NFTs vorhergesagt werden kann.

Weiterhin soll untersucht werden, ob Lernerfolg mit Therapieerfolg auf neurophysiologischer und behavioraler Ebene einhergeht. Hierfür werden folgende Hypothesen werden aufgestellt:

- 1a) Die mittlere Trainingsmotivation prädiziert den Lernerfolg.
- 1b) Die regulatorische Kapazität früher Trainingssitzungen sagt den Lernerfolg voraus.
- 2a) Die mittlere Trainingsmotivation prädiziert den Therapieerfolg (Responding) zum Post- bzw. Follow up-Test.
- 2b) Die regulatorische Kapazität früher Trainingssitzungen sagt den Therapieerfolg zum Post- bzw. Follow up-Test voraus.
- 3) Der Lernerfolg prädiziert den Therapieerfolg.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchspersonen und Rekrutierung

Die vorliegende Arbeit ist Teil eines umfassenden Projekts im Zeitraum zwischen Herbst 2015 und Sommer 2019, welches die Wirksamkeit eines NIRS-basierten NFTs als relativ neue Interventionsmethode der ADHS mit einem EMG-basierten BFT als Kontrollgruppe vergleicht (Blume et al., 2017). Nachfolgende Informationen zum Studiendesign und -ablauf entstammen dem Studienprotokoll der Gesamtstudie (Blume et al., 2017).

Insgesamt 36 Grundschulkindern im Alter von 6 bis 11 Jahren wurden in die Gesamtstudie eingeschlossen. Die Rekrutierung erfolgte über niedergelassene pädiatrische Praxen, Kinder- und Jugendpsychiater und -psychiaterinnen, Psychologen und Psychologinnen sowie über die Ambulanz der Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie des Universitätsklinikums Tübingen. Darüber hinaus wurden Rundmails über den Emailverteiler der Eberhard Karls Universität Tübingen verschickt sowie die Studie mit Hilfe von lokalen Zeitungen und Radiosendern publik gemacht.

Alle Kinder hatten eine Diagnose einer ADHS nach DSM-5 Kriterien, es fand unabhängig von vorangehenden externen fachärztlichen Befunden bezüglich der ADHS-Symptomatik eine Diagnostiksituation in der Schulpsychologie des Psychologischen Instituts Tübingen statt, bei der die Diagnose ADHS anhand eines fachlichen Gesprächs durch eine Psychologin mit einem Elternteil sowie der deutschsprachigen Langversion des Conners Fragebogen in der 3. Auflage (Lidzba et al., 2013), ausgefüllt durch die Eltern und die Klassenlehrkraft, und der deutschsprachigen Version des *Strength and Difficulties Questionnaire* (SDQ-Deu; Goodman, 1997) verifiziert wurde.

Die Studie beinhaltet drei Interventionskonditionen: NIRS-basiertes NFT in 3D-Kondition, NIRS-basiertes NFT in 2D-Kondition und EMG-basiertes BFT in 3D-Kondition als semi-aktive Kontrollgruppe. Die 36 Versuchspersonen wurden von einer leitenden Kraft der Studie, die nur gelegentlich Trainingssitzungen durchführte, in die drei Konditionen randomisiert. Dabei fand eine Block-Randomisierung basierend auf Alter, Geschlecht und ADHS-spezifischer Medikation statt.

Alle Kinder besuchten Klassen der Grundschule (davon ein Kind die Waldorfschule und ein Kind eine Schule für besonderen Förderbedarf); drei Kinder besuchten zum Einschlusszeitpunkt in die Studie die 1. Klasse, sieben Kinder die 2. Klasse, 11 Kinder die 3. Klasse und drei Kinder die 4. Klasse. Neun Kinder nahmen Methylphenidat ein. Diese Arbeit legt Daten und Ergebnisse der 24 Versuchspersonen ($n = 24$; $w = 1$; $m = 23$) beider NIRS-Gruppen dar. Das Alter der Versuchspersonen liegt zwischen 6 und 10 Jahren ($M = 8.79$; $SD = 1.1$).

Ein Proband wurde aus der Auswertung der Ergebnisse des Follow up-Tests ausgeschlossen, da zwischen Post-Test und Follow up-Test eine Verhaltenstherapie begonnen wurde, was ein Ausschlusskriterium darstellt.

2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien waren, neben der schriftliche Einverständnis eines Elternteils oder eines gesetzlichen Betreuers bzw. Betreuerin, der Besuch der 1.-4. Klasse der Grundschule bzw. ein Alter zwischen 6 und 10 Jahren sowie die klinische Diagnose einer ADHS gemäß des DSM-5. Weiteres Kriterium war ein IQ über 70.

Ausschlusskriterien waren eine bestehende schwere körperliche und/oder chronische Erkrankung, eine andere psychiatrische oder neurologische Erkrankung, eine bereits früher erfolgte Teilnahme an einem BFT oder NFT sowie eine parallel wahrgenommene psycho- oder ergotherapeutische Intervention hinsichtlich der ADHS (Blume et al., 2017). Eine Medikation mit Methylphenidat, Atomoxetin oder Lisdexamfetamin stellte kein Ausschlusskriterium dar, Methylphenidat und Atomoxetin musste jedoch mindestens 48 Stunden vor den neuropsychologischen Tests der Prä-, Post- und Follow up-Tests ausgeschlossen werden.

Die Prüfung der Einschlusskriterien erfolgte anhand folgender Messinstrumente:

Culture Fair Intelligence Test 1-R und 20-R (CFT 1-R und 20-R). Bei Skala 1 des Grundintelligenztests CFT 1-R, einer revidierten Auflage des CFT 1, handelt es sich um einen non-verbales Testverfahren formal-logischer Denkprobleme (Weiß & Osterland, 2013). Dieser Test ist bei Kindern zwischen 5 Jahren und 3 Monaten und 9 Jahren und 11 Monaten, welche den Kindergarten oder die Vorschule, die 1. bis 3. Klasse der Grundschule oder die 1. bis 4. Klasse der Förder- und Sonderschule besuchen, einsetzbar. Der CFT-1R besteht aus zwei Teilen mit je 15 Aufgaben. Der erste Teil evaluiert die figurale Wahrnehmung unter Zeitdruck, der zweite Teil erfasst das figurale Denken. Jeder Subtest besteht aus 15 Aufgaben. In dieser Studie wurde die Kurzversion des Tests verwendet, für welchen die Reliabilität $r = .94$ beträgt. Die Retest-Reliabilität bei erneuter Testung nach 2,5 Monaten liegt bei $r = .90$. Für Kinder ab 8 Jahren und 5 Monaten wurde die 2. Skala des revidierten Grundintelligenztests CFT 20-R genutzt (Weiß, 2006), welcher ebenfalls die Grundintelligenz in non-verbaler Form erfasst. Auch hier wurde in der Studie die

Kurzversion, bestehend aus lediglich Teil 1, Test-Reliabilität $r = .92$, angewandt. Die Retest-Reliabilität mit erneuter Testung nach zwei Monaten beträgt $r = .85$.

Conners Skalen zu Aufmerksamkeit und Verhalten – 3 (Conners 3). Hierbei handelt es sich um ein klinisches Testverfahren in Form von Fragebogen, das zur Erfassung von Aufmerksamkeitsstörungen dient. Anhand der Skalen lassen sich bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 6-18 Jahren additional zur ADHS-Symptomatik auch damit einhergehenden Probleme evaluieren: aggressives Verhalten, Sozialverhalten, exekutive Funktionen und Lernprobleme. Zusätzlich enthalten die Fragebogen Items zum Screening von Angst und Depressivität (Lidzba et al., 2013). In vorliegender Studie wurde die lange Version der Conners Skalen 3 in der Eltern- und Lehrerversion genutzt, bestehend aus 108 bzw. 112 Items. Die Skalen sowohl der Version für Eltern als auch für Lehrkräfte verfügen über eine akzeptable bis gute interne Konsistenz mit Cronbachs $\alpha > .70$ bis Cronbachs $\alpha > .85$. Die Retest-Reliabilitäten betragen im Mittel $r = .85$.

Strengths and Difficulties Questionnaire (SDQ). Dieses Testverfahren dient der Evaluierung verhaltensbezogener Stärken und Schwächen bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 4 bis 16 Jahren. Erfasst werden diese auf fünf Skalen: Verhaltensauffälligkeiten, emotionale Probleme, Hyperaktivität, Probleme mit Peer-Gruppen und prosoziales Verhalten (Goodman, 1997). In dieser Studie wurden die übersetzten deutschen Versionen (SDQ-Deu) für Eltern und Lehrkräfte von Klasen et al. (2003) genutzt. Der Gesamttest der deutschen Version besitzt eine hohe interne Konsistenz (Cronbachs $\alpha = .82$), die einzelnen Subskalen weisen eine akzeptable interne Konsistenz zwischen Cronbachs $\alpha = .58$ und Cronbachs $\alpha = .76$ auf. Die Retest-Reliabilität liegt nach 4-6 Monaten im Mittel bei $r = .62$.

2.3 Apparative Messgeräte

Nahinfrarotspektroskopie (NIRS). Bei der NIRS handelt es sich um ein nicht-invasives Verfahren der optischen Bildgebung, mit welchem neuronale Aktivitäten anhand hämodynamischer Korrelate gemessen werden können (Jöbsis, 1977). Licht des nahinfraroten Spektrums (Wellenlänge 700-1000 nm) kann die Schädeldecke durchdringen und wird von oxygeniertem Hämoglobin (oxy-Hb) und desoxygeniertem Hämoglobin (desoxy-Hb) absorbiert. Da sich oxy-Hb und desoxy-Hb in ihren

Absorptionsmaxima unterscheiden, können relative Konzentrationsänderungen beider Korrelate erfasst und Rückschlüsse auf die Aktivität jeweiliger Hirnareale geschlossen werden. Konzentrationsanstiege des oxy-Hb bzw. Konzentrationsabfälle des desoxy-Hb sind hierbei als Steigerung der Hirnaktivität zu interpretieren. Mittels NIRS-Messungen lassen sich daher bereits geringe Veränderungen im Metabolismus des Gehirns während der Durchführung kognitiver Aufgaben erfassen (Fallgatter & Strik, 1997; Jöbsis, 1977).

In dieser Arbeit wurden Messungen mit einem Multi-Kanal NIRS-System (ETG-4000, Hitachi Medical Co., Japan) durchgeführt. 28 Optoden, bestehend aus 14 Emittlern und 14 Detektoren, wurden auf einer kombinierten NIRS/EEG-Haube angebracht. Diese wurde individuell, entsprechend des internationalen 10-20-Systems (Vgl. Jasper, 1958), nach den EEG-Kanälen Fz und Cz ausgerichtet. Die Haube wurde speziell für Kinder angefertigt und mittels Neuronavigation an einem neunjährigen Mädchen aus der Template-O-Matic-Studie (Wilke et al., 2008) angepasst (vgl. Blume et al., 2017). Sieben Emittler und sieben Detektoren wurden über den präfrontalen, zentralen, parietalen und temporalen Arealen des Kortex beider Hemisphären verteilt (s. Anhang, Abb. 6). Der Abstand zwischen den einzelnen Optoden betrug 3 cm. Infrarotes Licht zweier verschiedener Wellenlängen (695 ± 20 nm und 830 ± 20 nm) wurde über die Emittler ausgestrahlt und reflektiertes Licht über die Detektoren mit einer Abtastrate von 10 Hz erfasst.

2.4 Ablauf der Neurofeedbackstudie

Folgende Beschreibung basiert ebenfalls auf dem Studienprotokoll des Gesamtprojekts (Blume et al., 2017). Jedes Kind durchlief insgesamt zwei Prä-Tests (T0), einen Midway-Test (T1), zwei Post-Tests (T2) sowie 15 Trainingssitzungen à je 60-75 Minuten und zwei Follow up-Tests (T3) 6 Monate nach Beendigung des NFTs (s. auch Anhang, Abb. 7). Alle Trainingssitzungen fanden in den Räumlichkeiten der Universitätsklinik für Psychiatrie und Psychotherapie in Tübingen statt. Die Prä-, Post- und Follow up-Tests wurden in zwei Sitzungen aufgeteilt, von denen die erste (Test 1; ca. 2,5 Stunden) ebenfalls in der Universitätsklinik für Psychiatrie und Psychotherapie durchgeführt wurde, die zweite (Test 2; ca. 1,5 Stunden) in den Räumlichkeiten der Schulpsychologie des Psychologischen Instituts Tübingen.

2.4.1 Prä-, Post- und Follow up-Test

Prä-, Post- und Follow up-Test verliefen nach demselben Schema. Inhalt der Testsitzung 1 waren folgende sieben neuropsychologische Tests, welche exekutive Funktionen, generelle kognitive Fähigkeiten, Aufmerksamkeitsspanne sowie Wortflüssigkeit prüfen. Es werden im Folgenden lediglich die Tests erläutert, deren Ergebnisse für diese Arbeit ausgewertet wurden.

Go/NoGo Aufgabe. Die Go/NoGo Aufgabe wurde von der Arbeitsgruppe Psychophysiologie und optische Bildgebung des Universitätsklinikums für Psychiatrie und Psychotherapie Tübingen altersadäquat als Bilderversion entwickelt. Der Test beurteilt die Fähigkeit, eine Reaktionsantwort auf einen vorangegangenen Reiz zu inhibieren (Response Inhibition). Er enthält acht Blöcke mit je 16 Versuchen. Vier Blöcke beinhalten ausschließlich Go-Aufgaben, die Teilnehmenden sollen hier so schnell wie möglich die Leertaste drücken, sobald sie einen Stimulus auf dem Bildschirm sehen. Die anderen vier Blöcke beinhalten 12 Go- und 4 NoGo-Aufgaben. Die Kinder sollen erneut die Leertaste so schnell wie möglich drücken (Go), wenn sie einen (Go-)Stimulus sehen, bei einem bestimmten (NoGo-)Stimulus (Gabel) jedoch die Reaktion inhibieren und die Leertaste nicht drücken (NoGo). Zwischen den Blöcken liegt eine Ruhephase von 30 s. Die Stimuli erscheinen für je 350 ms, der Interstimulus-Intervall beträgt 1150 ms. Wenn auf einen Go-Stimulus das Drücken ausbleibt, handelt es sich um einen Omissionsfehler, wenn bei einem NoGo-Stimulus trotzdem gedrückt wird, handelt es sich um einen Kommissionfehler.

Im Rahmen der Testsitzung 2, welche in den Räumlichkeiten der Schulpsychologie des Psychologischen Instituts der Universität Tübingen stattfand, absolvierten die Kinder zwei weitere neuropsychologische Tests, welche mathematische Leistungen und das Lese- und Rechtschreibvermögen testen. Zudem wurde mittels verschiedener Fragebogen die gesundheitsbezogene Lebensqualität, Selbstkontrolle, Beeinträchtigung exekutiver Funktionen sowie eine Beurteilung relevanter Therapiebedingungen erfasst. Außerdem erfolgte eine Beurteilung durch Eltern und Lehrerinnen und Lehrer mittels Connors Fragebogen. Die Erläuterung des Connors Fragebogen ist dem Abschnitt 2.2 (Ein- und Ausschlusskriterien) zu entnehmen. Auf

eine ausführliche Erläuterung der anderen Messinstrumente der Testsitzungen 2 wurde verzichtet, da diese in dieser Arbeit nicht ausgewertet wurden.

2.4.2 Trainingssitzungen

Virtuelle Realität und 2D-Klassenzimmer. Um eine Verbesserung des Transfers der erlernten Strategien zur Aufmerksamkeitsregulierung in den Alltag zu verstärken, fanden die Trainingssitzungen der Experimentalgruppe in einem virtuellen Klassenzimmer statt. Die Kinder trugen während der Trainingssitzungen eine Virtual-Reality Brille (Oculus Rift SDK 2 HMD VR Headset), durch welche sie sich in einem Klassenzimmer in dreidimensionaler Ausprägung wahrnahmen. In dieser virtuellen Realität waren sie von Mitschülerinnen und Mitschülern umgeben, zudem sahen sie vor sich eine Lehrerin am Pult sitzend (s. auch Anhang, Abb. 7). In 50 % der Durchgänge traten randomisiert mit einem Mindestabstand von 60 s Störfaktoren auditiver, visueller oder gemischter Form auf, beispielsweise Getuschel, raschelndes Papier oder Papierflieger. Die Versuchsleitenden konnten dem Szenario auf dem Computerbildschirm in zweidimensionaler Darstellung folgen.

Jene Kinder, die das NFT in der 2D-Kondition absolvierten, trugen keine Videobrille und sahen das Klassenzimmer gleichermaßen wie die Versuchsleiter auf dem Computerbildschirm.

Jedes Kind absolvierte 15 Trainingssitzungen à jeweils 60-75 min. Darin eingeschlossen waren eine etwa 20-minütige Vorbereitungszeit, um die Optoden der NIRS-Haube auf dem Kopf der Kinder anzupassen

Das eigentliche Training dauerte etwa 45 min. Zusätzlich erfolgte im Anschluss an das NFT der Sitzungen 6-15 eine Trainingsphase von etwa 5 min, während der die Kinder mit Stimuluskarten, welche einen Screenshot des Klassenzimmers zeigten, übten, ihre Strategien aus dem Training anzuwenden. Sie sollten dafür 5-6-mal an ihre Strategien denken und sich vorstellen, wie sie das Licht im Klassenzimmer heller stellen. Im Anschluss lösten sie eine Denkaufgabe (z.B. Zahlenrätsel oder Logikrätsel). Das gleiche Prinzip sollten die Kinder auch zuhause anwenden, z.B. bevor sie mit den Hausaufgaben beginnen. Sie bekamen dafür eine Stimuluskarte mit nach Hause.

Nach der 8. Sitzung folgte eine Pause von 2-3 Wochen, was den Transfer der erlernten Strategien in den Alltag unterstützen sollte.

Zu Beginn jeder Trainingssitzung erfolgte eine 5 s andauernde Baseline-Messung, während der die oxy-Hb-Signale der acht Feedback-Kanäle über dem rechten und linken dlPFC (s. Anhang) aufgezeichnet und deren Mittelwert als Referenz für das folgende Feedback verwendet wurde.

Die Kinder erhielten die Instruktion, den Pfeilen, die auf der Tafel des virtuellen Klassenzimmers erschienen, zu folgen: Zeigte der Pfeil nach oben, sollten sie das Licht im Klassenzimmer „gedanklich“ heller stellen (Aktivierungsvorgang), zeigte der Pfeil nach unten, es dunkler stellen (Deaktivierungsvorgang). Dazu bekamen sie in der ersten Trainingssitzung Hilfestellungen und Anregungen von den Trainingsleitenden, um Strategien zu finden (z.B. „an etwas Schönes, Aufregendes denken“ für Aktivierung, „an etwas Langweiliges, Ruhiges denken“ für Deaktivierung). Einmal erarbeitete Strategien sollten möglichst beibehalten werden, Modifizierungen zur Optimierung im Laufe der ersten Trainingssitzungen waren jedoch möglich.

Jede Trainingssitzung beinhaltete drei Blöcke. Dabei erfolgten jeweils 12 Durchgänge in Block 1 und Block 2, sowie 8 Durchgänge in Block 3. Während der Trainingssitzungen 1-8 betrug der Anteil an Aktivierungs- und Deaktivierungsdurchgängen jeweils 50 %, während der Trainingssitzungen 9-15 betrug der Anteil an Aktivierungsdurchgängen 80 %, der Anteil an Deaktivierungsdurchgängen 20 %. Jedem Durchgang ging eine Aktivierungsphase von 30 s voraus, während die Strategie zur Aktivierung angewendet werden sollte, danach folgte eine Ruhephase von 20 s. Bei den Blöcken 1 und 2 handelte es sich um Feedback-Blöcke: Konzentrationsänderungen des oxy-Hb wurden den Kindern in Form von Änderungen der Klassenzimmerbeleuchtung rückgemeldet. Je höher die Aktivität des dlPFC beider Hemisphären und somit die Konzentration des oxy-Hb war, desto heller wurde das Licht im Klassenzimmer. Eine Baseline-Messung, die vor jedem Durchgang, als Mittelwert der oxy-Hb-Konzentration der acht NIRS-Kanäle über dem dlPFC, 2 s vor Erscheinen des ersten Triggers bestimmt wurde, diente als Referenz für darauffolgende oxy-Hb-Signale (oberhalb der Baseline: Anstieg des oxy-Hb-Signals; unterhalb der Baseline: Abfall des oxy-Hb-Signals).

Im dritten Block erschien kein Feedback, die Lichtintensität im Klassenzimmer blieb durchgehend unverändert. Es handelte sich um einen Transferblock. Dies sollte die generalisierte Stabilisierung der erlernten Strategien zur Selbstregulation unterstützen.

Zusätzlich zur Änderung der Lichtintensität wurde eine erfolgreiche Anwendung der Strategien durch visuelles Feedback in Form von Smileys (maximal 3 Smileys) und auditives Feedback in Form von Lob der Lehrerin (z.B. „Sehr gut gemacht“) positiv verstärkt. Ausschlaggebend für die Anzahl der Smileys war die oxy-Hb-Konzentration der zweiten Hälfte der Durchgänge im Verhältnis zur Baseline: Um einen Smiley zu gewinnen, musste die oxy-Hb-Konzentration 60-69 % der Zeit der zweiten Hälfte eines Durchgangs über der oxy-Hb-Konzentration der Baseline liegen. Gleichermaßen erhielten die Kinder zwei bzw. drei Smileys, wenn es ihnen gelang, 70-79 % bzw. mindestens 80 % der zweiten Hälfte eines Durchgangs die oxy-Hb-Konzentration über der Baseline aufrechtzuerhalten. Die positive Verstärkung in Block 2 wurde an die erbrachte Leistung in Block 1 adaptiert. Lag die Erfolgsquote Block 1 unter 40 %, erfolgte die Änderung der Lichtintensität mit höherer Sensitivität zur Leistung. Im Gegenzug erforderte es eine stärkere Aktivierung bzw. Deaktivierung für eine Änderung der Lichtintensität, nachdem in Block 1 eine Erfolgsrate von 60 % oder höher erzielt wurde. Die Adaptation von Block 3 erfolgte nach analogem Prinzip.

2.5. Definition Lern- und Therapierfolg

In dieser Arbeit soll als Kriterium für den Lernerfolg der durchschnittliche prozentuale Zeitanteil gelten, während dessen pro Durchgang unter Transferkonditionen Aktivierungs- bzw. Deaktivierungsvorgänge in Relation zur Baseline erfolgreich ausgeführt wurden.

Die erste (S1) sowie die letzte (S15) Trainingssitzung wurden ausgeschlossen aufgrund der Annahme, dass die Ergebnisse verzerrt sein können durch anfängliche erforderliche Gewöhnung in der ersten Sitzung sowie Ablenkung durch die Absolvierung der letzten Sitzung. Zur Beurteilung des Lernerfolgs wurde somit die Differenz des mittleren prozentualen Anteils der korrekten Aktivierungs- und Deaktivierungsdurchgänge der letzten Trainingssitzungen (S12-S14) und des mittleren prozentualen Anteils der korrekten Aktivierungs- und Deaktivierungsdurchgänge der ersten Trainingssitzungen (S2-S4) berechnet. Lernerfolg impliziert hier folglich einen positiven Zahlenwert der Differenz.

Zur Evaluierung des Therapieerfolgs auf neuropsychologischer Ebene wurde die Reaktionszeitvariabilität sowie die Anzahl der Kommissions- und Omissionsfehler in der Go/NoGo Aufgabe beurteilt.

Zur Evaluierung des Therapieerfolgs auf klinisch-behavioraler Ebene dienen die Bewertungen der Symptomausprägung der Versuchspersonen durch die Eltern und Lehrerinnen und Lehrer im Conners Fragebogen. Liegt eine Entwicklung zum Responder im Sinne eines Therapieerfolgs vor, wird eine Verringerung der Reaktionszeitvariabilität und somit der mittleren Standardabweichung der Reaktionszeit sowie eine Reduktion der Kommissions- und Omissionsfehler in der Go/NoGo Aufgabe auf neuropsychologischer Ebene und auf behavioraler Ebene eine Verbesserung in der Bewertung durch die Eltern und Lehrkräfte im Conners Fragebogen im Vergleich vom Post- bzw. Follow Up-Test zum Prä-Test erwartet. Therapieerfolg impliziert in beiden Fällen negative Zahlenwerte der jeweiligen Differenzen. Analog zum Lernerfolg erfolgte keine Dichotomisierung der Kinder in Responder oder Non-Responder anhand eines festen Grenzwerts, sondern eine Evaluierung des Ausmaßes des Therapieerfolgs.

2.6 Prädiktoren

Motivation. Vor jeder Trainingssitzung füllten die Kinder denselben Fragebogen zur Erfassung der Motivation aus. Dieser wurde von Mitgliedern der LEAD Graduate School and Research Network der Universität Tübingen entwickelt. Dabei wurden vier motivationale Aspekte anhand von 6 Items erfragt: Anstrengung („Ich werde mich beim heutigen Training anstrengen, gut zu sein.“), Spaß („Ich freue mich auf die heutige Trainingssitzung.“ und „Ich bin nur zum Training gekommen, weil ich musste.“), Bedeutung, die dem Training gegeben wird („Ich bin überzeugt, dass die heutige Trainingssitzung für mich wichtig ist.“) und die Wichtigkeit, gut zu sein („Es ist mir wichtig, in diesem Training gut zu sein.“ und „Ich bin sehr enttäuscht, wenn ich das Licht im Trainings-Klassenzimmer nicht gut an und aus bekomme.“).

Zur Prüfung der internen Konsistenz des Fragebogens zur Erhebung der Trainingsmotivation wurde Cronbachs α für alle sechs Subskalen des Motivationsfragebogens berechnet. Die 6. Subskala („Ich bin nur gekommen weil ich musste“), musste aus der Auswertung ausgeschlossen werden. Hiernach ergab sich eine mäßige interne Konsistenz mit Cronbachs $\alpha = .669$.

Regulatorische Kapazität. Als regulatorische Kapazität wurde die durchschnittliche Fähigkeit zur korrekten Durchführung von Aktivierungs- und Deaktivierungsvorgängen, prozentual in Relation zur Baseline-Messung, aus den Trainingssitzungen S2 und S3 definiert. S1 wurde aus o.g. Grund einer potenziellen Störung durch die erforderliche Gewöhnung an das Trainingssetting nicht miteingeschlossen.

2.7 Statistische Analyse

Alle Berechnungen erfolgten mit der Statistik-Software IBM SPSS Statistics 26. Die Daten wurden mit Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung überprüft. Bei vorliegender Normalverteilung wurden einfaktorielle Varianzanalysen (ANOVAs) mit Messwiederholung berechnet, im Falle einer Verletzung der Normalverteilung wurden Friedman-Tests als non-parametrische Verfahren angewandt. Das Signifikanzniveau betrug für alle Analysen $\alpha = .05$.

Zur Überprüfung des Lernerfolgs durch das NFT im Sinne eines höheren prozentualen Anteils an in Relation zur Baseline korrekt durchgeführten Aktivierungs- und Deaktivierungsdurchgängen in den Trainingssitzungen S12 bis S14 im Vergleich zu den Trainingssitzungen S2 bis S4 wurde die Differenz aus den beiden Mittelwerten der prozentualen Anteile korrekter Aktivierungs- und Deaktivierungsvorgänge in S12 bis S14 und S2 bis S4 berechnet. Je größer der Lernerfolg, desto größer ist der Zahlenwert der Differenz.

Für die Beurteilung des Therapieerfolgs auf neuropsychologischer Ebene wurden Veränderungen der Reaktionszeitvariabilität sowie der Anzahl der Kommissions- und Omissionsfehler in der Go/NoGo Aufgabe analysiert.

Aufgrund fehlender technischer Aufzeichnungen bei einigen Versuchspersonen sowie aufgrund des Ausschlusses der Follow up-Daten der Versuchsperson, welche zwischen Post-Test und Follow up-Test eine Verhaltenstherapie begonnen hatte, erfolgten die Berechnungen der mittleren Reaktionszeiten und der Reaktionszeitvariabilitäten (Standardabweichungen der Reaktionszeiten) mit einer Fallzahl von $n = 18$.

Es wurden einfaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor „Testzeitpunkt“ (Prä/Post/Follow up) durchgeführt. Bei vorliegenden signifikanten Ergebnissen wurden Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests zur Spezifizierung der

signifikanten Unterschiede berechnet. Als Effektstärkemaß für die ANOVAs wurde das partielle Eta-Quadrat (ηp^2) verwendet mit folgender Interpretation: $< 0,06$ entspricht einem kleinen Effekt, $0,06$ bis $0,14$ einem mittleren und $> 0,14$ einem starken Effekt. Therapieerfolg auf behavioraler Ebene wurde anhand der Conners Fragebogen in der Elternversion und Lehrerinnen- bzw. Lehrerversion evaluiert. In die Beurteilung eingeschlossen wurden jeweils die Subskalen Hyperaktivität/Impulsivität (HYP/IMP), Unaufmerksamkeit (UA), ADHS-Index (AI) und Global Index (GI).

Fehlende Daten in den Conners Fragebogen wurden durch Mittelung der Daten der jeweiligen Subskala ersetzt, maximal zwei fehlende Daten pro Subskala. Es kam aufgrund lückenhafter Retouren einiger Fragebogen zu fehlenden Datensätzen in der Auswertung der Conners Fragebogen, hier erfolgte ein listenweiser Fallausschluss. Da zum Follow up-Testzeitpunkt die Lehrerinnen- bzw. Lehrerversionen der Fragebogen von insgesamt sechs Versuchspersonen fehlten, wurde die Auswertung dieser komplett ausgeschlossen, um eine Verzerrung der ohnehin kleinen Fallzahl zu vermeiden.

Zur Analyse der Beurteilung der ADHS-Symptomatik durch die Eltern sowie Lehrkräfte im Conners Fragebogen zum Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich zum Prä-Testzeitpunkt wurden einfaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor „Testzeitpunkt“ (Prä/Post/Follow up), bei nicht erfüllter Normalverteilung Friedman's Tests berechnet. Diese Berechnung erfolgte separat für die jeweiligen Subskalen. Im Falle signifikanter Ergebnisse wurden Bonferroni-korrigierte post-hoc Tests zur Bestimmung der signifikanten Unterschiede gerechnet. Therapieerfolg im Sinne einer verbesserten Bewertung durch die Eltern bzw. Lehrkräfte im Conners Fragebogen impliziert eine negative Differenz zwischen den jeweiligen verglichenen Testzeitpunkten.

Als Effektstärkemaß für die ANOVAs wurde das partielle Eta-Quadrat (ηp^2) verwendet mit folgender Interpretation: $< 0,06$ entspricht einem kleinen Effekt, $0,06$ bis $0,14$ einem mittleren und $> 0,14$ einem starken Effekt. Als Effektstärkemaß für die Friedman's Tests wurde der Korrelationskoeffizient von Pearson (r) verwendet. Dabei entspricht gemäß der Interpretation von Cohen (1992) $r = .10$ einem schwachen Effekt, $r = .30$ einem mittleren und $r = .50$ einem starken Effekt.

Zur Überprüfung der Variablen „Motivation“ und „regulatorische Kapazität“ als Prädiktoren für Lernerfolg und Therapieerfolgs wurden Regressionsanalysen

durchgeführt. Dabei impliziert ein positiver Regressionskoeffizient einen positiven Zusammenhang zwischen der Prädiktorvariable und dem Ausmaß des Lernerfolgs. Therapierfolg impliziert eine negative Differenz zwischen Post- und Prä-Test bzw. Follow up- und Prä-Test und ein negativer Regressionskoeffizient einen positiven prädiktiven Wert der untersuchten Prädiktorvariablen. Als Effektstärkemaß wurde Cohen's f verwendet. Dabei entspricht $f = .10$ einem schwachen, $f = .25$ einem mittleren und $f = .40$ einem starken Effekt.

Zur Prüfung der Hypothese 1a) „Die mittlere Trainingsmotivation prädiziert den Lernerfolg“ wurde eine lineare Regressionsanalyse aus der unabhängigen Variablen „Mittlere Trainingsmotivation“ und der abhängigen Variablen „Lernerfolg“ berechnet.

Zur Prüfung der Hypothese 1b) „Die regulatorische Kapazität früher Trainingssitzungen sagt den Lernerfolg voraus.“ wurde eine lineare Regressionsanalyse aus der unabhängigen Variablen „Regulatorische Kapazität früher Trainingssitzungen“ und der abhängigen Variablen „Lernerfolg“ berechnet.

Zur Prüfung der Hypothese 2a) „Die mittlere Trainingsmotivation prädiziert den Therapieerfolg (Responding) zum Post- bzw. Follow up-Test.“ wurde eine lineare Regressionsanalyse aus der unabhängigen Variablen „Mittlere Trainingsmotivation“ und jeweils der abhängigen Variablen „Therapieerfolg“ auf neuropsychologischer (Go/NoGo Aufgabe) und klinisch-behavioraler Ebene (Conners Fragebogen) zum Post-Testzeitpunkt und Follow up-Testzeitpunkt berechnet.

Zur Prüfung der Hypothese 2b) „Die regulatorische Kapazität früher Trainingssitzungen sagt den Therapieerfolg zum Post- bzw. Follow up-Test voraus.“ wurde eine lineare Regressionsanalyse aus der unabhängigen Variablen „Regulatorische Kapazität früher Trainingssitzungen“ und jeweils der abhängigen Variablen „Therapieerfolg“ auf neuropsychologischer (Go/NoGo Aufgabe) und klinisch-behavioraler Ebene (Conners Fragebogen) zum Post-Testzeitpunkt und Follow up-Testzeitpunkt berechnet.

Zur Prüfung der Hypothese 3) „Der Lernerfolg prädiziert den Therapieerfolg.“ wurde eine lineare Regressionsanalyse aus der unabhängigen Variablen „Lernerfolg“ und der abhängigen Variablen „Therapieerfolg“ auf neuropsychologischer (Go/NoGo Aufgabe) und klinisch-behavioraler Ebene (Conners Fragebogen) zum Post-Testzeitpunkt und Follow up-Testzeitpunkt berechnet.

3 Ergebnisse

3.1 Lernerfolg der Versuchspersonen

Die Ergebnisse zeigten, dass sechzehn Versuchspersonen sich nach Absolvierung des NFTs verbessert hatten und somit einen Lernerfolg vorwiesen. Dies entspricht einem Anteil von 67 %. Acht Versuchspersonen zeigten eine negative Differenz zwischen den Lernindizes von Trainingsbeginn und Trainingsende und hatten sich somit verschlechtert. Eine einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung ergab kein Signifikanzniveau für die Veränderung der Lernindizes im Zeitverlauf ($F(1,23) = 2,126, p = .158, \eta p^2 = .085, n = 24$), die Effektstärke war stark mit $f = 0.30$.

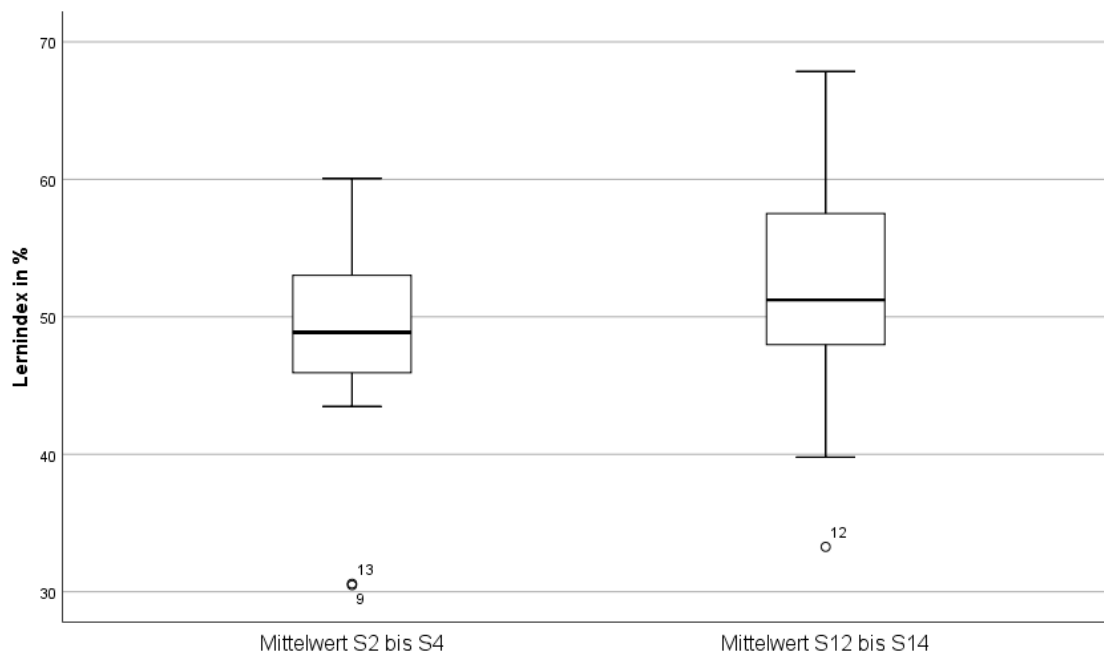


Abbildung 1. Mittlere Lernindizes (%) der Trainingssitzungen in S2bis S4 und S12 bis S14.

3.2 Therapieerfolg der Versuchspersonen

3.2.1 Conners Skalen Elternversion

Hyperaktivität/Impulsivität. Es lag eine signifikante Reduktion des Symptomkomplexes Hyperaktivität/Impulsivität über den Zeitverlauf ($F(2,42) = 15,54$, $p < .001$, $\eta p^2 = .43$, $n = 22$) mit starker Effektstärke vor. Bonferroni-korrigierte paarweise Vergleiche zeigten sowohl eine signifikante Verbesserung vom Prä- ($M = 1,77$; $SD = 0,68$) zum Post-Test ($M = 1,52$; $SD = 0,66$) mit $p = .016$ als auch vom Prä- zum Follow up-Test ($M = 1,29$; $SD = 0,58$) mit $p < .001$.

Unaufmerksamkeit. Auch die Elternbewertung hinsichtlich des Symptomkomplexes Unaufmerksamkeit zeigte signifikante Verbesserungen ($\chi^2(2) = 12,60$, $p = ,002$) mit starker Effektstärke ($r = 0.76$). Dunn-Bonferroni-korrigierte paarweise Vergleiche zeigten eine signifikante Reduktion auf der Inhaltsskala Unaufmerksamkeit sowohl vom Prä- ($M = 2,07$; $SD = 0,47$) zum Post-Test ($M = 1,92$; $SD = 0,47$) mit $p = .004$ als auch vom Prä- zum Follow up-Test ($M = 1,82$; $SD = 0,44$) mit $p = .025$.

ADHS-Index. Die Elternbewertung hinsichtlich der Subskala ADHS-Index zeigte signifikante Veränderungen über den Zeitverlauf ($F(2,42) = 9,596$, $p < .001$, $\eta p^2 = .314$, $n = 22$) mit starker Effektstärke. Post-Hoc durchgeführte paarweise Vergleiche zeigten, dass sich die Elternbewertung vom Prä-Test ($M = 2,07$, $SD = 0,50$) zum Post-Test ($M = 1,82$, $SD = 0,53$) mit $p = .005$ als auch vom Prä-Test zum Follow up-Test ($M = 1,73$, $SD = 0,50$) mit $p = .006$ signifikant verbessert hatte.

Global-Index. Die Elternbewertung hinsichtlich der Subskala Global-Index unterschied sich signifikant zwischen den drei Testzeitpunkten ($F(2,42) = 11,934$, $p = .000$, $\eta p^2 = .362$, $n = 22$), die Effektstärke war hoch. Bonferroni-korrigierte paarweise post-hoc Vergleiche zeigten signifikante Verbesserungen lediglich vom Prä- ($M = 1,64$, $SD = 0,52$) zum Follow Up-Test ($M = 1,26$, $SD = 0,48$) mit $p = .001$.

3.2.2 Conners Skalen Lehrerinnen- und Lehrerversion

Hyperaktivität/Impulsivität. Die Bewertung der Lehrerinnen und Lehrer hinsichtlich des Symptomkomplexes Hyperaktivität/Impulsivität unterschied sich zu den Testzeitpunkten nicht signifikant.

Unaufmerksamkeit. Hinsichtlich des Symptomkomplexes Unaufmerksamkeit zeigte sich eine signifikante Verschlechterung in der Bewertung hinsichtlich des Symptomkomplexes Unaufmerksamkeit ($F(1, 22) = 4,344, p = .049, \eta^2 = .17, n = 23$) mit starker Effektstärke ($f = 0.43$). Weitere signifikante Zusammenhänge lagen nicht vor.

ADHS-Index. Hinsichtlich der Subskala ADHS-Index zeigte sich in der Bewertung durch die Lehrerinnen und Lehrer zum Post-Test ($M = 1,83, SD = 0,64$) eine höhere Ausprägung als zum Prä-Test ($M = 1,67, SD = 0,57$). Diese Entwicklung war signifikant ($F(1, 22) = 4,774, p = .040, \eta^2 = .18, n = 23$), die Effektstärke stark.

Global-Index. Die Bewertung der Lehrerinnen und Lehrer hinsichtlich der Subskala Global-Index zeigte keine signifikanten Veränderungen.

Tabelle 1

Ergebnisse der Conners Skalen der Elternversion und Lehrerinnen- und Lehrerversion zu den jeweiligen Testzeitpunkten.

	Prä-Test	Post-Test	FU-Test	Post-Prä (<i>p</i> -Wert)	FU-Prä (<i>p</i> -Wert)	<i>p</i> -Wert	<i>ES</i>
CPRS-R (T-Scores)							
HYP/IMP	1.77	1.52	1.29	- 0.25 (<i>p</i> = .016)	- 0.48 (<i>p</i> = <.001)	<.001	0.43
UA	2.07	1.92	1.82	- 0.25 (<i>p</i> = .004)	- 0.25 (<i>p</i> = .025)	.002	0.76
AI	2.07	1.82	1.73	- 0.25 (<i>p</i> = .005)	- 0.33 (<i>p</i> = .006)	<.001	0,31
GI	1.64	1.45	1.26	- 0.19 (<i>p</i> = .068)	- 0.38 (<i>p</i> = .001)	<.001	0,36
CTSR-R (T-Scores)							
HYP/IMP	1.32	1.28		- 0.04		.776	<0,06
UA	1.81	1.97		0.16		.049	0,17
AI	1.67	1.83		0.16		.040	0,18
GI	1.06	1.16		0.10		.304	0,22

Anmerkungen. Signifikanzniveau $p < .005$. FU = Follow up. CPRS-R = Revised Conners' Parents Rating Scale. CTRS-R = Revised Conners' Teacher Rating Scale. UA = Unaufmerksamkeit. HYP/IMP = Hyperaktivität/Impulsivität. AI = ADHS-Index. GI = Global-Index. ES = Effektstärke (η^2).

3.2.3 Go/NoGo Aufgabe

Vom Prä-Test ($M = 400,89$ ms) zum Post-Test ($M = 418,96$ ms) kam es zu einer durchschnittlichen Verschlechterung der Versuchspersonen im Sinne einer längeren Reaktionszeit, zum Follow up-Test lag die niedrigste mittlere Reaktionszeit vor ($M = 397,08$ ms). Einfaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung ergaben keine signifikanten Veränderungen der mittleren Reaktionszeiten ($F(1.47, 25.01) = 2.164, p =$

.146, $\eta p^2 = .113$, $n = 18$), die Effektstärke war mit $f = 0.36$ stark. Da Sphärizität nicht erfüllt war, wurde eine Anpassung der Freiheitsgrade mittels Korrektur nach Greenhouse-Geisser vorgenommen.

Die mittlere Standardabweichung der Reaktionszeiten zeigte eine Reduktion im Zeitverlauf von 175,17 ms im Prä-Test zu 174,64 ms im Post-Test und 167,29 ms im Follow up-Test. Aufgrund nicht gewährleisteter Sphärizität wurde auch hier eine Korrektur nach Greenhouse-Geisser verwendet. Die Reduktion der mittleren Standardabweichung erreichte jedoch keine Signifikanz ($F(1.45, 24,67) = 0.385$, $p = .618$, $\eta p^2 = .022$, $n = 18$), die Effektstärke war gering mit $f = 0.15$.

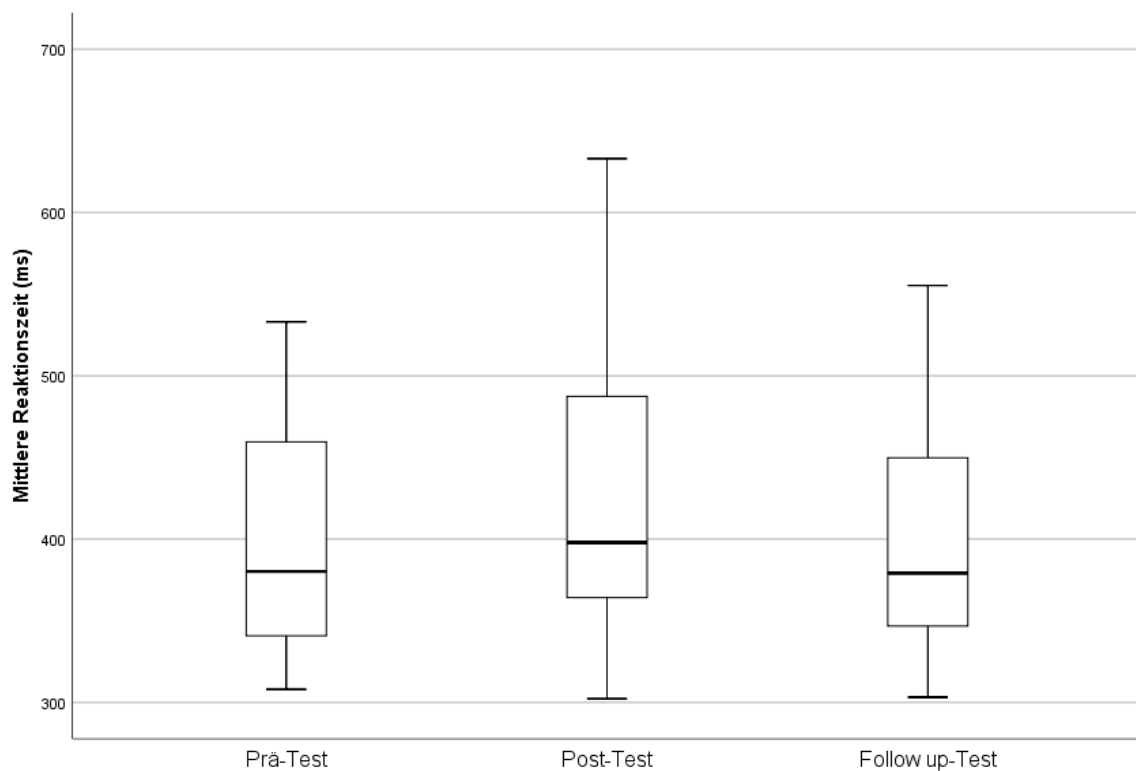


Abbildung 2. Mittlere Reaktionszeiten (ms) in der Go/NoGo Aufgabe zu den drei Testzeitpunkten.

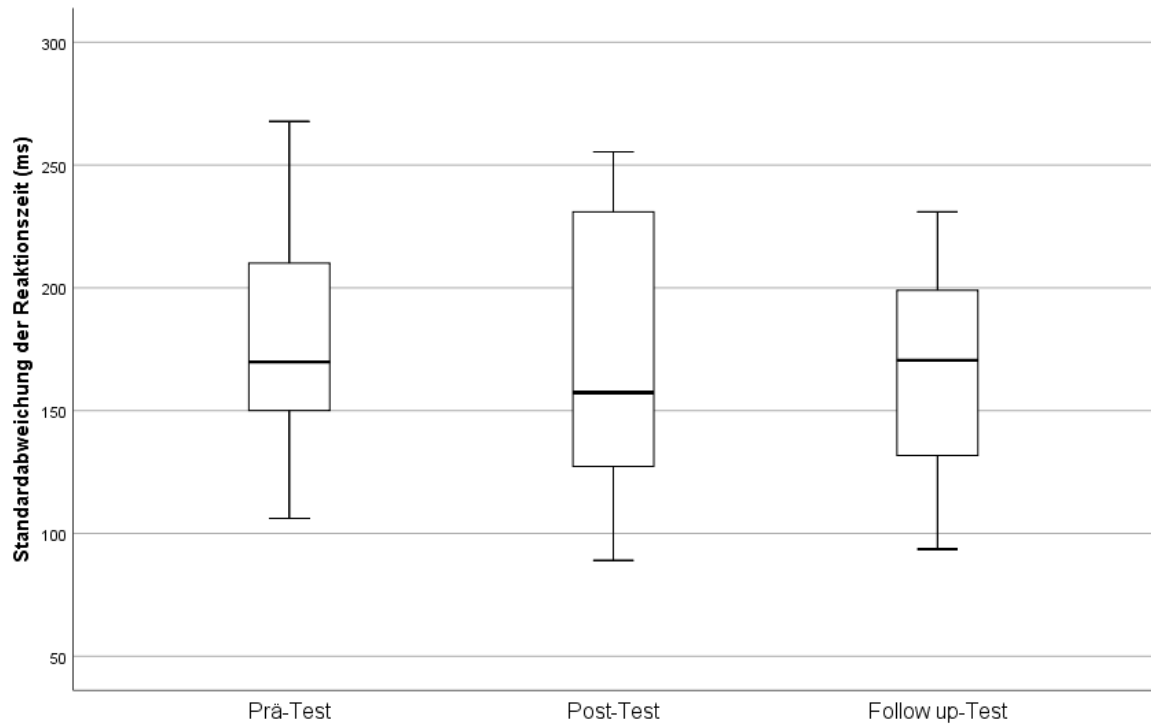


Abbildung 3. Standardabweichungen der Reaktionszeiten in der Go/NoGo Aufgabe zu den drei Testzeitpunkten.

Tabelle 2

Reaktionszeiten und Standardabweichungen der Reaktionszeiten in der Go/NoGo Aufgabe zu den jeweiligen Testzeitpunkten.

	Prä	Post	Follow up	Post-prä	Follow up-prä	<i>p</i>	<i>ES</i>
RT	400.89	418.96	397.08	18.07	- 3.81	.146	0.36
SD_RT	175.17	174.64	167.29	- 0.53	- 7.88	.618	0.15

Anmerkungen. RT = mittlere Reaktionszeit in ms. SD_RT = Standardabweichung der Reaktionszeit in ms. *ES* = Effektstärke *r*

Tabelle 3

Kommissionsfehler und Omissionsfehler in der Go/NoGo Aufgabe zu den jeweiligen Testzeitpunkten.

	Prä	Post	Follow up	Post-prä	Follow up- prä	<i>p</i>	<i>ES</i>
KF	4.67	6.21	5.96	1.54	1.29	.113	0.31
OF	13	12.25	9.54	-0.75	-3,46	.746	0.16

Anmerkungen. KF = Anzahl der Kommissionsfehler. OF = Anzahl der Omissionsfehler. *ES* = Effektstärke *r*

3.3 Prädiktoren für Lernerfolg und Therapieerfolg

3.3.1 Motivation als Prädiktorvariable

Lernerfolg. Die Hypothese, dass die durchschnittliche Motivation der Versuchspersonen das Ausmaß des Lernerfolgs prädiziert und eine höhere Motivation zu größerem Lernerfolg führt, konnte nicht gestützt werden. Es lag kein signifikanter Zusammenhang zwischen Motivation und Lernerfolg vor ($F(1,22) = .032, p = .860$).

Therapieerfolg. Es zeigte sich, dass auch für den Therapieerfolg, sowohl auf neuropsychologischer als auch auf klinisch-behavioraler Ebene, die mittlere Motivation der Versuchspersonen keinen signifikant prädiktiven Wert erwies. Zwischen mittlerer Motivation und den Bewertungen durch die Eltern sowie Lehrkräfte in den Connors Fragebogen im Vergleich vom Post- bzw. Follow Up-Test zum Prä-Test zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge, ebenfalls nicht zwischen mittlerer Motivation und Reaktionszeitvariabilität, sowie Anzahl der Kommissions- und Omissionsfehler in der Go/NoGo Aufgabe.

3.3.2 Regulatorische Kapazität als Prädiktorvariable

Lernerfolg. Auch die Hypothese, dass die mittlere regulatorische Kapazität der frühen Trainingssitzungen als Prädiktor für den Lernerfolg fungiert, konnte nicht gestützt werden. Kinder mit einer höheren mittleren regulatorischen Kapazität in den Trainingssitzungen S2 und S3 erreichten sogar einen signifikant niedrigeren Lernerfolg ($p = .018; r = -.612; R^2 = .227; F(1,22) = 6,48$). Die regulatorische Kapazität erklärte

23 % der Varianz des Lernerfolgs.

Therapieerfolg. Für einen Therapieerfolg auf neuropsychologischer Ebene im Sinne einer verringerten Reaktionszeitvariabilität sowie Reduktion der Kommissions- und Omissionsfehler in der Go/NoGo Aufgabe besaß auch die regulatorische Kapazität keinen prädiktiven Wert (s. Tabelle 4).

Die regulatorische Kapazität verzeichnete einen prädiktiven Wert für den Therapieerfolg auf behavioraler Ebene basierend auf der Bewertung durch die Eltern: Kinder mit einer höheren regulatorischen Kapazität in den frühen Trainingssitzungen wiesen eine signifikante Verbesserung in der Elternbewertung des Conners Fragebogen im Vergleich vom Prä-Test zu Post-Test sowohl in der Subskala ADHS-Index ($p = .001$; $r = -.031$; $R^2 = .412$; $F(1,22) = 15,44$) als auch Global-Index ($p = .002$; $r = -.033$; $R^2 = .367$; $F(1,22) = 12,76$) sowie in den Subskalen Unaufmerksamkeit ($p = .001$; $r = -.040$; $R^2 = .414$; $F(1,22) = 15,53$) und Hyperaktivität/Impulsivität ($p = .044$; $r = -.023$; $R^2 = .172$; $F(1,22) = 4,57$) auf. Die Effektstärken waren jeweils hoch mit $f = .84$ bzw. mittel mit $f = .46$. Im Vergleich vom Prä-Test zum Follow up-Test lagen keine signifikanten Zusammenhänge vor.

Hinsichtlich der Beurteilung durch Lehrkräfte im Conners Fragebogen wurde eine signifikante Verbesserung der Kinder mit einer zu Beginn des NFTs höheren regulatorischen Kapazität lediglich auf der Subskala ADHS-Index erreicht ($p = .036$; $r = -.018$; $R^2 = .193$; $F(1,21) = 5,03$), die Effektstärke war hoch mit $f = .49$. Die regulatorische Kapazität erklärte hier 19,3 % der Varianz des Therapieerfolgs gemäß dieser Subskala. Für die weiteren Subskalen Unaufmerksamkeit, Hyperaktivität/Impulsivität sowie Global Index lagen keine signifikanten Zusammenhänge vor.

Tabelle 4*Übersicht der Regressionsanalysen von Motivation und Lernerfolg bzw. Therapieerfolg.*

	<i>p</i> -Wert	<i>r</i>	<i>R</i> ²	<i>ES</i>
Lernerfolg	.860	-.377	.001	.00
Therapieerfolg				
CPRS-R				
AI _{post-prä}	.260	-.089	.057	0.25
AI _{fu-prä}	.744	.031	.005	0.23
GI _{post-prä}	.058	-.145	.161	0.44
GI _{fu-prä}	.787	-.023	.004	0.06
UA _{post-prä}	.969	-.004	.000	0.00
UA _{fu-prä}	.913	.011	.001	0.03
HYP/IMP _{post-prä}	.322	-.092	.045	0.22
HYP/IMP _{fu-prä}	.744	.039	.005	0.07
CTRS-R				
AI _{post-prä}	.683	-.029	.008	0.09
GI _{post-prä}	.595	-.050	.014	0.12
UA _{post-prä}	.853	.014	.002	0.04
HYP/IMP _{post-prä}	.116	.174	.114	0.36
GoNoGo				
SD_RT _{post-prä}	.452	5.195	.034	0.19
SD_RT _{fu-prä}	.508	5.723	.028	0.17
KF _{post-prä}	.524	3.472	.019	0.14
KF _{fu-prä}	.401	4.705	.032	0.17
OF _{post-prä}	.482	-11.099	.023	0.14
OF _{fu-prä}	.860	-6.794	.001	0.00

Anmerkungen. *r* = Regressionskoeffizient. *R*² = R-Quadrat. *ES* = Effektstärke (Cohen's *f*). CPRS-R = Revised Conners' Parents Rating Scale. CTRS-R = Revised Conners' Teacher Rating Scale. AI = ADHS-Index. GI = Global-Index. UA = Unaufmerksamkeit, HYP/IMP = Hyperaktivität/Impulsivität. SD_RT = Standardabweichung der Reaktionszeiten in der Go/NoGo Aufgabe.

Tabelle 5

Übersicht der Regressionsanalysen der regulatorischen Kapazität und Lernerfolg bzw. Therapieerfolg.

	<i>p</i> -Wert	<i>r</i>	<i>R</i> ²	<i>ES</i>
Lernerfolg	.018	-.612	.227	.54
Therapieerfolg				
CPRS-R				
AI _{post-prä}	.001	-.031	.412	.84
AI _{fu-prä}	.187	-.017	.085	.30
GI _{post-prä}	.002	-.033	.367	.76
GI _{fu-prä}	.987	.000	.000	.00
UA _{post-prä}	.001	-.040	.414	.84
UA _{fu-prä}	.130	-.202	.111	.12
HYP/IMP _{post-prä}	.044	-.023	.172	.46
HYP/IMP _{fu-prä}	.425	-.013	.031	.18
CTRS-R				
AI _{post-prä}	.036	-.018	.193	0.49
GI _{post-prä}	.674	-.005	.009	0.10
UA _{post-prä}	.218	-.012	.071	0.28
HYP/IMP _{post-prä}	.338	-.014	.044	0.21
Go/NoGo				
SD_RT _{post-prä}	.139	1.587	.124	0.38
SD_RT _{fu-prä}	.789	.410	.004	0.06
KF _{post-prä}	.863	.862	.001	0.00
KF _{fu-prä}	.657	-1.056	.009	0.10
OF _{post-prä}	.730	-7.323	.006	0.10
OF _{fu-prä}	.947	-1.835	.000	0.00

Anmerkungen. *r* = Regressionskoeffizient. *R*² = R-Quadrat. *ES* = Effektstärke (Cohen's *f*). CPRS-R = Revised Conners' Parents Rating Scale. CTRS-R = Revised Conners' Teacher Rating Scale. AI = ADHS-Index. GI = Global-Index. UA = Unaufmerksamkeit, HYP/IMP = Hyperaktivität/Impulsivität. SD_RT = Standardabweichung der Reaktionszeiten in der Go/NoGo Aufgabe. KF = Kommissionsfehler. OF = Omissionsfehler.

3.4 Impliziert Lernerfolg Therapieerfolg?

Lineare Regressionsanalysen ergaben keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Lernerfolg und Therapieerfolg für alle Subskalen der Elternversion als auch der Lehrerinnen- und Lehrerversion des Conners Fragebogen sowohl zum Post- als auch zum Follow up-Test (s. Tabelle 5). Lernerfolg geht den Ergebnissen dieser Untersuchung zufolge nicht mit Therapieerfolg einher.

Tabelle 6*Übersicht Regressionen Lernerfolg und Therapieerfolg.*

	<i>p</i> -Wert	<i>r</i>	<i>R</i> ²	<i>ES</i>
Therapieerfolg				
CPRS-R				
AI _{post-prä}	.050	.015	.164	0.44
AI _{fu-prä}	.219	.013	.074	0.28
GI _{post-prä}	.468	.006	.025	0.16
GI _{fu-prä}	.991	.000	.000	0.00
UA _{post-prä}	.150	.015	.092	0.32
UA _{fu-prä}	.433	.008	.031	0.18
HYP/IMP _{post-prä}	.114	.015	.109	0.35
HYP/IMP _{fu-prä}	.108	.019	.118	0.37
CTRS-R				
AI _{post-prä}	.279	.008	.056	0.24
GI _{post-prä}	.471	-.007	.025	0.16
UA _{post-prä}	.450	.006	.027	0.17
HYP/IMP _{post-prä}	.697	-.004	.007	0.08
Go/NoGo				
SD_RT _{post-prä}	.211	1.541	.096	0.33
SD_RT _{fu-prä}	.159	2.761	.120	0.37
KF _{post-prä}	.101	1.850	.118	0.36
KF _{fu-prä}	.496	1.469	.021	0.14
OF _{post-prä}	.544	-.180	.017	0.14
OF _{fu-prä}	.066	-1.320	.145	0.41

Anmerkungen. *r* = Regressionskoeffizient. *R*² = R-Quadrat. *ES* = Effektstärke (Cohen's *f*).

CPRS-R = Revised Conners' Parents Rating Scale. CTRS-R = Revised Conners' Teacher Rating Scale.

AI = ADHS-Index. GI = Global-Index. UA = Unaufmerksamkeit, HYP/IMP =

Hyperaktivität/Impulsivität. SD_RT = Standardabweichung der Reaktionszeiten in der Go/NoGo

Aufgabe. KF = Kommissionsfehler. OF = Omissionsfehler.

4 Diskussion

Ziel dieser Arbeit war, zu untersuchen, inwieweit das erfolgreiche Erlernen kognitiver selbstregulatorischer Strategien und das Ausmaß des Lernerfolgs sowie der

Therapieerfolg durch die Absolvierung des NIRS-basierten NFTs bereits zu Beginn vorausgesagt werden kann. Als Prädiktorvariablen wurden hierfür die mittlere Trainingsmotivation der Versuchspersonen sowie die regulatorische Kapazität der frühen Trainingssitzungen S2 und S3 analysiert.

Weiterhin wurde untersucht, ob Lernerfolg im NFT auch Therapieerfolg auf behavioraler und neuropsychologischer Ebene impliziert.

4.1 Bewertung der Prädiktoren

Die mittlere Trainingsmotivation besaß keinen signifikant prädiktiven Wert sowohl für den Lernerfolg als auch für den Therapieerfolg. Auch bezüglich des Therapieerfolgs gab es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Motivation und Verbesserung auf klinisch-behavioraler Ebene. Hinsichtlich einiger Subskalen der Conners Fragebogen zeigte sich sogar ein schlechterer Therapieerfolg bei höher motivierten Versuchspersonen: dies war in der Elternbewertung auf allen Subskalen außer des Global Index zum Follow up-Test der Fall (nach vorheriger besserer Bewertung im Vergleich vom Prä- zum Post-Test), in der Bewertung durch Lehrkräfte auf den Subskalen Unaufmerksamkeit und Hyperaktivität/Impulsivität im Vergleich vom Prä- zum Post-Test.

Folglich konnte die Hypothese, dass die durchschnittliche Trainingsmotivation der Versuchspersonen den Lernerfolg positiv beeinflusst und deren Ausprägung das Ausmaß des Lernerfolgs voraussagt, nicht bestätigt werden.

Die Ergebnisse stützen Resultate früherer Studien, die ebenfalls zu dem Resultat gelangten, dass die Motivation keinen Einfluss auf die Ergebnisse eines NFTs hat (Enriquez-Geppert et al., 2014; Hammer et al., 2012).

Die objektive Erfassung der Motivation ist vager als beispielsweise die Erfassung konkreter neurophysiologischer Parameter, welche auf Gerätemessungen beruhen. Die Erfassung erfolgte mittels Fragebogen, welcher von den Kindern selbst vor jeder Trainingssitzung ausgefüllt wurde. Teilweise ließ sich beobachten, dass einige Kinder tendenziell spielerisch oder aus Ungeduld bei jedem Termin nach demselben Schema ausfüllten oder bei jedem Item die höchste oder niedrigste Ausprägung ankreuzten. Daher ist das Ausmaß, in welchem die tatsächliche Trainingsmotivation der Kinder auf diese Weise wiedergespiegelt wurde, kritisch zu betrachten. Dennoch sind

psychologische Faktoren wie die Motivation oder auch Selbstwirksamkeitserleben der Teilnehmenden relevante Parameter, welche den Lern- und Therapieerfolg beeinflussen können. Um die Erhebung solcher Faktoren objektivierbarer zu gestalten, wäre eine Möglichkeit, dass die Trainingsleitenden die Items der Fragebogen in einem Gespräch vor Beginn des Trainings erfragen und von ihnen selbst ausgefüllt wird. So entsteht für die Kinder die Möglichkeit, frei und unbeeinflusst vom visuellen Reiz des Fragebogens zu antworten.

Ebenfalls zu hinterfragen ist, inwieweit Selbsteinschätzungsfragebogen zur Motivation die tatsächliche Ausprägung der Motivation der Kinder widerspiegeln. In früheren Studien konnte nachgewiesen werden, dass Kinder mit einer ADHS zu einer überdurchschnittlich hohen Überschätzung ihrer Fähigkeiten im Vergleich zu Kindern ohne eine ADHS neigen, es zeigte sich eine positiv-gerichtete Verzerrung ihrer Selbstwahrnehmung und der eigentlichen objektiv vorliegenden Kompetenzen, auch genannt „positive illusory bias“. Ergebnisse aus Selbstbeurteilungsfragebogen korrelierten oft nicht mit den Angaben aus Beurteilungsbogen, welche von Eltern oder Lehrkräften erhoben wurden oder mit objektiven Messungen (Owens et al., 2007).

Eine Theorie dieses Phänomens ist, dass Kinder mit einer ADHS sich durch übermäßig positive Selbsteinschätzung ihrer Fähigkeiten selbst vor Enttäuschung und Frustration durch Misserfolge schützen (Hoza et al., 2004; Owens et al., 2007).

Diese Theorie kann eine mögliche Erklärung dafür sein, dass die Erhebung der Trainingsmotivation wahrscheinlich kein wirksames Instrument zur Vorhersage der Effektivität des NFTs bei Kindern mit der Diagnose einer ADHS darstellt.

Auf der anderen Seite kann die motivationale Inkongruenz zwischen hoher Motivation und realer Leistung, basierend auf der Konsistenztheorie von Grawe, die Leistung im NFT negativ beeinflussen bzw. eine geringe motivationale Inkongruenz einen prädiktorischen Wert für Lernerfolg besitzen (Diaz Hernandez et al., 2018).

Künftig sollte die Motivation als valides Instrument zur Prädiktion des Lern- und Therapieerfolgs in NFTs anhand größerer Fallzahlen reevaluiert werden. Weiterhin wäre interessant zu untersuchen, inwieweit die Stärke der Ausprägung der ADHS-Symptomatik mit einer überhöhten Selbstbewertung in Selbsteinschätzungsfragebogen und somit Inkongruenz mit der Bewertung durch Eltern und Lehrkräfte korreliert.

Eine denkbare Alternative, stimmungsbezogene und motivationale Faktoren auf ihren prädiktiven Wert zu untersuchen könnte beispielsweise sein, in einem Fragebogen-gestützten Gespräch zwischen Trainingsleitenden und Kind die allgemeine psychische Verfassung und Stimmungslage vor jeder Trainingseinheit zu erfassen.

Die regulatorische Kapazität der frühen Trainingssitzungen, in diesem Fall der zweiten und dritten Trainingssitzung, zeigte hier konträr zur Arbeitshypothese einen signifikant prädiktiven Wert für einen geringeren Lernerfolg: je größer die regulatorische Kapazität zu Beginn des NFTs war, desto geringer war der Anteil korrekter Durchführungen der kognitiven Strategien in den letzten Trainingssitzungen im Vergleich zu den ersten Trainingssitzungen. Eine mögliche Ursache kann darin liegen, dass Lernerfolg bereits nach wenigen Trainingssitzungen eintreten kann und zu einer klinischen Verbesserung führt und bei Versuchspersonen, die die Strategien erfolgreich lernen, im Verlauf weiterer Trainingssitzungen die Leistung stagniert oder gar rückläufig ist aufgrund sinkender Motivation und Unterforderung.

Van Doren et al. (2017) konnten in einem EEG-basierten Theta/Beta-Training bereits nach nur zwei Trainingssitzungen signifikante Veränderungen im Sinne einer reduzierten Theta/Beta-Ratio sowie signifikant reduzierter Theta-Wellen in einer nachfolgenden Leseaufgabe nachweisen. Um diese Hypothese weiter zu verfolgen, sollten beispielsweise in künftigen Studien Resultate von Kurzzeit-NFTs und NFTs mit 15 oder mehr Trainingssitzungen verglichen werden; ebenfalls relevant wäre, inwieweit Prädiktorvariablen auch für den Therapieerfolg eines Kurzzeit-NFTs aussagekräftig sind. Sollte sich bereits nach wenigen Trainingssitzungen bei „Lernern“ ein hinreichender Lernerfolg etabliert haben, lässt sich diskutieren, inwieweit es hilfreich ist, bereits nach einer geringeren Anzahl an Sitzungen das NFT zu beenden und stattdessen die Transferleistung in den Alltag zu vertiefen und zu trainieren. Dies kann beispielsweise durch situatives Üben (beispielsweise bei den Hausaufgaben, bei Stillarbeiten im Schulunterricht) der Anwendung der Strategien mithilfe von Transferkärtchen, welche einen Screenshot der Bildschirm-Präsentation während des NFT zeigen, wie sie auch in dieser Studie verwendet wurden, gelingen (Janssen et al., 2017).

In der Prüfung der Arbeitshypothese, dass die regulatorische Kapazität der frühen Trainingssitzungen das Ausmaß des Therapieerfolgs auf klinischer Ebene

voraussagt, zeigten sich keine konsistenten Ergebnisse: Es gab einen signifikanten positiven Zusammenhang zwischen der regulatorischen Kapazität und einer Verbesserung der Kinder auf klinisch-behavioraler Ebene bezüglich aller untersuchten Subskalen der Elternversion des Conners Fragebogen, jedoch lediglich bezüglich der Subskala ADHS-Index der Lehrerinnen- und Lehrerversion. In beiden Fällen bestand der signifikante Zusammenhang außerdem nur für den Therapieerfolg zum Post-Test, nicht zum Follow up-Test. Somit ließ sich auch die regulatorische Kapazität nicht als Prädiktorvariable hinreichend bestätigen.

Impliziert Lernerfolg Therapieerfolg? Die Hypothese, dass Lernerfolg mit Therapieerfolg einhergeht, konnte nicht belegt werden. Es bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ausmaß des Lernerfolgs und dem Ausmaß des Therapieerfolgs. Zudem zeigte sich, dass die regulatorische Kapazität der frühen Trainingssitzungen trotz negativen Zusammenhangs mit dem Lernerfolg einen signifikant prädiktiven Wert für den Therapieerfolg im Sinne klinischer Verbesserungen auf behavioraler Ebene hinsichtlich aller ausgewerteter Subskalen der Elternversion des Conners Fragebogen und zumindest hinsichtlich einer Subskala der Lehrerinnen- und Lehrerversion (ADHS-Index) zum Post-Test verglichen mit dem Prä-Test aufwies. Diese Ergebnisse stützen Hypothesen früherer Studien, dass eine Beeinflussung des Therapieerfolgs durch ein NFT durch weitere Moderatoren und Mediatoren anzunehmen ist (Alkoby et al., 2018; Zuberer et al., 2015).

4.2 Weitere mögliche Einflussfaktoren auf Lern- und Therapieerfolg im NFT

Verschiedene Neurofeedbackprotokolle. In der aktuell gültigen AWMF-Leitlinie wird im Falle einer Durchführung eines NFTs, gestützt durch Ergebnisse von Arns et al. (2014) und Cortese et al. (2016), empfohlen, bewährte Standardprotokolle anzuwenden: dabei handelt es sich um das Theta-Beta-Ratio-Feedback (TBR), das Sensorimotor-Rhythmus-Feedback (SMR) sowie das Feedback langsamer kortikaler Potentiale (SCP). Frühere Forschungsergebnisse sprechen dafür, dass die Anwendung besagter gut und bereits über mehrere Jahrzehnte untersuchter Protokolle zu höheren und signifikanten Effekten führt als die Anwendung anderer Protokolle: Es erfolgten z.B. Ansätze durch verschiedene Studien, die Effektivität individueller NF-Protokolle zu prüfen. Hier lässt sich diskutieren, ob künftige Studien prüfen sollten, inwieweit

ausgehend von diesen in ihrer Effektivität bewährten NF-Protokollen durch eine Individualisierung auf die jeweiligen Betroffenen die Therapieeffekte optimiert werden können. Bezüglich einer Individualisierung vor allem EEG-basierter NF-Protokolle gab es bereits in der Vergangenheit erste Ansätze: Nan et al. (2012) berechneten individuell für alle ihrer Teilnehmenden ein Alpha-Frequenz-Band. Die Teilnehmenden hatten sich nach Absolvierung des Trainings signifikant verbessert, evaluiert anhand einer Aufgabe, welche die Gedächtnisspanne prüft.

Hingegen führte ein NFT mit festem Alpha-Frequenz-Band von Bauer (1976) bei gleicher Gedächtnisaufgabe zu keiner signifikanten Verbesserung der teilnehmenden Versuchspersonen.

Arns et al. (2012) erreichten mittels individualisierter NF-Protokolle, welche zu Beginn anhand des Ruhe-EEGs der Versuchspersonen ausgewählt wurden, einen Anteil an Respondern von circa 75 %, für die Mehrheit der Versuchspersonen wurde ein kombiniertes SMR- und Theta/Beta-Protokoll ausgewählt.

Pimenta et al. (2021) konnten eine Überlegenheit individualisierter NF-Protokolle hinsichtlich im Sinne einer höheren Effektivität in ihrer Metaanalyse stützen.

Bezüglich NIRS-basierter NF-Protokolle ließe sich beispielsweise zu Beginn aufzeichnen, welche kortikalen Areale besonders gut aktivierbar sind und somit über eine hohe Modulierbarkeit der Oxygenierung des Hämoglobins verfügen. Somit könnten die Feedback-Kanäle des Probesets der NIRS-Haube individuell angepasst werden.

Interindividuelle Differenzen kognitiver Lernmuster. Sadtler et al. (2014) postulierten die Theorie einer „intrinsischen Mannigfaltigkeit“ des Gehirns, demzufolge die kortikale Plastizität jedes Individuums auf bestimmte Parameter begrenzt ist und somit Lernprozesse von unterschiedlichen kortikalen Parametern abhängen. Im Versuch mit Rhesusmakaken, welche in einem Brain Computer Interface Paradigma mittels kognitiver Strategien Kontrolle über einen Computercursor erreichen sollten, zeigte sich, dass dies dann erfolgreich war, wenn Verhaltensmuster angewandt wurden, welche sich innerhalb der intrinsischen Mannigfaltigkeit befanden.

Sollte dieses Phänomen auch auf den Menschen übertragbar sein, wäre ein Ansatz zur Entwicklung eines individualisierten NF-Protokolls, zu Beginn zu testen, welche neuronalen Parameter vom Individuum am besten moduliert werden können.

Relevanz der klinischen ADHS-Subtypen und Endophänotypen. Nach bisherigem Stand der Forschung liegt die Annahme nahe, dass die Effektivität eines NFTs je nach Ausprägung des klinischen ADHS-Subtyps variiert. Verschiedene Metaanalysen (Micoulaud-Franchi et al., 2014; Riesco-Matías et al., 2019) legten Ergebnisse vor, nach welchen Teilnehmende eines NFTs gemäß der wahrscheinlich verblindeten evaluierenden Personen (Lehrkräfte) signifikant nur hinsichtlich der Unaufmerksamkeitssymptome profitiert hatten. Für Hyperaktivitäts- und Impulsivitätssymptome wurde bei verblindeter Beurteilung kein signifikanter positiver Effekt nachgewiesen.

Auch Arns et al. (2009) subsumierten in ihrer Metaanalyse randomisierter Studien mittlere bis hohe Effektstärken eines NFTs hinsichtlich der Unaufmerksamkeitssymptome und deutlich schwächere Effektstärken hinsichtlich der Symptomkomplexe Hyperaktivität und Impulsivität.

Um diese Hypothese weiter zu prüfen, kann ein Ansatz sein, in künftigen Studien die Versuchspersonen vor Beginn des NFTs nach den jeweiligen Subtypen der ADHS zu kategorisieren und anhand eines Studiendesigns mit Betroffenen vom vorwiegend unaufmerksamen Subtypen als Experimentalgruppe und Betroffenen vom vorwiegend hyperaktiv-impulsiven Subtypen als Kontrollgruppe zu prüfen, inwieweit Betroffene vom vorwiegend unaufmerksamen Subtypen mehr vom NFT profitieren.

Bei fundierten Ergebnissen ist für zukünftige NF-Therapien eine Differenzierung des jeweiligen ADHS-Subtyps als Einschlusskriterium in ein NFT oder aber Auswahlkriterium für die Art des NF-Protokolls denkbar. Es existieren jedoch auch konträre Ergebnisse bezüglich des besseren Ansprechens eines NFTs beim unaufmerksamen Subtyp: So konnte beispielsweise auch eine insgesamt höhere Effektivität des NFTs bei Betroffenen vom kombinierten und hyperaktiv-impulsiven Typ als beim unaufmerksamen Typ nachgewiesen werden (Cueli et al., 2019).

Frühere Studien fanden Hinweise, dass die defizitären neurophysiologischen Strukturen und Funktionen zwischen den Subtypen der ADHS variieren. Bluschke verglich EEG-Aufzeichnungen von Versuchspersonen mit einer ADHS vom vorwiegend unaufmerksamen und vom kombinierten Subtypen, während diese eine Aufgabe bearbeiteten, welche das korrekte Schätzen zeitlicher Intervalle prüft. Es zeigte sich, dass bei den Betroffenen vom vorwiegend unaufmerksamen Subtypen im Gegensatz zu

denen vom kombinierten Subtypen eine Unterbrechung der frühen CNV, welche diese kognitive Funktion beeinträchtigte, vorlag. Zudem zeigten sich Unterschiede in der Aktivierung des medialen Frontalkortex (Bluschke et al., 2018).

Weiterhin wurden interindividuelle Unterschiede neuronaler Mechanismen des inferioren parietalen Kortex während der Bearbeitung von Aufgaben, welche Selektionsprozesse kortikaler Antworten prüfen, zwischen Versuchspersonen vom vorwiegend unaufmerksamen und Versuchspersonen vom kombinierten ADHS-Subtypen nachgewiesen (Bluschke et al., 2017).

Basierend auf dem Konzept der Endophänotypen, das eine differenziertere Untersuchung und Betrachtung von Betroffenen mit ADHS ermöglicht, ist auch eine Auseinandersetzung mit der Fragestellung relevant, inwieweit mit der Klassifizierung verschiedener Endophänotypen auch eine individuelle Anpassung der NF-Protokolle einhergeht und notwendig ist. Nigg argumentiert am Beispiel der exekutiven Funktionen, dass nur bei einer Untergruppe von Kindern mit ADHS exekutive Dysfunktionen zugrunde liegen und empfiehlt eine weitere Differenzierung in Subtypen je nach vorhandener neuropsychologischer Dysfunktionen (Nigg et al., 2005).

Für die zukünftige NF-Forschung könnte von Interesse sein, potenzielle Zusammenhänge zwischen Lernerfolg und Therapieerfolg und verschiedenen neuropsychologischen Endophänotypen zu untersuchen. Es stellt sich dabei die Frage, ob beispielsweise in einem NFT, das speziell exekutive Funktionen trainiert, Kinder, bei denen defizitäre exekutive Funktionen vorliegen, einen höheren Lern- bzw. Therapieerfolg erreichen als Kinder, bei denen andere Dysfunktionen vorliegen.

Relevanz der Verblindung und Randomisierung. In verschiedenen vorausgehenden Studien zeigte sich mit einer relativ konsistenten Ergebnislage, dass die Effektivität eines NFTs sich vor allem in der Bewertung durch nicht-verblindete Eltern abbildete, und diese Effektivität in Evaluationen durch wahrscheinlich verblindete Beurteilende (meistens Lehrkräfte) nicht in dem Ausmaß gestützt werden konnte: Gemäß Cortese et al. (2016) konnten durch ein NFT keine signifikanten Verbesserungen der ADHS-Symptomatik erreicht werden, wenn durch Verblindung der Bewertenden (Lehrerinnen und Lehrer) Verzerrungen reduziert wurden. Die Metaanalyse von Bussalib et al., welche die Ergebnisse von 16 Studien analysierte, konnte frühere Ergebnisse, dass signifikante Effekte durch NFT vor allem in

Bewertungen durch nicht-verblindete Eltern, nicht jedoch durch verblindete Lehrkräfte nachgewiesen wurden, ebenfalls stützen (Bussalb et al., 2019). Zu ähnlichen Resultaten gelangten Riesco-Matías et al. in ihrem Review früherer Metaanalysen und ihrer neuen Metaanalyse (Riesco-Matías et al., 2021), sie fanden jedoch signifikante Verbesserungen der Unaufmerksamkeitssymptome durch ein NFT in der Evaluation durch wahrscheinlich verblindete Lehrerinnen und Lehrer.

Auch in dieser Arbeit fiel die Bewertung durch Lehrerinnen und Lehrer im Connors Fragebogen deutlich schlechter aus als bei den Eltern: bis auf die Subskala Hyperaktivität/Impulsivität wurden die Kinder zum Post-Test auf allen untersuchten Subskalen schlechter bewertet als zum Prä-Test. Für diese Arbeit wurde die Auswertung auf die NIRS-Gruppen (NIRS-3D und NIRS-2D) beschränkt. In Studien mit (semi-)aktiven Kontrollgruppen, wie Aufmerksamkeitstraining oder EMG-basierte BFTs waren NFTs bezüglich der Reduktion von ADHS-Symptomen den Kontrollgruppen überlegen (Arns et al., 2014).

Eltern erleben ihre Kinder ganzheitlicher und situativ individueller als es bei Lehrkräften der Fall ist, welche vor allem schulische Leistungen der Kinder wahrnehmen. Eine geringere Diskrepanz in der Bewertung vor und nach einem NFT kann daraus resultieren, dass aufgrund fehlender ganzheitlicher Sicht auf Charakter- und Verhaltensausrägungen der Kinder weniger Veränderungen bemerkt werden und in den Bereichen, welche im schulischen Umfeld mehr zum Tragen kommen, wie beispielsweise kognitive Leistungen und Aufmerksamkeitsvermögen bzw. Ausprägung der Unaufmerksamkeit, strenger bewertet werden.

Weiterhin spielt umgekehrt sicher auch die fehlende Blindheit der Eltern und damit stärkere Erwartungshaltung an die Therapieform eine Rolle in der besseren Bewertung ihrer Kinder. Es lässt sich vermuten, dass eine Verzerrung hin zu einer positiveren Bewertung durch eigenen Aufwand und Engagement, das in die Absolvierung des NFTs der Kinder investiert wird, entstehen kann. Eltern wenden Zeit und Geld auf, indem sie ihre Kinder regelmäßig zu den Trainingssitzungen bringen bzw. fahren, zusätzlich impliziert dies gemeinsam verbrachte Zeit, was die Beziehung zwischen Eltern und Kindern stärken und verbessern kann.

Möglicherweise stellt die Bewertung durch verblindete Lehrkräfte aufgrund oben diskutierter Aspekte eine differenziertere und spezifischere Form der Evaluation

klinischer Effekte dar. Dennoch ist sicher der potenzielle beziehungsfördernde Aspekt zwischen Eltern und ihren Kindern als Nebeneffekt des NFTs im Sinne eines systemischen Blicks auf das Familiensystem eines Kindes mit ADHS nicht zu vernachlässigen, wenn auch eine daraus resultierende Verzerrung der positiven Bewertung der Interventionseffekte möglich ist. Eine Verblindung der Eltern zu gewährleisten ist nahezu nicht möglich, da sich nicht verhindern lässt, dass die Kinder zuhause vom Training erzählen und davon auszugehen ist, dass hieraus hervorgeht, in welchem Trainingssetting sie sich befinden.

Weitere Moderatoren für Lern- und Therapieerfolg. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Lernerfolg im NFT und Therapieerfolg auf neuropsychologischer oder klinisch-behavioraler Ebene. Auch frühere Studien zeigten, dass sogenannte „Lerner“ sich nicht zwangsläufig zu „Respondern“ entwickeln (Drechsler et al., 2007; Kropotov et al., 2005; Takahashi et al., 2014). Teilweise ging Lernerfolg im NFT sogar mit schlechterem Therapieerfolg einher, sowohl auf behavioraler Ebene, mit schlechteren Bewertungen der Versuchspersonen im Connors Fragebogen durch Lehrkräfte, als auch auf neuropsychologischer Ebene mit größeren Standardabweichungen der Reaktionszeiten in der Go/NoGo Aufgabe bei höherem Lernerfolg.

Hieraus ist anzunehmen, dass zusätzlich weitere Faktoren einen Therapieerfolg durch ein NFT moderieren, beispielsweise Faktoren, welche den Transferprozess der erworbenen Fähigkeiten aus dem NFT in das alltägliche Leben moderieren.

Nach aktuellem Stand der Forschung gibt es bisher keine Resultate, inwieweit die Beziehung zwischen den Trainingsleitenden und Absolvierenden eines NFTs einen Einfluss auf den Therapieerfolg hat (Alkoby et al., 2018). Eine gute und vertrauensvolle sowie unvoreingenommene und empathische Beziehung zwischen Therapeutin zw. Therapeut und Patientin bzw. Patient stellt die Basis für jeglichen Therapieerfolg dar (Norcross, 2011). So liegt nahe, dass dieser Effekt nicht nur in gesprächsbasierter Therapie, sondern auch in einem NFT zum Tragen kommt.

Zur Beurteilung der Interaktion und Beziehung zwischen Trainingsleitenden und Teilnehmenden wäre eine kontinuierliche Betreuung jedes Kindes durch dieselben Trainingsleitenden essenziell, um beispielsweise den Effekt einer positiv verstärkenden Beziehung auf den Therapieerfolg zu evaluieren. Mittels Fragebogen, anhand derer

beispielsweise nach dem ersten Drittel, dem zweiten Drittel und nach Beendigung des NFTs von Versuchspersonen das Erleben der Beziehung zu den Trainingsleitenden evaluiert wird, könnte retrospektiv der Einfluss auf den Lern- bzw. Therapieerfolg untersucht werden.

Gevensleben befürwortete die Etablierung eines Therapiemodells, in dem neurophysiologische Effekte durch gezieltes NFT mit kognitiv-behavioralen Elementen wie sozialer Verstärkung und Psychoedukation durch die Trainingsleitenden sowie spezielle Schulungen und Anleitungen für Eltern und Lehrkräfte zur Optimierung des Transfers des Erlernten in den Alltag kombiniert werden (Gevensleben, Moll, Rothenberger, & Heinrich, 2014).

Ebenso die Beziehung zwischen Eltern und ihren Kindern kann möglicherweise eine Rolle spielen und den Therapieerfolg durch ein NFT beeinflussen. Je höher die elterliche Motivation bezüglich einer Unterstützung und Förderung des Kindes ist, umso stärker ist von einer Investition in beispielsweise Unterstützung bei Transferübungen erlernter Strategien im häuslichen Umfeld auszugehen. Weiterhin könnten positive Beziehungserfahrungen, die das Kind macht, durch z.B. vermehrte gemeinsam verbrachte Zeit durch die Wege zum Ort des NFTs und beim Üben der Strategien zuhause, durch das Erleben, dass die Eltern Interesse am Kind und an den Erfahrungen im NFT zeigen oder durch Lob für eventuelle Verhaltensänderungen, den Therapieerfolg positiv beeinflussen. Dies kann beispielsweise durch operantes Lernen (positive Verstärkung für erwünschte Verhaltensweisen) oder durch ein gestärktes Selbstwirksamkeitserleben bedingt sein.

Auch eine supportive Medikation als Moderatorvariable sollte in Zukunft anhand größerer Fallzahlen weiter untersucht werden. Neun Kinder, deren Ergebnisse in dieser Arbeit untersucht wurden, nahmen während der Trainingsphase Methylphenidat ein, Bedingung war lediglich ein Ausschleichen des Medikaments je 48 Stunden vor dem Prä-, Post- und Follow up-Test.

4.3 Limitationen

Entgegen der initial geplanten Fallzahl von insgesamt 90 Versuchspersonen, mit jeweils 30 Versuchspersonen in jeder Untergruppe (NIRS-3D, NIRS-2D, EMG) konnten lediglich 36 Versuchspersonen in die Studie eingeschlossen werden, da die

Rekrutierung zu deutlich weniger Resonanz führte als initial erwartet. Somit liegt eine geringe Fallzahl vor. Zusätzlich führten fehlerhafte Datenspeichervorgänge während der neuropsychologischen Tests und ein lückenhafter Rückerhalt der Conners Fragebogen, insbesondere durch Lehrkräfte, zu einem weiteren Datenverlust, welcher die Aussagekraft der Ergebnisse schwächt.

Eine weitere Limitation resultiert aus der fehlenden Verblindung der Trainingsleitenden und Eltern. Dies war nicht vermeidbar, da eine kontinuierliche Anwesenheit der Trainingsleitenden während der Trainingssitzungen notwendig war, um eine lückenlos funktionierende Technik während des NFTs zu gewährleisten. Zudem konnte nicht vermieden werden, dass die Kinder zuhause vom NFT erzählen und es ist anzunehmen, dass hieraus eindeutig hervorging, in welchem Setting sie sich befanden.

Des Weiteren kann eine Verzerrung der Ergebnisse durch die Medikation der Versuchspersonen vorliegen. Neun der analysierten 23 Versuchspersonen nahmen während der Trainingsphase Methylphenidat ein, Bedingung war lediglich ein Ausschleichen des Medikaments je 48 Stunden vor dem Prä-, Post- und Follow up-Test. Künftige Studien sollten, bei größeren Fallzahlen, anhand einer Unterteilung der Versuchspersonen in medizierte und nicht-medizierte Gruppen, den spezifischen Effekt einer supportiven Medikation und Interaktionen zwischen NFT und Medikation untersuchen.

5 Zusammenfassung

Die Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätsstörung ist mit einer weltweiten Prävalenz von ca. 5% eine der häufigsten psychischen Erkrankungen des Kindes- und Jugendalters und kann zu erheblichen Beeinträchtigungen der Betroffenen im Alltag, insbesondere im schulischen Umfeld, führen.

Neben der medikamentösen Therapie, welche bisher den am meisten verbreiteten Therapieansatz darstellt, richtete sich der therapeutische Fokus in den letzten Jahren zunehmend auf nicht-medikamentöse Therapieansätze, wie z.B. das Neurofeedbacktraining (NFT). Ein NFT ist mit einem hohen Zeit- und Kostenaufwand für die Betroffenen verbunden. Gleichzeitig wurde in früheren Studien wiederholt nachgewiesen, dass nicht alle Personen mit der Diagnose einer ADHS die regulatorischen Strategien eines NFTs erlernen. Folglich ist von großem Interesse, inwieweit Lernerfolg und auch Therapieerfolg auf klinischer Ebene bereits vor Beginn eines NFTs eingeschätzt werden können.

In dieser Arbeit wurden die durchschnittliche Trainingsmotivation der Versuchspersonen sowie die regulatorische Kapazität der frühen Trainingssitzungen als Prädiktoren für Lern- und Therapieerfolg in einem NIRS-basierten NFT untersucht. Weiterhin wurde geprüft, ob Lernerfolg konsekutiv zu einem Therapieerfolg auf klinischer Ebene führt. Die Studie wurde mit Kindern zwischen 6 und 10 Jahren mit der Diagnose einer ADHS nach DSM-5-Kriterien durchgeführt. Sie durchliefen 15 Trainingssitzungen eines NIRS-basierten NFTs in einem virtuellen Klassenzimmer. Die Effekte wurden direkt nach Beendigung des NFTs im Post-Test und nach 6 Monaten im Follow up-Test untersucht. Die Beurteilung des Therapieerfolgs erfolgte in dieser Arbeit zum einen auf neuropsychologischer Ebene anhand der Auswertung der Reaktionszeitvariabilität in einer Go/NoGo Aufgabe sowie auf klinisch-behavioraler Ebene anhand der Beurteilung der Symptomatik im Conners Fragebogen durch die Eltern und Klassenlehrkräfte der Kinder. In den Ergebnissen zeigte sich für die Trainingsmotivation kein prädiktorischer Wert auf den Lern- und Therapieerfolg. Die regulatorische Kapazität besaß ebenfalls keinen prädiktorischen Wert für den Lernerfolg, jedoch einen partiell signifikanten prädiktorischen Wert für den Therapieerfolg auf behavioraler Ebene. Dies zeigte sich insbesondere an einer signifikanten Verbesserung in der Beurteilung durch die Eltern im Conners Fragebogen

nach Beendigung des NFTs zum Post-Testzeitpunkt, jedoch nicht anhaltend zum Follow up-Testzeitpunkt. Zwischen Lernerfolg und Therapieerfolg zeigte sich kein Zusammenhang. Es ist anzunehmen, dass der therapeutische Effekt eines NFTs zusätzlich durch weitere Faktoren moderiert wird.

Die Ergebnisse spiegeln die Heterogenität sowohl interindividueller Wirk- und Einflussfaktoren auf die Ausprägung und Entwicklung der ADHS als auch konsekutiv vielschichtiger Einflussmechanismen auf die Effektivität eines NFTs als Therapiemethode wider.

6 Literaturverzeichnis

- Aarnoudse-Moens, C. S. H., Weisglas-Kuperus, N., Van Goudoever, J. B., & Oosterlaan, J. (2009). Meta-analysis of neurobehavioral outcomes in very preterm and/or very low birth weight children. *Pediatrics*, *124*(2), 717–728.
<https://doi.org/10.1542/peds.2008-2816>
- Alkoby, O., Abu-Rmieleh, A., Shriki, O., & Todder, D. (2018). Can We Predict Who Will Respond to Neurofeedback? A Review of the Inefficacy Problem and Existing Predictors for Successful EEG Neurofeedback Learning. *Neuroscience*, *378*(2017), 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.12.050>
- Amen, D. G., Henderson, T. A., & Newberg, A. (2021). SPECT Functional Neuroimaging Distinguishes Adult Attention Deficit Hyperactivity Disorder From Healthy Controls in Big Data Imaging Cohorts. *Frontiers in Psychiatry*, *12*(November), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.725788>
- Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, (AWMF). (2017). Langfassung der interdisziplinären evidenz- und konsensbasierten (S3) Leitlinie “Aufmerksamkeitsdefizit- / Hyperaktivitätsstörung (ADHS) im Kindes-, Jugend- und Erwachsenenalter.” *AWMF Online*, 19–28.
<https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/028-045.html>
- Arnold, L. E., Arns, M., Barterian, J., Bergman, R., Black, S., Conners, C. K., Connor, S., Dasgupta, S., deBeus, R., Higgins, T., Hirshberg, L., Hollway, J. A., Kerson, C., Lightstone, H., Lofthouse, N., Lubar, J., McBurnett, K., Monastra, V., Buchan-Page, K., ... Williams, C. E. (2021). Double-Blind Placebo-Controlled Randomized Clinical Trial of Neurofeedback for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder With 13-Month Follow-up. In *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* (Vol. 60, Issue 7).
<https://doi.org/10.1016/j.jaac.2020.07.906>
- Arns, M., Conners, C. K., & Kraemer, H. C. (2013). A Decade of EEG Theta/Beta Ratio Research in ADHD: A Meta-Analysis. *Journal of Attention Disorders*, *17*(5), 374–383. <https://doi.org/10.1177/1087054712460087>
- Arns, M., De Ridder, S., Strehl, U., Breteler, M., & Coenen, A. (2009). *Efficacy of Neurofeedback Treatment in ADHD: the Effects on Inattention, Impulsivity and Hyperactivity: a Meta-Analysis*.

- Arns, M., Drinkenburg, W., & Leon Kenemans, J. (2012). The effects of QEEG-informed neurofeedback in ADHD: An open-label pilot study. *Applied Psychophysiology Biofeedback*. <https://doi.org/10.1007/s10484-012-9191-4>
- Arns, M., Heinrich, H., & Strehl, U. (2014). Evaluation of neurofeedback in ADHD: The long and winding road. *Biological Psychology*. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.11.013>
- Bakhshayesh, A. R., Hänsch, S., Wyschkon, A., Rezai, M. J., & Esser, G. (2011). Neurofeedback in ADHD: A single-blind randomized controlled trial. *European Child and Adolescent Psychiatry*. <https://doi.org/10.1007/s00787-011-0208-y>
- Banaschewski, T., Brandeis, D., Heinrich, H., Albrecht, B., Brunner, E., & Rothenberger, A. (2003). Association of ADHD and conduct disorder - Brain electrical evidence for the existence of a distinct subtype. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, *44*(3), 356–376. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00127>
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral Inhibition, Sustained Attention, and Executive Functions: Constructing a Unifying Theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, *121*(1), 65–94.
- Barry, R. J., Clarke, A. R., & Johnstone, S. J. (2003). A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography. *Clinical Neurophysiology*, *114*(2), 171–183. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00362-0](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00362-0)
- Bauer, R. H. (1976). Short-term memory: EEG alpha correlates and the effect of increased alpha. *Behavioral Biology*, *17*(4), 425–433. [https://doi.org/10.1016/S0091-6773\(76\)90793-8](https://doi.org/10.1016/S0091-6773(76)90793-8)
- Baumeister, S., Wolf, I., Hohmann, S., Holz, N., Boecker-Schlier, R., Banaschewski, T., & Brandeis, D. (2019). The impact of successful learning of self-regulation on reward processing in children with ADHD using fMRI. *ADHD Attention Deficit and Hyperactivity Disorders*, *11*(1), 31–45. <https://doi.org/10.1007/s12402-018-0269-6>
- Biederman, J., & Faraone, S. V. (2005). Attention-deficit hyperactivity disorder. *Lancet*, *366*(9481), 237–248. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)66915-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)66915-2)
- Biederman, J., Monuteaux, M. C., Doyle, A. E., Seidman, L. J., Wilens, T. E., Ferrero,

- F., Morgan, C. L., & Faraone, S. V. (2004). *Impact of Executive Function Deficits and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD) on Academic Outcomes in Children*. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.72.5.757>
- Biederman, J., & Spencer, T. (1999). Attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) as a noradrenergic disorder. *Biological Psychiatry*, *46*(9), 1234–1242. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(99\)00192-4](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(99)00192-4)
- Birbaumer, N., Elbert, T., Canavan, A. G. M., & Rockstroh, B. (1990). Slow potentials of the cerebral cortex and behavior. In *Physiological Reviews* (Vol. 70, Issue 1, pp. 1–41). <https://doi.org/10.1152/physrev.1990.70.1.1>
- Blume, F., Hudak, J., Dresler, T., Ehli, A.-C., Kühnhausen, J., Renner, T. J., & Gawrilow, C. (2017). NIRS-based neurofeedback training in a virtual reality classroom for children with attention-deficit/hyperactivity disorder: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, *18*. <https://doi.org/10.1186/s13063-016-1769-3>
- Bluschke, A., Chmielewski, W. X., Mückschel, M., Roessner, V., & Beste, C. (2017). Neuronal intra-individual variability masks response selection differences between ADHD subtypes—a need to change perspectives. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*(June), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00329>
- Bluschke, A., Schuster, J., Roessner, V., & Beste, C. (2018). Neurophysiological mechanisms of interval timing dissociate inattentive and combined ADHD subtypes. *Scientific Reports*, *8*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20484-0>
- Bonvicini, C., Faraone, S. V., & Scassellati, C. (2016). Attention-deficit hyperactivity disorder in adults: A systematic review and meta-analysis of genetic, pharmacogenetic and biochemical studies. *Molecular Psychiatry*, *21*, 872–884. <https://doi.org/10.1038/mp.2016.74>
- Brennan, A. R., & Arnsten, A. F. T. (2008). Neuronal mechanisms underlying attention deficit hyperactivity disorder: The influence of arousal on prefrontal cortical function. *Annals of the New York Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1196/annals.1417.007>
- Bush, G., Valera, E. M., & Seidman, L. J. (2005). Functional neuroimaging of attention-deficit/hyperactivity disorder: A review and suggested future directions. *Biological*

- Psychiatry*, 57(11), 1273–1284. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.01.034>
- Bussalb, A., Congedo, M., Barthélemy, Q., Ojeda, D., Acquaviva, E., Delorme, R., & Mayaud, L. (2019). Clinical and experimental factors influencing the efficacy of neurofeedback in ADHD: A meta-analysis. *Frontiers in Psychiatry*, 10(FEB). <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2019.00035>
- Cao, Q., Zang, Y., Sun, L., Sui, M., Long, X., Zou, Q., & Wang, Y. (2006). Abnormal neural activity in children with attention deficit hyperactivity disorder: A resting-state functional magnetic resonance imaging study. *NeuroReport*, 17(10), 1033–1036. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000224769.92454.5d>
- Castellanos, F. X. (1997). Toward a pathophysiology of attention-deficit/hyperactivity disorder. In *Clinical Pediatrics* (Vol. 36, Issue 7, pp. 381–393). Clin Pediatr (Phila). <https://doi.org/10.1177/000992289703600702>
- Castellanos, F. X., Sonuga-Barke, E. J. S., Milham, M. P., & Tannock, R. (2006). Characterizing cognition in ADHD: Beyond executive dysfunction. In *Trends in Cognitive Sciences* (Vol. 10, Issue 3, pp. 117–123). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.01.011>
- Castellanos, F. X., & Tannock, R. (2002). Neuroscience of attention-deficit/hyperactivity disorder: The search for endophenotypes. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(8), 617–628. <https://doi.org/10.1038/nrn896>
- Chabernaud, C., Mennes, M., Kelly, C., Nooner, K., Di Martino, A., Castellanos, F. X., & Milham, M. P. (2012). Dimensional brain-behavior relationships in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 71(5), 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2011.08.013>
- Chen, Q., Sjölander, A., Långström, N., Rodriguez, A., Serlachius, E., D, B. M., Lichtenstein, P., & Larsson, H. (2014). Maternal pre-pregnancy body mass index and offspring attention deficit hyperactivity disorder: a population-based cohort study using a sibling-comparison design. *International Journal of Epidemiology*, 43, 83–90. <https://doi.org/10.1093/ije/dyt152>
- Coghill, D., Nigg, J., Rothenberger, A., Sonuga-Barke, E., & Tannock, R. (2005). Whither causal models in the neuroscience of ADHD? *Developmental Science*, 8(2), 105–114. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00397.x>
- Cortese, S., Adamo, N., Del Giovane, C., Mohr-Jensen, C., Hayes, A. J., Carucci, S.,

- Atkinson, L. Z., Tessari, L., Banaschewski, T., Coghill, D., Hollis, C., Simonoff, E., Zuddas, A., Barbui, C., Purgato, M., Steinhausen, H. C., Shokraneh, F., Xia, J., & Cipriani, A. (2018). Comparative efficacy and tolerability of medications for attention-deficit hyperactivity disorder in children, adolescents, and adults: a systematic review and network meta-analysis. *The Lancet Psychiatry*, *5*(9), 727–738. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(18\)30269-4](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(18)30269-4)
- Cortese, S., & Coghill, D. (2018). Twenty years of research on attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): looking back, looking forward. *Evidence-Based Mental Health*, *21*(4), 173–176. <https://doi.org/10.1136/EBMENTAL-2018-300050>
- Cortese, S., Ferrin, M., Brandeis, D., Holtmann, M., Aggensteiner, P., Daley, D., Santosh, P., Simonoff, E., Stevenson, J., Stringaris, A., Sonuga-Barke, E. J. S., Asherson, P., Banaschewski, T., Brandeis, D., Buitelaar, J., Coghill, D., Cortese, S., Daley, D., Danckaerts, M., ... Zuddas, A. (2016). Neurofeedback for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Meta-Analysis of Clinical and Neuropsychological Outcomes From Randomized Controlled Trials. In *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2016.03.007>
- Cortese, S., Kelly, C., Chabernaud, C., Proal, E., Di Martino, A., Milham, M. P., & Castellanos, F. X. (2012). Toward systems neuroscience of ADHD: A meta-analysis of 55 fMRI studies. In *American Journal of Psychiatry* (Vol. 169, Issue 10, pp. 1038–1055). <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2012.11101521>
- Cueli, M., Rodríguez, C., Cabaleiro, P., García, T., & González-Castro, P. (2019). Differential Efficacy of Neurofeedback in Children with ADHD Presentations. *Journal of Clinical Medicine*, *8*(2), 204. <https://doi.org/10.3390/jcm8020204>
- Cui, X., Bray, S., Bryant, D. M., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2011). A quantitative comparison of NIRS and fMRI across multiple cognitive tasks. *NeuroImage*, *54*(4), 2808–2821. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.069>
- Daley, D., & Birchwood, J. (2010). ADHD and academic performance: Why does ADHD impact on academic performance and what can be done to support ADHD children in the classroom? In *Child: Care, Health and Development* (Vol. 36, Issue 4, pp. 455–464). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2009.01046.x>

- Danckaerts, M., Sonuga-Barke, E. J. S., Banaschewski, T., Buitelaar, J., Döpfner, M., Hollis, C., Santosh, P., Rothenberger, A., Sergeant, J., Steinhausen, H.-C., Taylor, E., Zuddas, A., & Coghill, D. (2012). The quality of life of children with attention deficit/hyperactivity disorder: a systematic review. *Innovations in Clinical Neuroscience*, 9(5–6), 10–21. <https://doi.org/10.1007/s00787-009-0046-3>
- Diaz Hernandez, L., Rieger, K., & Koenig, T. (2018). Low Motivational Incongruence Predicts Successful EEG Resting-state Neurofeedback Performance in Healthy Adults. *Neuroscience*, 378, 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.12.005>
- Dickstein, S. G., Bannon, K., Xavier Castellanos, F., & Milham, M. P. (2006). The neural correlates of attention deficit hyperactivity disorder: An ALE meta-analysis. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 47(10), 1051–1062. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2006.01671.x>
- Doehnert, M., Brandeis, D., Straub, M., Steinhausen, H.-C., & Drechsler, R. (2008). Slow cortical potential neurofeedback in attention deficit hyperactivity disorder: is there neurophysiological evidence for specific effects? *Journal of Neural Transmission*, 115(10), 1445–1456. <https://doi.org/10.1007/s00702-008-0104-x>
- Dougherty, D. D., Bonab, A. A., Spencer, T. J., Rauch, S. L., Madras, B. K., & Fischman, A. J. (1999). Dopamine transporter density in patients with attention deficit hyperactivity disorder. *Lancet*, 354(9196), 2132–2133. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(99\)04030-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)04030-1)
- Doyle, A. E., Faraone, S. V., Seidman, L. J., Willcutt, E. G., Nigg, J. T., Waldman, I. D., Pennington, B. F., Peart, J., & Biederman, J. (2005). Are endophenotypes based on measures of executive functions useful for molecular genetic studies of ADHD? In *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines* (Vol. 46, Issue 7, pp. 774–803). <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01476.x>
- Drechsler, R., Straub, M., Doehnert, M., Heinrich, H., Steinhausen, H.-C., & Brandeis, D. (2007). Controlled evaluation of a neurofeedback training of slow cortical potentials in children with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *Behavioral and Brain Functions*, 3(35), 35. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-3-35>
- DuPaul, G. J., Eckert, T. L., & Vilaro, B. (2012). The effects of school-Based

- interventions for attention deficit hyperactivity disorder: A meta-Analysis 1996-2010. *School Psychology Review*, 41(4), 387–412.
<https://doi.org/10.1080/02796015.2012.12087496>
- Ehlis, A.-C., Schneider, S., Dresler, T., & Fallgatter, A. J. (2014a). Application of functional near-infrared spectroscopy in psychiatry. *NeuroImage*, 85 Pt 1, 478–488. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.03.067>
- Ehlis, A.-C., Schneider, S., Dresler, T., & Fallgatter, A. J. (2014b). Application of functional near-infrared spectroscopy in psychiatry. *NeuroImage*, 85, 478–488. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.03.067>
- Ehlis, A. C., Bähne, C. G., Jacob, C. P., Herrmann, M. J., & Fallgatter, A. J. (2008). Reduced lateral prefrontal activation in adult patients with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) during a working memory task: A functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study. *Journal of Psychiatric Research*, 42(13), 1060–1067. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2007.11.011>
- Ellison-Wright, I., Ellison-Wright, Z., & Bullmore, E. (2008). Structural brain change in Attention Deficit Hyperactivity Disorder identified by meta-analysis. *BMC Psychiatry*, 8, 1–8. <https://doi.org/10.1186/1471-244X-8-51>
- Engel, A. K., & Fries, P. (2010). Beta-band oscillations-signalling the status quo? *Current Opinion in Neurobiology*, 20(2), 156–165.
<https://doi.org/10.1016/J.CONB.2010.02.015>
- Enriquez-Geppert, S., Huster, R. J., Scharfenort, R., Mokom, Z. N., Zimmermann, J., & Herrmann, C. S. (2014). Modulation of frontal-midline theta by neurofeedback. *Biological Psychology*, 95(1), 59–69.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.02.019>
- Fallgatter, A., & Strik, W. (1997). Right frontal activation during the continuous performance test assessed with near- *Neuroscience Letters*, 223, 89–92.
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304394097134164>
- Faraone, S. V., Asherson, P., Banaschewski, T., Biederman, J., Buitelaar, J. K., Ramos-Quiroga, J. A., Rohde, L. A., Sonuga-Barke, E. J. S., Tannock, R., & Franke, B. (2015). Attention-deficit/hyperactivity disorder. *Nature Reviews Disease Primers*, 1. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.20>
- Faraone, S. V., Biederman, J., Spencer, T. J., & Aleardi, M. (2006). Comparing the

- efficacy of medications for ADHD using meta-analysis. *MedGenMed Medscape General Medicine*, 8(4), 4. /pmc/articles/PMC1868385/
- Faraone, S. V., & Buitelaar, J. (2010). Comparing the efficacy of stimulants for ADHD in children and adolescents using meta-analysis. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 19(4), 353–364. <https://doi.org/10.1007/s00787-009-0054-3>
- Faraone, S. V., Perlis, R. H., Doyle, A. E., Smoller, J. W., Goralnick, J. J., Holmgren, M. A., & Sklar, P. (2005). Molecular Genetics of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1313–1323. <https://doi.org/10.1016/J.BIOPSYCH.2004.11.024>
- Faraone, S. V., & Larsson, H. (2019). Genetics of attention deficit hyperactivity disorder. *Molecular Psychiatry*, 24, 562–575. <https://doi.org/10.1038/s41380-018-0070-0>
- Fisher, S. E., Francks, C., McCracken, J. T., McGough, J. J., Marlow, A. J., MacPhie, I. L., Newbury, D. F., Crawford, L. R., Palmer, C. G. S., Woodward, J. A., Del’Homme, M., Cantwell, D. P., Nelson, S. F., Monaco, A. P., & Smalley, S. L. (2002). A genomewide scan for loci involved in attention-deficit/hyperactivity disorder. *American Journal of Human Genetics*, 70(5), 1183–1196. <https://doi.org/10.1086/340112>
- Frodl, T., & Skokauskas, N. (2012). Meta-analysis of structural MRI studies in children and adults with attention deficit hyperactivity disorder indicates treatment effects. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 125(2), 114–126. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.2011.01786.x>
- Fuchs, T., Birbaumer, N., Lutzenberger, W., Gruzelier, J. H., & Kaiser, J. (2003). Neurofeedback Treatment for Attention-Deficit/ Hyperactivity Disorder in Children: A Comparison With Methylphenidate. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 28(1).
- Gaebel, W. (2021). On the way to ICD-11. In *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie* (Vol. 49, Issue 6, pp. 413–415). Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.1024/1422-4917/a000836>
- Gani, C., Birbaumer, N., & Strehl, U. (2008). Langzeiteffekte von Neurofeedback der Langsamen Potentiale und des Theta/Beta Quotienten in der Therapie der ADHS. *International Journal of Bioelectromagnetism*, 10(4). <https://publikationen.uni->

tuebingen.de/xmlui/handle/10900/45553

- Gevensleben, H., Holl, B., Albrecht, B., Vogel, C., Schlamp, D., Kratz, O., Studer, P., Rothenberger, A., Moll, G. H., & Heinrich, H. (2009). Is neurofeedback an efficacious treatment for ADHD? A randomised controlled clinical trial. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2008.02033.x>
- Gevensleben, H., Moll, G. H., & Heinrich, H. (2010). Neurofeedback-Training bei Kindern mit Aufmerksamkeitsdefizit-/ Hyperaktivitätsstörung (ADHS). *Zeitschrift Für Kinder- Und Jugendpsychiatrie Und Psychotherapie*, 38(6), 409–420.
<https://doi.org/10.1024/1422-4917/a000070>
- Gevensleben, H., Moll, G. H., Rothenberger, A., & Heinrich, H. (2011). Neurofeedback bei Kindern mit ADHS - methodische Grundlagen und wissenschaftliche Evaluation. *Praxis Der Kinderpsychologie Und Kinderpsychiatrie*.
<https://doi.org/10.13109/prkk.2011.60.8.666>
- Gevensleben, H., Moll, G. H., Rothenberger, A., & Heinrich, H. (2014). Neurofeedback in attention-deficit/hyperactivity disorder - different models, different ways of application. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 846.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00846>
- Gevensleben, H., Moll, G. H., Rothenberger, A., Heinrich, H., Ros, T., & Steiner, N. (2014). *HYPOTHESIS AND THEORY ARTICLE Neurofeedback in attention-deficit/hyperactivity disorder – different models, different ways of application*.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00846>
- Gevensleben, H., Rothenberger, A., Moll, G. H., & Heinrich, H. (2010). *Neurofeedback in children with ADHD: validation and challenges*. 3(5), 1051–1067.
- Goodman, R. (1997). The strengths and difficulties questionnaire: A research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 38(5), 581–586. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1997.tb01545.x>
- Gottesman, I. I., & Gould, T. D. (2003). The endophenotype concept in psychiatry: Etymology and strategic intentions. In *American Journal of Psychiatry* (Vol. 160, Issue 4, pp. 636–645). American Psychiatric Publishing.
<https://doi.org/10.1176/appi.ajp.160.4.636>
- Hammer, E. M., Halder, S., Blankertz, B., Sannelli, C., Dickhaus, T., Kleih, S., Müller,

- K. R., & Kübler, A. (2012). Psychological predictors of SMR-BCI performance. *Biological Psychology*, *89*(1), 80–86.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.09.006>
- Hansen, J. C., & Hillyard, S. A. (1980). Potentiels cérébraux endogènes associés à l'attention auditive sélective. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *49*(3–4), 277–290. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(80\)90222-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(80)90222-9)
- Hart, H., Radua, J., Mataix-Cols, D., & Rubia, K. (2012). Meta-analysis of fMRI studies of timing in attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *36*(10), 2248–2256.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.08.003>
- Heinrich, H., Gevensleben, H., Freisleder, F. J., Moll, G. H., & Rothenberger, A. (2004). Training of slow cortical potentials in attention-deficit/hyperactivity disorder: Evidence for positive behavioral and neurophysiological effects. *Biological Psychiatry*, *55*(7), 772–775.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2003.11.013>
- Heinrich, H., Gevensleben, H., & Strehl, U. (2007). Annotation: Neurofeedback - Train your brain to train behaviour. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2006.01665.x>
- Hennighausen, K., Schulte-Körne, G., Warnke, A., & Remschmidt, H. (2000). Contingent negative variation (CNV) bei Kindern mit hyperkinetischem syndrom - Eine experimentelle untersuchung mittels des continuous performance test (CPT). *Zeitschrift Fur Kinder- Und Jugendpsychiatrie Und Psychotherapie*, *28*(4), 239–246. <https://doi.org/10.1024//1422-4917.28.4.239>
- Holtmann, M., Sonuga-Barke, E., Cortese, S., & Brandeis, D. (2014). Neurofeedback for ADHD: A Review of Current Evidence. In *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*. <https://doi.org/10.1016/j.chc.2014.05.006>
- Holz, N. E., Boecker, R., Baumeister, S., Hohm, E., Zohsel, K., Buchmann, A. F., Blomeyer, D., Jennen-Steinmetz, C., Hohmann, S., Wolf, I., Plichta, M. M., Meyer-Lindenberg, A., Banaschewski, T., Brandeis, D., & Laucht, M. (2014). Effect of Prenatal Exposure to Tobacco Smoke on Inhibitory Control Neuroimaging Results from a 25-Year Prospective Study. *JAMA Psychiatry*, *71*(7),

- 786–796. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2014.343>
- Hoza, B., Gerdes, A. C., Hinshaw, S. P., Arnold, L. E., Pelham, W. E., Molina, B. S. G., Abikoff, H. B., Epstein, J. N., Greenhill, L. L., Hechtman, L., Odbert, C., Swanson, J. M., & Wigal, T. (2004). Self-perceptions of competence in children with ADHD and comparison children. *Journal of Consulting and Clinical Psychology, 72*(3), 382–391. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.72.3.382>
- Janssen, T. W.P., Geladé, K., Bink, M., van Mourik, R., Twisk, J. W. R., Maras, A., & Oosterlaan, J. (2020). Long-term effects of theta/beta neurofeedback on EEG power spectra in children with attention deficit hyperactivity disorder. *Clinical Neurophysiology, 131*(6), 1332–1341. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.02.020>
- Janssen, Tieme W.P., Bink, M., Weeda, W. D., Geladé, K., van Mourik, R., Maras, A., & Oosterlaan, J. (2017). Learning curves of theta/beta neurofeedback in children with ADHD. *European Child and Adolescent Psychiatry*. <https://doi.org/10.1007/s00787-016-0920-8>
- Jo, H., Schieve, L. A., Sharma, A. J., Hinkle, S. N., Li, R., & Lind, J. N. (2015). Maternal prepregnancy body mass index and child psychosocial development at 6 years of age. *Pediatrics, 135*(5), e1198–e1209. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-3058>
- Jöbsis, F. F. (1977). Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science (New York, N.Y.), 198*(4323), 1264–1267. <https://doi.org/10.1126/science.929199>
- King, S., Griffin, S., Hodges, Z., Weatherly, H., Asseburg, C., Richardson, G., Golder, S., Taylor, E., Drummond, M., & Riemsma, R. (2006). A systematic review and economic model of the effectiveness and cost-effectiveness of methylphenidate, dexamfetamine and atomoxetine for the treatment of attention deficit hyperactivity disorder in children and adolescents. In *Health Technology Assessment* (Vol. 10, Issue 23). <https://doi.org/10.3310/hta10230>
- Klein, R. G., Mannuzza, S., Ramos Olazagasti, M. A., Roizen, E., Hutchison, J. A., Lashua, E. C., & Castellanos, F. X. (2012). Clinical and functional outcome of childhood attention-deficit/ hyperactivity disorder 33 years later. *Archives of General Psychiatry, 69*(12), 1295–1303. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2012.271>

- Knopik, V. S., Marceau, K., Bidwell, L. C., Palmer, R. H. C., Smith, T. F., Todorov, A., Evans, A. S., & Heath, A. C. (2016). Smoking during pregnancy and ADHD risk: A genetically informed, multiple-rater approach. *American Journal of Medical Genetics, Part B: Neuropsychiatric Genetics*, *171*(7), 971–981.
<https://doi.org/10.1002/ajmg.b.32421>
- Kotchoubey, B., Strehl, U., Holzapfel, S., Blankenhorn, V., Fröscher, W., & Birbaumer, N. (1999). Negative potential shifts and the prediction of the outcome of neurofeedback therapy in epilepsy. *Clinical Neurophysiology*, *110*(4), 683–686.
[https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00005-X](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00005-X)
- Krause, K. H., Dresel, S. H., Krause, J., Kung, H. F., & Tatsch, K. (2000). Increased striatal dopamine transporter in adult patients with attention deficit hyperactivity disorder: Effects of methylphenidate as measured by single photon emission computed tomography. *Neuroscience Letters*, *285*(2), 107–110.
[https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(00\)01040-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(00)01040-5)
- Kropotov, J. D., Grin-Yatsenko, V. A., Ponomarev, V. A., Chutko, L. S., Yakovenko, E. A., & Nikishena, I. S. (2005). ERPs correlates of EEG relative beta training in ADHD children. *International Journal of Psychophysiology*, *55*(1), 23–34.
<https://doi.org/10.1016/J.IJPSYCHO.2004.05.011>
- Leins, U., Goth, G., Hinterberger, T., Klinger, C., Rumpf, N., & Strehl, U. (2007). Neurofeedback for children with ADHD: A comparison of SCP and Theta/Beta protocols. *Applied Psychophysiology Biofeedback*. <https://doi.org/10.1007/s10484-007-9031-0>
- Linnet, K. M., Dalsgaard, S., Ph, D., Obel, C., Wisborg, K., Sc, D. M., Henriksen, T. B., Rodriguez, A., Kotimaa, A., Moilanen, I., Thomsen, P. H., Olsen, J., & Jarvelin, M. (2003). -Reviews and Overviews-Maternal Lifestyle Factors in Pregnancy Risk of Attention Deficit Hyperactivity Disorder and Associated Behaviors: Review of the. *American Journal Psychiatry*, *160*(June), 1028–1040.
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Reviews+and+Overviews+Maternal+Lifestyle+Factors+in+Pregnancy+Risk+of+Attention+Deficit+Hyperactivity+Disorder+and+Associated+Behaviors+:+Review+of+the+Current+Evidence#1>
- Loe, I. M., & Feldman, H. M. (2007). Academic and educational outcomes of children

- with ADHD. In *Journal of Pediatric Psychology*.
<https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsl054>
- Lubar, J. F., & Shouse, M. N. (1976). EEG and behavioral changes in a hyperkinetic child concurrent with training of the sensorimotor rhythm (SMR) - A preliminary report. *Biofeedback and Self-Regulation*. <https://doi.org/10.1007/BF01001170>
- McCarthy, H., Skokauskas, N., & Frodl, T. (2014). Identifying a consistent pattern of neural function in attention deficit hyperactivity disorder: A meta-analysis. *Psychological Medicine*, *44*(4), 869–880.
<https://doi.org/10.1017/S0033291713001037>
- Mehta, R. K., & Parasuraman, R. (2013). Neuroergonomics: A review of applications to physical and cognitive work. In *Frontiers in Human Neuroscience* (Vol. 7, Issue DEC). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00889>
- Meisel, V., Servera, M., Garcia-Banda, G., Cardo, E., & Moreno, I. (2014a). Reprint of “Neurofeedback and standard pharmacological intervention in ADHD: A randomized controlled trial with six-month follow-up.” *Biological Psychology*.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.09.009>
- Meisel, V., Servera, M., Garcia-Banda, G., Cardo, E., & Moreno, I. (2014b). Reprint of “Neurofeedback and standard pharmacological intervention in ADHD: A randomized controlled trial with six-month follow-up.” *Biological Psychology*, *95*(1), 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.09.009>
- Micoulaud-Franchi, J. A., Geoffroy, P. A., Fond, G., Lopez, R., Bioulac, S., & Philip, P. (2014). EEG neurofeedback treatments in children with ADHD: An updated meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*(November), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00906>
- 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. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Monastra, V. J., Monastra, D. M., & George, S. (2002). The effects of stimulant therapy, EEG biofeedback, and parenting style on the primary symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Applied Psychophysiology Biofeedback*.
<https://doi.org/10.1023/A:1021018700609>

- Muhammad, H., Gordon, W., Honeywell, M., Thornton, A., Thomas, T. A., Allen, E., & Gaffney, A. (2017). Neuropsychiatric EEG—based assessment aid system. In *U.S. Pharmacist* (Vol. 42, Issue 1, pp. 25–27).
https://www.uspharmacist.com/article/neuropsychiatric-eegbased-assessment-aid-system?utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc&utm_campaign=US_Pharmacist_TrendMD_0
- Nakao, T., Radua, J., & Rubia, K. (2011). Gray Matter Volume Abnormalities in ADHD: voxel-based meta-analysis exploring the effects of age and stimulant medication. *Am J Psychiatry*, *168*(8), 1154–1163.
- Nan, W., Rodrigues, J. P., Ma, J., Qu, X., Wan, F., Mak, P. I., Mak, P. U., Vai, M. I., & Rosa, A. (2012). Individual alpha neurofeedback training effect on short term memory. *International Journal of Psychophysiology*, *86*(1), 83–87.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.07.182>
- Nan, W., Wan, F., Vai, M. I., & Da Rosa, A. C. (2015). Resting and initial beta amplitudes predict learning ability in beta/theta ratio neurofeedback training in healthy young adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*(DEC), 1–9.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00677>
- Negoro, H., Sawada, M., Iida, J., Ota, T., Tanaka, S., & Kishimoto, T. (2010). Prefrontal dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder as measured by near-infrared spectroscopy. *Child Psychiatry and Human Development*.
<https://doi.org/10.1007/s10578-009-0160-y>
- Nigg, J. T. (2001). Is ADHD a disinhibitory disorder? *Psychological Bulletin*, *127*(5), 571–598. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.127.5.571>
- Nigg, J. T., Willcutt, E. G., Doyle, A. E., & Sonuga-Barke, E. J. S. (2005). Causal heterogeneity in attention-deficit/hyperactivity disorder: Do we need neuropsychologically impaired subtypes? *Biological Psychiatry*, *57*(11), 1224–1230. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2004.08.025>
- Norcross, J. C. (2011). Empirically supported therapy relationships. *Psychotherapy Relationships That Work: Evidence-Based Responsiveness*, *57*(3), 3–16.
<https://doi.org/10.1037/0033-3204.38.4.345>
- Norman, L. J., Carlisi, C., Lukito, S., Hart, H., Mataix-Cols, D., Radua, J., & Rubia, K. (2016). Structural and functional brain abnormalities in attention-

- deficit/hyperactivity disorder and obsessive-compulsive disorder: A comparative meta-analysis. *JAMA Psychiatry*, 73(8), 815–825.
<https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2016.0700>
- Obel, C., Zhu, J. L., Olsen, J., Breining, S., Li, J., Grønberg, T. K., Gissler, M., & Rutter, M. (2016). The risk of attention deficit hyperactivity disorder in children exposed to maternal smoking during pregnancy - A re-examination using a sibling design. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 57(4), 532–537. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12478>
- Organization, W. H. (1997). Implementation of the International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, Tenth Revision (ICD-10). *Epidemiological Bulletin*, 18(1), 1–4.
- Owens, J. S., Goldfine, M. E., Evangelista, N. M., Hoza, B., & Kaiser, N. M. (2007). A critical review of self-perceptions and the positive illusory bias in children with ADHD. *Clinical Child and Family Psychology Review*, 10(4), 335–351.
<https://doi.org/10.1007/s10567-007-0027-3>
- Pelham Jr, W. E., Wheeler, T., & Chronis, A. (1998). Empirically supported psychosocial interventions for children : An overview Empirically Supported Psychosocial Interventions for Children : An Overview. *Journal of Clinical Child Psychology*, 27(January 2012), 37–41. <https://doi.org/10.1207/s15374424jccp2702>
- Pelz, R., Banaschewski, T., & Becker, K. (2008). Pharmacotherapy in children and adolescents with ADHD. An overview. *Monatsschrift Fur Kinderheilkunde*, 156(8), 768–775. <https://doi.org/10.1007/s00112-008-1729-4>
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 37(1), 51–87. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1996.tb01380.x>
- Perchet, C., Revol, O., Fournier, P., Mauguière, F., & Garcia-Larrea, L. (2001). Attention shifts and anticipatory mechanisms in hyperactive children: An ERP study using the Posner paradigm. *Biological Psychiatry*.
[https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(00\)01119-7](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(00)01119-7)
- Perrey, S. (2008). Non-invasive NIR spectroscopy of human brain function during exercise. *Methods*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2008.04.005>
- Pimenta, M. G., Brown, T., Arns, M., & Enriquez-Geppert, S. (2021). Treatment

- efficacy and clinical effectiveness of eeg neurofeedback as a personalized and multimodal treatment in adhd: A critical review. In *Neuropsychiatric Disease and Treatment* (Vol. 17, pp. 637–648). <https://doi.org/10.2147/NDT.S251547>
- Pliszka, S. R. (2003). Psychiatric Comorbidities in Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder: Implications for Management. *Pediatric Drugs*, 5(11), 741–750. <https://doi.org/10.2165/00148581-200305110-00003>
- Riesco-Matías, P., Yela-Bernabé, J. R., Crego, A., & Sánchez-Zaballos, E. (2019). What Do Meta-Analyses Have to Say About the Efficacy of Neurofeedback Applied to Children With ADHD? Review of Previous Meta-Analyses and a New Meta-Analysis. *Journal of Attention Disorders*. <https://doi.org/10.1177/1087054718821731>
- Riesco-Matías, P., Yela-Bernabé, J. R., Crego, A., & Sánchez-Zaballos, E. (2021). What Do Meta-Analyses Have to Say About the Efficacy of Neurofeedback Applied to Children With ADHD? Review of Previous Meta-Analyses and a New Meta-Analysis. *Journal of Attention Disorders*, 25(4), 473–485. <https://doi.org/10.1177/1087054718821731>
- Rodriguez, A., Miettunen, J., Henriksen, T. B., Olsen, J., Obel, C., Taanila, A., Ebeling, H., Linnet, K. M., Moilanen, I., & Järvelin, M.-R. (2008). Maternal adiposity prior to pregnancy is associated with ADHD symptoms in offspring: evidence from three prospective pregnancy cohorts. *International Journal of Obesity*, 32, 550–557. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803741>
- Sadtler, P. T., Quick, K. M., Golub, M. D., Chase, S. M., Ryu, S. I., Tyler-Kabara, E. C., Yu, B. M., & Batista, A. P. (2014). Neural constraints on learning. *Nature*, 512(7515), 423–426. <https://doi.org/10.1038/nature13665>
- Seidman, L. J. (2006). Neuropsychological functioning in people with ADHD across the lifespan. *Clinical Psychology Review*, 26(4), 466–485. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2006.01.004>
- Skoglund, C., Chen, Q., D'Onofrio, B. M., Lichtenstein, P., & Larsson, H. (2014). Familial confounding of the association between maternal smoking during pregnancy and ADHD in offspring. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 55(1), 61–68. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12124>
- Spalletta, G., Pasini, A., Pau, F., Guido, G., Menghini, L., & Caltagirone, C. (2001).

- Prefrontal blood flow dysregulation in drug naive ADHD children without structural abnormalities. *Journal of Neural Transmission*, 108(10), 1203–1216.
<https://doi.org/10.1007/s007020170010>
- Storebø, O. J., Ramstad, E., Krogh, H. B., Nilausen, T. D., Skoog, M., Holmskov, M., Rosendal, S., Groth, C., Magnusson, F. L., Moreira-Maia, C. R., Gillies, D., Buch Rasmussen, K., Gauci, D., Zwi, M., Kirubakaran, R., Forsbøl, B., Simonsen, E., & Gluud, C. (2015). Methylphenidate for children and adolescents with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). In *Cochrane Database of Systematic Reviews* (Vol. 2015, Issue 11). John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD009885.pub2>
- Strehl, U., Leins, U., Goth, G., Klinger, C., Hinterberger, T., & Birbaumer, N. (2006). Self-regulation of Slow Cortical Potentials: A New Treatment for Children With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Pediatrics*, 118(5), e1530–e1540.
<https://doi.org/10.1542/peds.2005-2478>
- Strehl, Ute. (2014). *What learning theories can teach us in designing neurofeedback treatments*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00894>
- Strijkstra, A. M., Beersma, D. G. M., Drayer, B., Halbesma, N., & Daan, S. (2003). Subjective sleepiness correlates negatively with global alpha (8-12 Hz) and positively with central frontal theta (4-8 Hz) frequencies in the human resting awake electroencephalogram. *Neuroscience Letters*, 340(1), 17–20.
[https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(03\)00033-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(03)00033-8)
- Sutcubasi, B., Metin, B., Kurban, M. K., Metin, Z. E., Beser, B., & Sonuga-Barke, E. (2020). Resting-state network dysconnectivity in ADHD: A system-neuroscience-based meta-analysis. *World Journal of Biological Psychiatry*, 21(9), 662–672.
<https://doi.org/10.1080/15622975.2020.1775889>
- Takahashi, J., Yasumura, A., Nakagawa, E., & Inagaki, M. (2014). Changes in negative and positive EEG shifts during slow cortical potential training in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: A preliminary investigation. *NeuroReport*, 25(8), 618–624. <https://doi.org/10.1097/WNR.000000000000156>
- Tanaka, H., Hayashi, M., & Hori, T. (1997). Topographical characteristics and principal component structure of the hypnagogic EEG. *Sleep*, 20(7), 523–534.
<https://doi.org/10.1093/sleep/20.7.523>

- Taylor, E., Doepfner, M., Sergeant, J., Asherson, P., Banaschewski, T., Buitelaar, J., Coghill, D., Danckaerts, M., Rothenberger, A., Sonuga-Barke, E., Steinhausen, H. C., & Zuddas, A. (2004). European clinical guidelines for hyperkinetic disorder - First upgrade. *European Child and Adolescent Psychiatry, Supplement*, 13(1). <https://doi.org/10.1007/s00787-004-1002-x>
- Taylor, E., Döpfner, M., Sergeant, J., Asherson, P., Banaschewski, T., Buitelaar, J., Coghill, D., Danckaerts, M., Rothenberger, A., Sonuga-Barke, E., Steinhausen, H. C., & Zuddas, A. (2004). European clinical guidelines for hyperkinetic disorder - First upgrade. In *European Child and Adolescent Psychiatry, Supplement* (Vol. 13, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s00787-004-1002-x>
- Thapar, A., Cooper, M., Jefferies, R., & Stergiakouli, E. (2012). What causes attention deficit hyperactivity disorder? In *Archives of Disease in Childhood* (Vol. 97, Issue 3, pp. 260–265). <https://doi.org/10.1136/archdischild-2011-300482>
- Valera, E. M., Faraone, S. V., Murray, K. E., & Seidman, L. J. (2007). Meta-analysis of structural imaging findings in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 61(12), 1361–1369. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.06.011>
- Van der Oord, S., Prins, P. J. M., Oosterlaan, J., & Emmelkamp, P. M. G. (2008). Efficacy of methylphenidate, psychosocial treatments and their combination in school-aged children with ADHD: A meta-analysis. In *Clinical Psychology Review* (Vol. 28, Issue 5, pp. 783–800). *Clin Psychol Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2007.10.007>
- Van Doren, J., Arns, M., Heinrich, H., Vollebregt, M. A., Strehl, U., & K. Loo, S. (2019). Sustained effects of neurofeedback in ADHD: a systematic review and meta-analysis. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 28(3), 293–305. <https://doi.org/10.1007/s00787-018-1121-4>
- Van Doren, J., Heinrich, H., Bezold, M., Reuter, N., Kratz, O., Horndasch, S., Berking, M., Ros, T., Gevensleben, H., Moll, G. H., & Studer, P. (2017). Theta/beta neurofeedback in children with ADHD: Feasibility of a short-term setting and plasticity effects. *International Journal of Psychophysiology*, 112, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.11.004>
- Walter, W. G. (1964). Slow potential waves in the human brain associated with expectancy, attention and decision. *Archiv Für Psychiatrie Und Nervenkrankheiten*

- Vereinigt Mit Zeitschrift Für Die Gesamte Neurologie Und Psychiatrie*, 206(3), 309–322. <https://doi.org/10.1007/BF00341700>
- Wangler, S., Gevensleben, H., Albrecht, B., Studer, P., Rothenberger, A., Moll, G. H., & Heinrich, H. (2011). Neurofeedback in children with ADHD: Specific event-related potential findings of a randomized controlled trial. *Clinical Neurophysiology*, 122(5), 942–950. <https://doi.org/10.1016/J.CLINPH.2010.06.036>
- Weber, E., Köberl, A., Frank, S., & Doppelmayr, M. (2011). Predicting successful learning of SMR neurofeedback in healthy participants: Methodological considerations. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 36(1), 37–45. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9142-x>
- Wehmeier, P. M., Schacht, A., & Barkley, R. A. (2010). Social and Emotional Impairment in Children and Adolescents with ADHD and the Impact on Quality of Life. In *Journal of Adolescent Health*. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2009.09.009>
- Wilke, M., Holland, S. K., Altaye, M., & Gaser, C. (2008). Template-O-Matic: A toolbox for creating customized pediatric templates. *NeuroImage*. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.02.056>
- Willcutt, E. G., Doyle, A. E., Nigg, J. T., Faraone, S. V., & Pennington, B. F. (2005). *Validity of the Executive Function Theory of Attention- Deficit/Hyperactivity Disorder: A Meta-Analytic Review*. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.02.006>
- Zametkin, A. J., & Rapoport, J. L. (1987). Neurobiology of Attention Deficit Disorder With Hyperactivity: Where Have We Come in 50 Years? *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 26(5), 676–686. <https://doi.org/10.1097/00004583-198709000-00011>
- Zuberer, A., Brandeis, D., Drechsler, R., Arns, M., Gruzelier, J. H., & Christiansen, H. (2015). *Are treatment effects of neurofeedback training in children with ADHD related to the successful regulation of brain activity? A review on the learning of regulation of brain activity and a contribution to the discussion on specificity*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00135>

7 Anhang

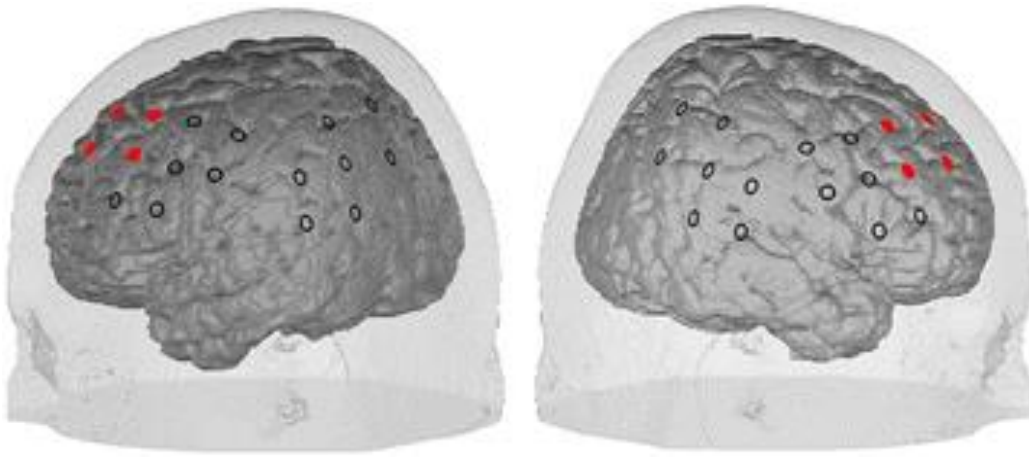


Abbildung 4. Ausrichtung der NIRS-Optoden in Projektion auf den Kortex. Die Feedback-Kanäle sind rot gefärbt.

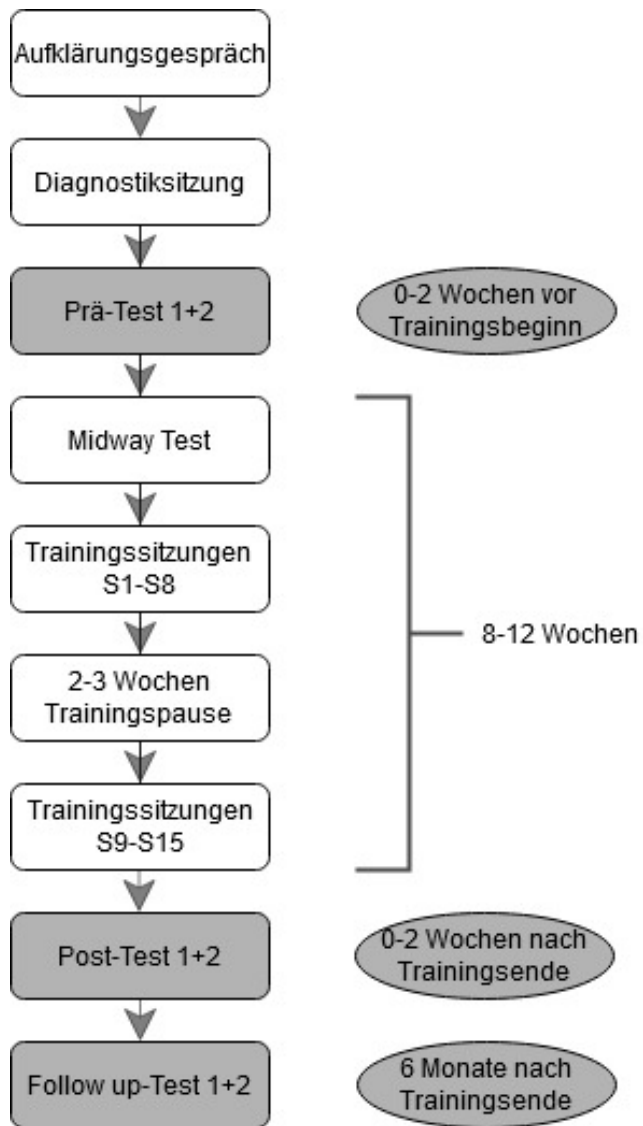


Abbildung 5. Zeitlicher Ablauf der Studie.



Abbildung 6. Screenshot des virtuellen Klassenzimmers.

Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde von mir unter der Betreuung von Herrn Professor Dr. Renner in der Klinik für Psychiatrie, Psychosomatik und Psychotherapie im Kinder- und Jugendalter durchgeführt. Meine direkte Betreuung während der gesamten Zeit erfolgte durch Frau Dr. Friederike Blume, welche auch Urheberin des Studiendesigns und, gemeinsam mit Justin Hudak, Projektleiterin war. Alle Erhebungen fanden in den Räumlichkeiten des Arbeitsbereichs Schulpsychologie sowie der Psychophysiologie und optische Bildgebung der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie Tübingen statt. Die Trainingssitzungen sowie die Prä-, Post- und Follow up-Tests 1 wurden von Mai 2016 bis Mai 2018 durch mich sowie verschiedene Bachelor- und Masterabsolventinnen des Fachbereichs Psychologie durchgeführt unter der Supervision durch Dr. Friederike Blume und Dr. Justin Hudak.

Die Dateneingabe erfolgte ebenfalls durch mich sowie verschiedene Bachelor- und Masterstudentinnen der Psychologie. Die statistische Auswertung erfolgte eigenständig durch mich. Alle Tabellen und Diagramme habe ich selbst erstellt. Abbildungen 7 und 8 entstammen dem Studienprotokoll von Blume et al.

Ich versichere, diese Dissertationsschrift eigenständig verfasst und keine anderen Quellen als die angegebenen verwendet zu haben.

Tübingen, den

Danksagung

Ich danke allen Kindern, die teilgenommen haben, sowie deren Eltern, für ihr entgegengebrachtes Vertrauen.

Ich danke Herrn Professor Dr. Renner für die Möglichkeit der Durchführung dieser Dissertation in seiner Arbeitsgruppe sowie die Unterstützung und das freundliche, verständnisvolle und herzliche Miteinander während des gesamten Zeitraums.

Ein außerordentlicher Dank gilt Frau Dr. Friederike Blume für die direkte Betreuung während der Zeit meiner Dissertation, die Einarbeitung in das Projekt und die nette und wertschätzende Zusammenarbeit sowie das jederzeit offene Ohr für meine Fragen.

Justin Hudak danke ich ebenfalls für die Unterstützung vor Ort bei den Trainingssitzungen und weiteren Messungen.

Ramona Täglich und Betti Schopp möchte ich danken für die technische Einarbeitung in die NIRS- und EEG-Messungen sowie die große Hilfe bei Fragen und Problemen während der Erhebungen.

Ich danke all den Team-Mitgliedern, welche in den Jahren kamen und gingen, die ebenfalls aufgrund ihrer Abschlussarbeiten Teil des Projekts waren, ohne die die Arbeit nur halb so viel Spaß gemacht hätte.