

SELEKTIVE AUFMERKSAMKEIT UND INHIBITION
UNTER EINER ENTWICKLUNGSPERSPEKTIVE:
STUDIEN BEI KINDERN UND JUGENDLICHEN
MIT UND OHNE ADHS

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
des Doktors der Naturwissenschaften

an der Universität Konstanz

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Sektion
Fachbereich Psychologie

vorgelegt von

Nadine Wirth geb. Stumpf

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Oktober 2010

1. Referentin: PD Dr. Sabine Heim
2. Referent: Prof. Dr. Andreas Keil

Dank

Die vorliegende Dissertation wäre ohne die Unterstützung, die fortwährende Ermunterung und die Geduld meiner beiden Betreuer Sabine Heim und Andreas Keil nie begonnen und vor allem nie beendet worden – vielen Dank, dass ihr dieses Projekt ermöglicht und begleitet habt.

Ein großer Dank geht auch an Niklas Ihssen, der nie müde wurde, mir die Geheimnisse des Programmierens zu erläutern und mich aus so mancher Programmiersackgasse ziel-sicher heraus navigiert hat.

Zudem möchte ich Ina Wäldin und Ute Ehinger für ihre Hilfe bei einem Teil der Datenerhebung danken, sowie Bianca Hipp für die graphische Gestaltung der Flanker-Stimuli.

Mein besonderer Dank gilt zum einen dem Sozialpädiatrischen Zentrum in Konstanz unter der Leitung von Herrn Wilfried Kratzer sowie der Pädagogisch Therapeutischen Einrichtung in Stuttgart/Fellbach damals unter der Leitung von Frau Clementine Rheinhardt, deren Unterstützung bei der Rekrutierung der klinischen Versuchsgruppe der ADHS-Kinder unverzichtbar für diese Arbeit war. In diesem Zusammenhang danke ich den unzähligen Kindern und Jugendlichen, die an den Studien teilgenommen haben, sowie deren Eltern, die ihr Einverständnis zur Teilnahme gaben und bereitwillig den ein oder anderen Fragebogen ausgefüllt haben. Ohne die engagierten Probanden gäbe es diese Arbeit nicht.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinen Freunden und meiner Familie bedanken, die mich in meiner Arbeit immer wieder unterstützt und wenn notwendig auch angetrieben haben.

Vielen Dank!

Inhaltsverzeichnis

Dank	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VIII
Einleitung.....	1
1 Theoretischer Hintergrund	3
1.1 Aufmerksamkeit.....	3
1.2 Entwicklung von Aufmerksamkeit.....	7
1.3 Aufmerksamkeitsdefizit-/ Hyperaktivitätsstörung (ADHS).....	11
1.3.1 Diagnosekriterien nach ICD-10 und DSM-IV.....	11
1.3.2 Symptomatik.....	12
1.3.3 Komorbide Störungen.....	12
1.3.4 Epidemiologie.....	13
1.3.5 Ätiologische Erklärungsansätze.....	14
2 Experiment I.....	19
2.1 Theoretischer Überblick.....	19
2.1.1 Attentional Blink.....	19
2.1.2 Attentional Blink in klinischen Stichproben.....	22
2.1.3 Ziele und Fragestellungen in Experiment I.....	24
2.2 Allgemeine Methoden.....	26
2.2.1 Versuchsteilnehmer.....	26
2.2.2 Durchführung.....	26
2.2.3 Attentional Blink Aufgaben.....	27
2.3 Studie 1a	32
2.3.1 Methoden	32
2.3.2 Ergebnisse	34
2.3.3 Diskussion Studie 1a.....	41
2.4 Studie 1b	44
2.4.1 Methoden	44
2.4.2 Ergebnisse	45

2.4.3	Diskussion Studie 1b	51
2.5	Studie 1c	54
2.5.1	Methoden	54
2.5.2	Ergebnisse	56
2.5.3	Diskussion Studie 1c	64
2.6	Zusammenfassung und Implikation Experiment I.....	66
3	Experiment II.....	68
3.1	Theoretischer Überblick.....	68
3.1.1	Elektroenzephalographie und ereigniskorrelierte Potentiale.....	69
3.1.2	Flanker-Paradigma: Selektive Aufmerksamkeit im Entwicklungsverlauf und bei ADHS	72
3.1.3	Ziele und Fragestellung in Experiment II.....	76
3.2	Methode.....	78
3.2.1	Versuchsteilnehmer	78
3.2.2	Durchführung.....	79
3.3	Ergebnisse	83
3.3.1	Verhaltensdaten	83
3.3.2	Elektrophysiologische Daten.....	86
3.4	Diskussion	90
3.4.1	Verhaltensdaten	90
3.4.2	Elektrophysiologische Daten.....	91
4	Synthese und Ausblick.....	95
5	Literaturverzeichnis	97

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für einen Durchgang in der verbalen Attentional Blink Aufgabe in der Gruppe der 5.- und 6.-Klässler für Lag 2 (ein Distraktorreiz zwischen T1 und T2, SOA = 232 ms).	28
Abbildung 2: Beispiel für einen Durchgang in der non-verbalen Attentional Blink Aufgabe für Lag 2 (ein Distraktorreiz zwischen T1 und T2, SOA = 232 ms).	29
Abbildung 3: Durchschnittliche T1-Identifikationsleistung für alle vier Untersuchungsgruppen in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Verbal-Aufgabe.	35
Abbildung 4: Durchschnittliche T2-Identifikationsleistung für alle vier Untersuchungsgruppen in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Verbal-Aufgabe; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Wörtern gewertet.	36
Abbildung 5: Durchschnittliche T1-Identifikationsleistung für alle vier Untersuchungsgruppen in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Symbol-Aufgabe.	37
Abbildung 6: Durchschnittliche T2-Identifikationsleistung für alle vier Untersuchungsgruppen in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Symbol-Aufgabe; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Wörtern berücksichtigt.	38
Abbildung 7: Durchschnittliche Identifikationsleistung in Prozent (n = 23) als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Wort-Aufgabe. a. T1-Reize. b. T2-Reize; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Buchstaben berücksichtigt.	45
Abbildung 8: Durchschnittliche Identifikationsleistung in Prozent (n = 23) als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Symbol-Aufgabe. a. T1-Reize. b. T2-Reize; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Symbolen berücksichtigt.	46
Abbildung 9: Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson zwischen dem Alter der Kinder und den auf dem Profil des Attentional Blink basierenden Differenztermen der Verbal-Aufgabe. a. Aufmerksamkeitsmaß $A = \Delta T_2 T_1$ (Lag 8 – Lag 2). b. Aufmerksamkeitsmaß $B = \Delta T_2 T_1$ (Lag 8 – Lag 3).	47
Abbildung 10: Gruppenunterschiede zwischen älteren (> 87 Monate) und jüngeren (≤ 87 Monate) Erstklässlern bezüglich der Aufmerksamkeitsmaße A und B (a bzw. b) in der Verbal-Aufgabe. Vertikale Balken zeigen Konfidenzintervalle auf dem 95%-Niveau.	48

Abbildung 11: Durchschnittliche Rohwertverteilung der FBB-HKS Einschätzungen durch die Eltern für ADHS- und Kontrollgruppe, jeweils für die Skalen „Aufmerksamkeit“, „Überaktivität“, „Impulsivität“ und „ADHS-Gesamt“.....	56
Abbildung 12: Durchschnittliche Identifikationsleistung für ADHS- (blau) und Kontrollgruppe (grün) in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Verbal-Aufgabe. a. T1-Reize. b. T2-Reize; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Wörter berücksichtigt.....	57
Abbildung 13: Durchschnittliche Identifikationsleistung für ADHS- (blau) und Kontrollgruppe (grün) in Prozent unter Verwendung der T2-Gesamtleistung als Kovariate. Dargestellt als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Verbal-Aufgabe.	58
Abbildung 14: Durchschnittliche T2-Identifikationsleistung für alle vier Untersuchungsgruppen aus Studie 1a sowie die ADHS-Gruppe der vorliegenden Studie in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Verbal-Aufgabe; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Wörtern berücksichtigt.	59
Abbildung 15: Durchschnittliche Identifikationsleistung für ADHS- (blau) und Kontrollgruppe (grün) in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Symbol-Aufgabe. a. T1-Reize. b. T2-Reize; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Symbole berücksichtigt.....	60
Abbildung 16: Durchschnittliche Identifikationsleistung für ADHS- (blau) und Kontrollgruppe (grün) in Prozent unter Verwendung der T2-Gesamtleistung als Kovariate. Dargestellt als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Symbol-Aufgabe.	61
Abbildung 17: Durchschnittliche T2-Identifikationsleistung für alle vier Untersuchungsgruppen in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Symbol-Aufgabe; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Symbole berücksichtigt.	62
Abbildung 18: Beispiel für einen inkongruenten Durchgang der Target-First-Flanker-Aufgabe. Die Flanker-Reize erschienen jeweils in einem Drittel der Durchgänge gleichzeitig mit dem Target (SOA =0 ms), 100 ms oder 400 ms danach.....	80
Abbildung 19: Mittlere Reaktionszeit auf die Zielreize pro Gruppe in Abhängigkeit der Kongruenz der Flankerreize für die 0 ms-SOA-Bedingung.....	84
Abbildung 20: Mittlere Reaktionszeit auf die Zielreize pro Gruppe in Abhängigkeit der Kongruenz der Flankerreize für die 100 ms-SOA-Bedingung.....	84

Abbildung 21: Mittlere Reaktionszeit auf die Zielreize pro Gruppe in Abhängigkeit der Kongruenz der Flankerreize für die 400 ms-SOA-Bedingung.....	85
Abbildung 22: Mittlere N1-Amplitude pro Gruppe in Abhängigkeit der Kongruenz der Flankerreize für die 0 ms-SOA-Bedingung.....	86
Abbildung 23: Mittlere N1-Amplitude pro Gruppe in Abhängigkeit der Kongruenz der Flankerreize für die 400 ms-SOA-Bedingung.....	87
Abbildung 24: Mittlere N1-Amplitude pro Gruppe in Abhängigkeit der Kongruenz der Flankerreize für die 100 ms-SOA-Bedingung.....	88
Abbildung 25: Gemittelte EKPs einer repräsentativen Elektrode rechts okzipital auf Erscheinen von Ziel- und Flankerreizen bei einer SOA von 100 ms in inkongruenten (gestrichelte Linien) und kongruenten (durchgehende Linien) Bedingungen für ADHS- (rot) und Kontrollgruppe (schwarz). Der graue Balken veranschaulicht das Zeitfenster das zur Analyse der N1 auf das Erscheinen des Flankers gewählt wurde (160-200 ms post-Flanker).	89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Reihenfolge der durchgeführten Untersuchungen	27
Tabelle 2: Anzahl der Versuchsteilnehmer pro Untersuchungsgruppe,	32
Tabelle 3: Gruppeneinteilung nach Klasse und Reizmaterial; Angaben zur Frequenz und mittleren Silbenanzahl der Target-Wörter.....	33
Tabelle 4: Leistungen der Versuchsteilnehmer pro Untersuchungsgruppe für CPM/SPM sowie die Ziffernschritte vorwärts und rückwärts (mit Standardabweichung).....	39
Tabelle 5: Produkt-Moment-Korrelationen nach Pearson zwischen den Werten der psychometrischen Variablen und den auf dem Profil des Attentional Blink basierenden Differenzmaßen A, und B (n = 23 Erstklässler).....	50
Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichungen (Rohwerte) des Fremdbeurteilungsbogens „Hyperkinetische Störung“ für ADHS- und Kontrollgruppe.	55
Tabelle 7: Anzahl der Versuchsteilnehmer pro Untersuchungsgruppe, durchschnittliches Alter in Jahren (mit Standardabweichung), durchschnittlicher IQ (mit Standardabweichung).....	78
Tabelle 8: Reihenfolge der durchgeführten Untersuchungen.	79
Tabelle 9: Mittelwerte und Standardabweichungen (Rohwerte) des Fremd- bzw. Selbstbeurteilungsbogens „Hyperkinetische Störung“ für ADHS- und Kontrollgruppe.	81

Einleitung

In unserem Alltag sind wir fast ununterbrochen einer großen Menge von Reizen und Informationen ausgesetzt, von denen in der jeweiligen Situation nur ein kleiner Teil für uns von Bedeutung ist. Die Aufgabe unseres Sinnessystems ist es, diesen relevanten und bedeutsamen Teil herauszufiltern und zu verarbeiten, während die unbedeutenden Teile nicht beachtet und ignoriert werden. Gelingt dieser Selektionsprozess nicht oder nur fehlerhaft, spricht man von Interferenz. Die effiziente Auswahl und Verarbeitung relevanter Information ist gestört, die Reaktion erfolgt verzögert und fehlerhaft. Um Interferenzprozesse in Laborsituationen zu untersuchen, wurden verschiedene interferenzauslösende Aufgabenparadigmen entwickelt. Charakteristisch für diese Aufgaben ist die gleichzeitige Präsentation von Reizen, von denen nur einige für die Bearbeitung der Aufgabe relevant sind, während die übrigen ignoriert werden müssen. Die Untersuchung selektiver Aufmerksamkeit beschäftigt sich mit Prozessen der Auswahl und Verarbeitung relevanter Informationen auf deren Grundlage eine Reaktion angebahnt und ausgeführt wird, ebenso wie mit den Interferenzprozessen, die ausgelöst werden, wenn aufgabenirrelevante Reize diesen Ablauf stören.

Zahlreiche Studien mit Kindern und Jugendlichen zeigen, dass es älteren Probanden zunehmend besser gelingt, Aufgaben erfolgreich zu bearbeiten, die das Ignorieren irrelevanter Informationen sowie die Verarbeitung relevanter Informationen erfordern (Enns, 1990). Im Laufe der Entwicklung verändert sich die Fähigkeit zur spezifischen Selektion von Reizen und Reaktionen in Gegenwart konkurrierender aber nicht angemessener Alternativen. Je älter Kinder und Jugendliche werden, umso besser können sie den entstehenden Konflikt, die entstehende Interferenzsituation, lösen. In Abhängigkeit der Aufgabenschwierigkeit werden die größten entwicklungsbedingten Unterschiede zwischen Kindheit und Adoleszenz beobachtet, was eine Reifung der beteiligten kognitiven Strukturen bis ins frühe Erwachsenenalter nahelegt. Studien, die neben Verhaltensdaten auch hirnpfysiologische Parameter untersuchen, finden zum einen eine Beteiligung größerer Areale und zum anderen eine längere Aktivierung je jünger die Probanden sind (Rothbart, Ellis, Rueda & Posner, 2003).

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit der Regulation von Aufmerksamkeit, insbesondere mit der Sensitivität gegenüber Interferenz durch Störreize unter einer Entwicklungsperspektive. Zwischen Kindheit und Adoleszenz lassen sich entwicklungsbedingte Veränderungen attentionaler Ressourcen beobachten, welche für die Ausformung komplexer kognitiver Fähigkeiten maßgeblich sind. Gesunde und entwicklungsauffällige Kinder unterschiedlichen Alters werden unter dem Aspekt der Allokation von Ressourcen

auf relevante Reize sowie hinsichtlich ihrer Anfälligkeit gegenüber Störreizen untersucht. Im Vordergrund stehen zeitliche Aspekte dieser Konstrukte, die in unterschiedlichen Aufgabenkontexten operationalisiert werden. Besonders geeignete Aufgaben stellen das Attentional-Blink-Paradigma sowie das Eriksen-Flanker-Design dar. Zur vollständigeren Modellierung der beteiligten Aufmerksamkeits- und Inhibitionsprozesse in ihrer zeitlichen Dynamik werden neben behavioralen Maßen (Genauigkeit und Geschwindigkeit des Antwortverhaltens) ebenfalls elektrokortikale Parameter (ereigniskorrelierte Potentiale) erhoben.

In einem ersten Teil wird das dieser Arbeit zugrundeliegende Konstrukt der Aufmerksamkeit näher beleuchtet und unter der Perspektive kindlicher Entwicklung betrachtet. Nach einem kurzen Überblick über Epidemiologie und Ätiologie der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) werden in Experiment I Kinder der ersten bis zur zehnten Schulklasse sowie eine Gruppe von aufmerksamkeitsgestörten Kindern mit dem Attentional Blink Paradigma untersucht. Ihre Leistungen werden hinsichtlich Bearbeitungsprofil und Erkennungsrate in verschiedenen Altersgruppen miteinander verglichen und zur kognitiven Leistungskapazität in Beziehung gesetzt (Studie 1a und 1b). Die Leistungen der ADHS-Kinder werden im Vergleich zu entwicklungsunauffälligen Gleichaltrigen untersucht (Studie 1c).

Experiment II betrachtet die Unterschiede zwischen ADHS- und Kontrollprobanden in der Bearbeitung einer Eriksen-Flanker-Aufgabe. Bei einigen Teilnehmern wurden neben den Verhaltensdaten auch elektrokortikale Parameter mittels Elektroenzephalogramm (EEG) erhoben, um eine vollständigere Modellierung der beteiligten Aufmerksamkeits- und Inhibitionsprozesse in ihrer zeitlichen Dynamik zu ermöglichen.

In der Zusammenschau sollen die hier durchgeführten Studien wertvolle Erkenntnisse über den zeitlichen Verlauf selektiver Aufmerksamkeits- und Interferenzprozesse bei gesunden und entwicklungsauffälligen Kindern und Jugendlichen unterschiedlichen Alters liefern und damit einen Beitrag zur Entwicklung neuer diagnostischer, präventiver und therapeutischer Ansätze leisten.

1 Theoretischer Hintergrund

In der folgenden Darstellung des theoretischen Hintergrundes wird zum einen der dieser Arbeit zugrundeliegende Begriff der Aufmerksamkeit genauer erläutert sowie aktuelle Modelle zur Aufmerksamkeitsentwicklung im Kindes- und Jugendalter beschrieben. Ein dritter Teil gibt einen kurzen Überblick über die kindliche Aufmerksamkeitsdefizit-/ Hyperaktivitätsstörung (ADHS) mit aktuellen epidemiologischen Untersuchungen sowie Modellen zur Ätiologie.

1.1 Aufmerksamkeit

Obwohl William James vor mehr als einem Jahrhundert bereits davon ausging, dass „jeder weiß, was Aufmerksamkeit ist“ (James, 1890), liegt bis heute keine einheitliche Definition für diesen Begriff und das Phänomen der Aufmerksamkeit vor. Vielmehr verstehen wir Aufmerksamkeit als einen Prozess der Informationsaufnahme, -bewertung und -verarbeitung. Ihre wesentliche Aufgabe besteht darin, relevante Information aus der Menge an Reizen, denen das menschliche Sinnessystem ausgesetzt ist, herauszufiltern und weiter zu verarbeiten, während für die jeweilige Situation irrelevante Informationen nicht beachtet und ignoriert werden (Broadbent, 1958). Die experimentalpsychologische Forschung der letzten Jahrzehnte hat zu einem integrativen Verständnis der verschiedenen kognitiven Prozesse, Kapazitäten und Fertigkeiten beigetragen, die für eine attentive und funktionale Verarbeitung von Reizgehalten erforderlich sind. Man geht von Aufmerksamkeit als einem organischen System aus, bestehend aus unterschiedlichen neuronalen Netzwerken, die jeweils für grundlegende Funktionen wie „Alertness“, „Orienting“ und „Executive“ zuständig sind (Posner & Boies, 1971; Posner, Rueda & Kanske, 2007).

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich maßgeblich mit dem Phänomen der selektiven Aufmerksamkeit, welches dem dritten der genannten Netzwerke zugeschrieben wird. Alertness und Orienting werden daher im Folgenden nur kurz beschrieben.

Unter **Alertness** versteht man die generelle Wachheit und Erregung eines Organismus. Sie gilt als Basiskapazität für komplexere Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozesse und wird unterschieden in eine phasische und eine tonische Form (Hackley & Valle-Inclan, 1998; Sturm & Willmes, 2001). Die tonische Alertness oder der generelle Wachheits- bzw. Aktivierungsgrad wird üblicherweise vermittels einer einfachen Reaktionszeitmessung auf einen dargebotenen Reiz ohne Hinweisreiz operationalisiert. Die Fähigkeit, diese Reaktionsbereitschaft in Erwartung eines Hinweisreizes, der den Erscheinungszeitpunkt des Zielreizes vorhersagt, zu steigern wird als phasische Alertness bezeichnet (Sturm et al., 2006). In EEG-Untersuchungen folgt auf die Präsentation des Warnreizes eine Negativierung, welche als Hinweis auf eine Erwartungshaltung des Organismus gedeutet

wird (Walter, Cooper, Aldridge, McCallum & Winter, 1964). Läsionsstudien sowie Studien mit bildgebenden Verfahren lokalisieren die relevanten neuronalen Substrate für die tonische Alertness eher rechtshemisphärisch, während bei Aufgaben zur phasischen Alertness eher linkshemisphärische Strukturen beteiligt sind (Raz & Buhle, 2006).

Die Fähigkeit relevante Informationen aus der Vielzahl sensorischer Stimuli, denen unser Organismus ausgesetzt ist, zu erkennen und darauf zu reagieren, wird als **Orienting** bezeichnet. Klassische Untersuchungsmethoden für das Aufmerksamkeitsphänomen des Orienting sind visuelle Suchaufgaben bzw. Aufgaben, bei denen dem Zielreiz ein Hinweisreiz vorausgeht (Posner, 1980). In validen Durchgängen sagt der Hinweisreiz den Erscheinungsort des Zielreizes korrekt vorher und die Reaktionszeit verringert sich. Invalide Hinweisreize wiederum verursachen eine verlängerte Reaktionszeit. Es wird unterschieden zwischen exogener (der Hinweisreiz erscheint blitzartig und zieht die Aufmerksamkeit automatisch auf sich) und endogener Orientierungsreaktion (die Spitze eines Pfeils zeigt den Erscheinungsort des Zielreizes an). Sowohl exogene als auch endogene Orientierungsreaktionen und die damit verbundene Reaktionszeitverbesserung gehen mit einer erhöhten kortikalen Aktivierung in der jeweils reizspezifischen Gehirnregion einher (Raz & Buhle, 2006). Zahlreiche Studien berichten von einem fronto-parietalen Netzwerk der Orientierungsreaktion (Corbetta, Kincade, Ollinger, McAvoy & Shulman, 2000; Hopfinger, Buonocore & Mangun, 2000; Kastner, Pinsk, Weerd, Desimone & Ungerleider, 1999).

Über den Zusammenhang zwischen Alerting und Orienting besteht bislang keine Einigkeit. Während eine große Anzahl von Studien keine Hinweise für die Überschneidung der beteiligten Netzwerke findet, gehen andere von gemeinsamen neuronalen Strukturen aus. Für den Moment sollten die beiden Aufmerksamkeitsprozess aber als getrennt voneinander gesehen und verstanden werden (Raz & Buhle, 2006).

Zum Phänomen der **exekutiven Aufmerksamkeitsfunktion** zählen Begriffe wie selektive, fokussierte oder gesteuerte Aufmerksamkeit ebenso wie Konfliktlösefähigkeit. Die Fähigkeit zur kontext-spezifischen Selektion von Reaktionen in Gegenwart von konkurrierenden, aber falschen oder nicht aufgabenangemessenen Antwortalternativen erfordert die Lösung von Konflikten. Netzwerke exekutiver Aufmerksamkeit haben die Aufgabe, relevante Informationen bewusst wahrzunehmen (Posner & Dehaene, 1994). Die bewusste Verarbeitung spielt eine entscheidende Rolle bei der Auswahl eines bedeutsamen Reizes unter ähnlichen, aber unbedeutsamen Alternativreizen. Operationalisiert werden Exekutivfunktionen gewöhnlich in Aufgaben, in denen ein Reiz mehrere Dimensionen enthält, von denen nur eine aufgabenrelevant ist (Konfliktsituation). Eine klassische Form, diese Interferenz innerhalb einer Aufgabe zu erzeugen, ist die so genannte Stroop-Aufgabe (Stroop, 1935). Eine typische Stroop-Aufgabe kombiniert die Dimensionen

Schriftfarbe und Wortbedeutung. In inkongruenten Trials wird beispielsweise das Wort „rot“ in grüner oder blauer Schrift präsentiert. In kongruenten Aufgabendurchgängen stimmen die Bedeutung des Farbwortes und die Farbe, in der das Wort präsentiert wird, überein. Aufgabe des Untersuchungsteilnehmers ist es, möglichst schnell die Schriftfarbe zu benennen (bzw. das Wort vorzulesen). In inkongruenten Durchgängen erhöhen sich die Reaktionszeiten und Fehlerraten. In der vorliegenden Dissertation fanden zwei weitere Paradigmen zur Untersuchung kognitiver Interferenz Anwendung: zum einen das Attentional-Blink-Paradigma (z.B. Chun, 1997; Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998; Raymond, Shapiro & Arnell, 1992) und zum anderen das Eriksen-Flanker-Paradigma (Eriksen & Eriksen, 1974; Eriksen & Schultz, 1979).

Eine typische Attentional-Blink-Aufgabe sieht die Identifikation zweier visueller Zielreize vor, die in unterschiedlicher zeitlicher Distanz inmitten einer schnellen Serie von Distraktor-Items präsentiert werden. Dabei unterscheiden sich Zielreize von Distraktoren hinsichtlich ihrer Kategoriezugehörigkeit (z.B. Buchstaben unter Ziffern), hinsichtlich einer Merkmalsausprägung (z.B. hellere Darstellung oder andere Farbe) oder es muss auf bestimmte Reize als Zielreize geachtet werden (z.B. ein „X“ unter Distraktorbuchstaben oder -zeichen). Während Probanden den ersten Zielreiz (T1) für gewöhnlich ohne Mühe erkennen, zeigen sie eine starke Beeinträchtigung in der Identifikation des zweiten Zielreizes (T2), wenn dieser innerhalb von einer halben Sekunde zum ersten auftaucht. In Anlehnung an das Blinzeln des Auges wurde dieses Phänomen „Attentional Blink“ (AB) genannt (Raymond, Shapiro & Arnell, 1992).

Ältere Modelle der selektiven Aufmerksamkeit gingen häufig von einer limitierten Aufmerksamkeitskapazität aus, welche die Überführung von Sinneseindrücken in bewusste Perzepte reguliert (z.B. Broadbent, 1971; Chun & Potter, 1995; Neisser, 1967; Raymond, Shapiro & Arnell, 1992). Neuere Arbeiten zeigen zum einen die Vielfältigkeit der zur selektiven Reizverarbeitung beitragenden Prozesse (Hillyard, Vogel & Luck, 1998), aber auch zunehmend Hinweise auf Strategieabhängigkeit und Flexibilität bei der Verteilung attentionaler Ressourcen (z.B. Shapiro, Schmitz, Martens, Hommel & Schnitzler, 2006). Darüber hinaus nimmt die Anzahl der Studien zu, die attentive Aufgabenbearbeitung mit ökologisch validen Reizen untersuchen, denen Alltagsrelevanz zukommt (Keil, Ihssen & Heim, 2006). Diese Studien betonen eher strategische Komponenten wie z.B. die graduelle Ungleichverteilung von Ressourcen in Abhängigkeit der sich wandelnden Aufgabeneigenschaften.

Die von Eriksen und Kollegen entwickelte „Flanker“-Aufgabe (Eriksen & Eriksen, 1974; Eriksen & Schultz, 1979) ist ein häufig verwendetes Paradigma zur Untersuchung von Prozessen selektiver Aufmerksamkeit. Dabei wird ein handlungsinitiierender Zielreiz von irrelevanten Ablenkreizen, sogenannten Flankern, umgeben. Ursprünglich bestand die

Aufgabe des Probanden darin, einen zentral präsentierten Buchstaben zu identifizieren. Der Zielreiz war von jeweils zwei Buchstaben flankiert, die entweder mit dem Zielbuchstaben identisch (kongruente Bedingung) oder nicht identisch (inkongruente Bedingung) waren. Ebenso wie im Stroop-Paradigma verlängerten sich die Reaktionszeiten in inkongruenten Durchgängen. Adaptationen der Eriksen Flanker-Aufgabe verwenden überwiegend Pfeile an Stelle von Buchstaben als Ziel- und Ablenkreize (z.B. Ridderinkhof & van der Molen, 1995a).

Studien mit bildgebenden Verfahren zeigen erhöhte Aktivierung in bestimmten Gehirnregionen bei Erkennung des aufgabenrelevanten Zielreizes (Corbetta & Shulman, 2002). Der mediale Frontalkortex, insbesondere das anteriore Cingulum (AC), gilt als neurales Korrelat zur Kontrolle von Aufmerksamkeitsprozessen. Studien legen nahe, dass das AC eine erhöhte Aktivität bei interferenzerzeugenden Konfliktaufgaben aufweist und dabei regulierend auf Präfrontal- und Parietalkortex wirkt (Botvinick, Braver, Barch, Carter & Cohen, 2001; Keil & Ihssen, 2004; Van Veen, Cohen, Botvinick, Stenger & Carter, 2001). In Studien mit funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) zeigte sich eine erhöhte Aktivierung im AC während der Entdeckung und Überwachung eines Konfliktes, während Teile des lateralen Präfrontalkortex eher an Prozessen der Konfliktlösung beteiligt zu sein scheinen (Botvinick, Nystrom, Fissell, Carter & Cohen, 1999).

Der Zusammenhang der drei oben beschriebenen Aufmerksamkeitsnetzwerke ist bislang nicht eindeutig geklärt. Es gibt einige Studien, die von überlappenden Strukturen und einer engen Verbindung ausgehen (z.B. Callejas, Lupianez & Tudela, 2004), während andere Studien darauf hinweisen, dass die drei Systeme als voneinander getrennt zu betrachten sind (Fan, McCandliss, Fossella, Flombaum & Posner, 2005; Fan, McCandliss, Sommer, Raz & Posner, 2002). Das Netzwerk der exekutiven Funktionen wird in Zusammenhang gebracht mit psychologischen Konstrukten wie der Fähigkeit zur effektiven Allokation von Aufmerksamkeit sowie der Steuerung und Regulation von Verhalten. Auf der Ebene der Entwicklung stehen die exekutiven Funktionen in Verbindung mit der Entwicklung von Empathie und Gewissen, der Emotionsregulation, sowie der effektiven Handlungskontrolle (Rueda, Posner & Rothbart, 2005).

1.2 Entwicklung von Aufmerksamkeit

Die Entwicklung attentionaler Ressourcen unterliegt zwischen Kindheit und Adoleszenz interindividuell unterschiedlichen Veränderungen. Es zeigen sich konsistent Hinweise auf eine kritische Rolle der psychologischen Domänen der Allokation von Aufmerksamkeit sowie der Steuerung und Regulation von Verhalten. Diese sind sowohl in der normalen als auch atypischen Entwicklung evident. Auf neurophysiologischer Ebene scheinen diese mit der Entwicklung spezifischer Strukturen zusammenzuhängen, die in Netzwerken tiefer kortikaler sowie neokortikaler Areale organisiert sind.

Zahlreiche Studien zur Entwicklung von Aufmerksamkeit berichten deutliche Leistungsunterschiede zwischen Kindern und Jugendlichen unterschiedlichen Alters (siehe z.B. Ridderinkhof & van der Stelt, 2000). Entwicklungsstudien zeigen erste Anzeichen exekutiver Aufmerksamkeitskontrolle am Ende des ersten Lebensjahres. Kindern, die jünger als 12 Monate sind, gelingt es gewöhnlich nicht, ein verstecktes Objekt an einem bestimmten Ort zu suchen, wenn man ihnen vorher beigebracht hat, das Objekt an einem anderen Ort zu suchen. Nach dem ersten Lebensjahr sind Kinder in der Lage, die zuvor gelernte und eingeübte Reaktion zu unterdrücken und durch eine neue zu ersetzen (Diamond, 1991). In einer weiteren Studie wurden Kleinkinder gebeten, eine Aufgabe zu bearbeiten, die eine Konfliktsituation zwischen Identität und Ort eines Objektes induzierte. Bei einer sogenannten „Spatial Conflict Task“ besteht die Aufgabe des Probanden darin, bei Erscheinen eines zuvor festgelegten Zielitem (z.B. ein roter Kreis) die rechte Maustaste zu drücken, während für einen zweiten Zielreiz (z.B. ein grüner Kreis) die linke Maustaste gedrückt werden muss. Erscheint der rote Kreis nun auf der rechten Bildschirmhälfte (kongruenter Durchgang) verkürzt sich die Reaktionszeit im Vergleich zu inkongruenten Durchgängen (ein grüner Kreis erscheint auf der rechten Bildschirmhälfte). Während Zweijährige nicht in der Lage waren, diese Aufgabe zu lösen, zeigten Dreijährige eine deutlich höhere Lösungsrate sowie ein dem Profil von erwachsenen Probanden ähnliches Antwortverhalten mit verlängerten Reaktionszeiten bei inkompatiblen Untersuchungsbedingungen (Gerardi-Caulton, 2000). Während Kinder mit drei Jahren (36 – 38 Monate) noch nicht in der Lage sind, eine einfach Go/NoGo Aufgabe erfolgreich zu bearbeiten, zeigen Kinder zwischen 39 und 41 Monaten die Fähigkeit zur Reaktionshemmung und eine Reaktionsverlangsamung in Folge eines Fehlers (Jones, Rothbart & Posner, 2003). Ein wichtiges Maß der Aufmerksamkeitsentwicklung ist der Distraktoreffekt. Dieser Effekt irrelevanter Stimulusdimensionen auf eine Primäraufgabe verringert sich mit steigendem Alter (Enns & Girgus, 1985). In einem beispielhaften experimentellen Design sollten Kinder, Jugendliche, junge und alte Erwachsene Veränderungen in einer Ansammlung von Quadraten erkennen. Dabei wurde zwischen der ersten und zweiten Darstellung die Far-

be jeweils eines der Quadrate verändert. Es zeigte sich, dass sowohl jüngere Kinder als auch ältere Erwachsene im Vergleich zu jungen Erwachsenen schlechtere Leistungen in der Aufgabe zeigten. Dies deutet auf einen umgekehrt u-förmigen Verlauf der beteiligten Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnisprozesse zwischen Kindheit und spätem Erwachsenenalter hin (Cowan, Naveh-Benjamin, Kilb & Sauls, 2006). Rueda und Kollegen (2004) untersuchten in einer Studie den Einfluss von Training auf die Entwicklung der exekutiven Aufmerksamkeit bei 4- und 6-jährigen Kindern. Den Kindern wurde eine Flanker-Aufgabe mit Fischen präsentiert. Fünf Fische bildeten eine Reihe, wobei nur die Blickrichtung des mittleren Fisches beachtet werden sollte (rechts oder links). Die jeweils äußeren Fische blickten entweder in die gleiche Richtung wie der mittlere Fisch (kongruente Bedingung) oder in die entgegengesetzte Richtung (inkongruente Bedingung). Die Aufgabe der Kinder war es, eine rechte oder linke Taste zu drücken, je nach dem in welche Richtung der Kopf des mittleren Fisches zeigte. Rueda et al. konnten zeigen, dass bereits ein fünftägiges Training sich in verbesserten Leistungen sowohl in Aufmerksamkeits- als auch Intelligenztests niederschlug (Rueda, et al., 2004). Die altersbedingte Entwicklung der Aufmerksamkeit wurde durch zusätzliches Training positiv beeinflusst. Gezieltes Training des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern mit einer Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) führte zu vergleichbaren Ergebnissen: die Leistungen der Kinder nach dem Training verbesserten sich sowohl in motorischen Untersuchungen als auch in den nonverbalen Standard Progressive Matrices (Klingberg, et al., 2005; Klingberg, Forssberg & Westerberg, 2002; Olesen, Westerberg & Klingberg, 2004). Auf der Ebene neuronaler Strukturen und elektrokortikaler Parameter lässt sich die Entwicklung exekutiver Aufmerksamkeitskontrolle ebenfalls abbilden. In einer weiteren Studie verglichen Rueda und Kollegen (Rueda, Posner, Rothbart & Davis-Stober, 2004) die ereigniskorrelierten Potentiale von vierjährigen Kindern und Erwachsenen während der Bearbeitung der oben beschriebenen Flanker-Aufgabe. Es zeigte sich, dass die Kongruenz von Flanker-Reizen sowohl die Amplitude als auch Latenz bestimmter evozierter Potentiale beeinflusst. Die Konfrontation mit inkongruenter Information war bei Erwachsenen mit einer Verlängerung und Erhöhung der N1-Latenz bzw. Amplitude verbunden. Amplitudenmodulationen ließen sich auch für die Komponenten N2 und P3 finden. Letztere wies zudem eine längere Latenz in inkompatiblen im Vergleich zu kompatiblen Durchgängen auf. Bei Kindern zeigten sich Konflikteffekte erst 500 ms nach dem Erscheinen des Zielreizes in einer späten Positivierung (600 – 1000 ms) sowie der späten P3 (800 – 1050 ms). Inkongruente Durchgänge evozierten eine kleinere Positivierung sowie eine größere P3-Amplitude.¹ Sensu Rueda et al. (2004) stellen die Gruppenunterschiede

¹ Im Vergleich zu Erwachsenen zeigen Kinder in der Regel höher amplitudige ereigniskorrelierte Potentiale mit häufig verlängerter Latenz (Davies, Segalowitz, & Gavin, 2004).

ein neurales Korrelat der bei Kindern beobachteten Schwierigkeiten in der Überwachung und Lösung von Konflikten bei Aufgaben dieser Art dar.

Eine Anzahl klinischer Studien im Kindes- und Jugendalter weist auf eine Dysfunktion frontaler Hirnregionen bei verschiedenen Entwicklungsstörungen hin (vgl. z.B. Tannock, 1998; Zilbovicius et al., 1995). Ein besonderes Störungsbild stellt in diesem Zusammenhang die Aufmerksamkeitsdefizit- und Hyperaktivitätsstörung (ADHS) dar. Das Verhalten von Kindern mit ADHS wird durch drei Kernsymptome beschrieben: Unaufmerksamkeit, Impulsivität und ausgeprägte Unruhe (Barkley, 1998; Döpfner, Frölich & Lehmkuhl, 2000; Saß, Wittchen, Zaudig & Houben, 1998). Albrecht und Kollegen (2008) untersuchten drei Gruppen von Kindern zwischen 8 und 15 Jahren vermittlels einer Flanker-Aufgabe. Die Kinder waren in drei Gruppen eingeteilt (1) mit einer ADHS-Diagnose (2) nicht-betroffene Geschwister der ADHS-Kinder und (3) nicht verwandte, gesunde Kontrollkinder. Es zeigte sich ein linearer Trend zwischen Reaktionszeiten und der „genetischen Nähe zu ADHS“, d.h. die Reaktionszeiten der ADHS-Kinder waren am längsten, während ihre Geschwister etwas kürzere und die gesunden nicht-verwandten Kontrollen die kürzesten Reaktionszeiten erreichten. Die ereigniskorrelierten Potentiale spiegeln diese Befunde wider: bei ADHS-Kindern zeigte sich eine reduzierte N2. Diese Reduktion war bei den Geschwisterkindern etwas weniger und bei der Kontrollgruppe am wenigsten stark ausgeprägt. Dieser Befund stützt die Annahme, dass eine größere N2-Amplitude erfolgreichere Konfliktlöseprozesse abbildet (Albrecht et al., 2008).

In einer fMRT-Studie zum Stroop-Paradigma beschreiben Bush et al. (1998) erhöhte Reaktionszeiten und einen stärkeren Interferenzeffekt bei ADHS-Patienten (22 – 47 Jahre alt) verglichen mit gesunden Kontrollpersonen. In inkongruenten Durchgängen zeigte die Kontrollgruppe im Gegensatz zur ADHS-Gruppe eine Aktivierung im anterioren Cingulum (AC) (Bush, et al., 1999). Ein weiterer Hinweis für die Bedeutung des AC bei der erfolgreichen Lösung von Aufgabeninterferenz findet sich in einer Studie von Lévesque, Beaugard und Mensour (2006). 10-jährige ADHS-Kinder wurden zufällig einer Untersuchungs- und einer Kontrollgruppe zugeordnet. Die Kinder in der Untersuchungsgruppe erhielten ein Neurofeedback-Training (vgl. Fuchs, Birbaumer, Lutzenberger, Gruzelier & Kaiser, 2003). Sie verbesserten ihre Leistungen in einer Stroop-Aufgabe nach dem Neurofeedback-Training deutlich, während die Leistungen in der Kontrollgruppe gleich blieben. Vor Durchführung des Neurofeedbacktrainings zeigte keine der beiden Gruppen eine Aktivierung des AC während der Bearbeitung inkongruenter Trials in der Stroop-Aufgabe. Nach dem Training war die AC-Aktivierung in der Untersuchungsgruppe deutlich erhöht. Ebenso wie die N2 scheint auch die Aktivierung im anterioren Cingulum mit einer erfolgreichen Konfliktlösung in Aufgaben mit kognitiver Interferenz einher zu gehen (Lévesque, Beaugard & Mensour, 2006).

Anhand der vorgestellten Studien zu unterschiedlichen Entwicklungsaspekten der exekutiven Aufmerksamkeitsfunktionen wird deutlich, wie vielschichtig und komplex dieser Begriff ist. Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich in der Konsequenz mit einem kleinen Ausschnitt bislang wenig untersuchter Komponenten der strategischen Ressourcenverteilung auf mehrere Reize und in der Zeit.

1.3 Aufmerksamkeitsdefizit-/ Hyperaktivitätsstörung (ADHS)

Die ADHS oder hyperkinetische Störung (HKS) gehört zu den häufigsten Vorstellungsgründen in der kinder- und jugendpsychiatrischen Praxis und zählt neben den Angsterkrankungen zu den häufigsten Verhaltensauffälligkeiten im Kindes- und Jugendalter (Döpfner, Schürmann & Lehmkuhl, 1999). Die unterschiedlichen Begriffe entspringen den verschiedenen Klassifikationssystemen DSM-IV („Aufmerksamkeitsdefizit-/ Hyperaktivitätsstörung“) und ICD-10 („Hyperkinetische Störung“); in der vorliegenden Arbeit wird mit Ausnahme der Erklärungen des nachfolgenden Abschnitts nur der Begriff der ADHS verwendet.

1.3.1 Diagnosekriterien nach ICD-10 und DSM-IV

Das von der WHO (Weltgesundheitsorganisation) entwickelte internationale Klassifikationssystem ICD (International Classification of Diseases, ICD-10, (Dilling, Mombour & Schmidt, 1993)) kennzeichnet die Hyperkinetische Störung durch einen frühen Beginn (vor dem 6. Lebensjahr) und durch eine „Kombination von überaktivem, wenig moduliertem Verhalten mit deutlicher Unaufmerksamkeit und Mangel an Ausdauer bei Aufgabenstellungen“ (ICD-10 Dilling, Mombour & Schmidt, 1993). Diese Symptome sollen unabhängig von der jeweiligen Situation und über die Zeit stabil auftreten. Das ICD-10 unterscheidet eine einfache Aktivitäts- und Aufmerksamkeitsstörung, eine hyperkinetische Störung des Sozialverhaltens, andere hyperkinetische Störungen und nicht näher bezeichnete Störungen.

Das zweite der beiden derzeit gültigen internationalen Klassifikationssysteme, das Diagnostic and Statistical Manual (DSM-IV, Saß et al., 1998), beschreibt drei Kernsymptome, die zur Diagnose einer Aufmerksamkeitsdefizit-/ Hyperaktivitätsstörung notwendig sind: Unaufmerksamkeit, Hyperaktivität und Impulsivität. Diese Symptome sollen bereits vor dem siebten Lebensjahr und situationsübergreifend auftreten.

Je nach Ausprägung der drei Kernsymptome unterscheidet das DSM-IV drei Typen: Ein ADHS-Mischtypus liegt vor, wenn sowohl Unaufmerksamkeit als auch Hyperaktivität und Impulsivität in einem für das Alter nicht angemessenen Ausmaß vorliegen. Außerdem unterscheidet man den vorwiegend unaufmerksamen Typus und den vorwiegend hyperaktiv-impulsiven Typus, je nachdem, welche Symptome vorherrschen (DSM-IV, Saß et al., 1998).

In beiden Systemen ist die Diagnose dann zu stellen, wenn alle drei Leitsymptome ausgeprägt sind; für die im DSM-IV beschriebenen Subtypen (vorwiegend unaufmerksam, vorwiegend hyperaktiv-impulsiv) gibt es keine Entsprechung im ICD-10. Im Unterschied

zum DSM-IV ist hier die Kodierung einer komorbid vorliegenden Störung des Sozialverhaltens möglich. Ein weiterer wesentlicher Unterschied in den Klassifikationen besteht darin, dass das DSM-IV eine nachvollziehbare psychosoziale Einschränkung, die zu sozialen oder emotionalen Problemen führt, zur Diagnose voraussetzt. Dies wird gemäß ICD-10 nicht verlangt. Die beschriebenen Unterschiede in den Diagnosevoraussetzungen der beiden Klassifikationssysteme sind maßgeblich für die variierenden Prävalenzangaben in verschiedenen Studien verantwortlich. Je nachdem, welche Richtlinien zu Grunde gelegt wurden, fallen die Prävalenzen höher (DSM-IV) oder geringer (ICD-10) aus.

1.3.2 Symptomatik

Unaufmerksamkeit: Betroffenen Kindern und Jugendlichen fällt es schwer, ihre Aufmerksamkeit beim Spielen oder beim Lösen von Aufgaben längere Zeit aufrechtzuerhalten. Sie beachten oft Einzelheiten nicht und machen dadurch vor allem bei den Hausaufgaben viele Flüchtigkeitsfehler. Anweisungen werden häufig nicht vollständig befolgt und Arbeiten oder Pflichten nicht zu Ende gebracht. Die Kinder und Jugendlichen scheinen nicht richtig zuzuhören und haben große Schwierigkeiten ihren Alltag zu organisieren. Sie verlieren häufig Gegenstände (z.B. Bücher, Stifte, Spielsachen, Hausaufgabenhefte) und sind im Allgemeinen sehr vergesslich.

Impulsivität: Kinder und Jugendliche mit einer ADHS-Symptomatik platzen häufig mit ihrer Antwort heraus, bevor die Frage zu Ende gestellt wurde. Sie können nur schwer warten, bis sie an der Reihe sind und unterbrechen andere häufig im Gespräch oder beim Spielen.

Hyperaktivität: Das Kriterium der Hyperaktivität zeichnet sich durch eine gesteigerte und nicht altersgemäße motorische Unruhe aus. Die Betroffenen zappeln häufig mit Händen und Füßen, laufen und klettern herum, wenn sitzen bleiben erwartet wird und handeln oftmals als seien sie „getrieben“. Bei Jugendlichen und Erwachsenen kann die körperliche Hyperaktivität auch auf ein inneres Unruhegefühl beschränkt sein. Hyperaktive Personen reden oftmals übermäßig viel und können sich nur sehr schwer oder gar nicht ruhig beschäftigen (vgl. DSM-IV; Saß et al., 1998).

1.3.3 Komorbide Störungen

Bei etwa zwei Dritteln der Kinder, die an ADHS leiden, liegen noch weitere, klinisch relevante Störungen vor (Biederman, Newcorn & Sprich, 1991; Jensen, Martin & Cantwell, 1997). Kinder des vorwiegend hyperaktiv-impulsiven Typus neigen im Vergleich zu solchen des vorwiegend unaufmerksamen Typus eher zu schweren komorbiden Verhaltensstörungen (Barkley, DuPaul & McMurray, 1990). Die häufigsten komorbid auf-

tretenden Störungen bei ADHS sind Störungen des Sozialverhaltens und Störungen mit oppositionellem Trotzverhalten (Döpfner, Frölich & Lehmkuhl, 2000; Eisert, 1993). Die Prognosen für Kinder mit einer komorbiden Störung des externalen Verhaltens sind im Vergleich zu den Prognosen für Kinder mit reiner ADHS schlechter; ihre Symptome sind stärker und persistenter (Barkley, 1998; Biederman, Newcorn & Sprich, 1991; Jensen, Martin & Cantwell, 1997).

Neben den externalen Verhaltensauffälligkeiten zeigen etwa 25 – 30 % der Kinder mit einer hyperkinetischen Störung zusätzlich Symptome einer depressiven Störung oder einer Angststörung (Biederman, Newcorn & Sprich, 1991; Döpfner, Frölich & Lehmkuhl, 2000; Jensen, Martin & Cantwell, 1997).

Ein weiteres häufig mit ADHS komorbid auftretendes Störungsbild ist das der Lernstörung. In zahlreichen Studien konnte gezeigt werden, dass Kinder mit ADHS schlechtere schulische Leistungen zeigen als Kontrollkinder (Biederman, Newcorn & Sprich, 1991; Jensen, Martin & Cantwell, 1997). Sie müssen öfter Klassen wiederholen, ihre Noten sind schlechter und sie erhalten häufiger Nachhilfe. Es ist jedoch im Einzelfall häufig unklar, ob die mangelnden schulischen Erfolge in einer komorbiden Lernstörung begründet liegen oder im eigentlichen Symptombild der ADHS, nämlich der Unaufmerksamkeit und der fehlenden Konzentrationsfähigkeit.

Neben den hier beschriebenen komorbiden Störungen wurden auch erhöhte Prävalenzen für komorbide Tic-Störungen, Borderline Persönlichkeitsstörungen sowie Drogen- und Alkoholmissbrauch berichtet (Biederman, Newcorn & Sprich, 1991; Jensen, Martin & Cantwell, 1997).

1.3.4 Epidemiologie

Die Auftretenswahrscheinlichkeit von ADHS scheint weitestgehend kulturunabhängig zu sein (Faraone, Sergeant, Gillberg & Biederman, 2003; Polanczyk, de Lima, Horta, Biederman & Rohde, 2007; Tannock, 1998). Die Prävalenzschätzungen für das Kindes- und Jugendalter schwanken jedoch zwischen 1% und 10% (vgl. Barkley, 1998). Diese große Diskrepanz entsteht vor allem durch die bereits in 1.3.1 beschriebenen unterschiedlichen Diagnosekriterien (ICD-10 vs. DSM-IV). Während das ICD-10 strengere Kriterien für eine Diagnose fordert und nicht zwischen verschiedenen Subtypen unterscheidet, liegen nach DSM-IV bereits schwächer betroffene Personen im Bereich einer klinischen Diagnose (Polanczyk, de Lima, Horta, Biederman & Rohde, 2007). Außerdem hängen die Prävalenzschätzungen stark von den verwendeten Diagnoseinstrumenten ab. Je nachdem, ob Lehrer oder Eltern befragt werden, ergeben sich unterschiedliche Häufigkeitsangaben von ADHS Symptomen. In einer aktuellen Metaanalyse von Polanczyk und Kollegen (2007) wird die weltweite Prävalenz bei Patienten unter 18 Jahre

mit 5,29% angegeben. Ergebnisse aus dem Kinder- und Jugendgesundheitssurvey (KiGGS) des Robert-Koch-Instituts berichten eine bundesdeutsche Prävalenzrate von 4,8% (Schlack, Hölling, Kurth & Huss, 2007). Bei etwa 30 – 50% der im Kindesalter Betroffenen persistiert die Störung – bei veränderter Symptomatik – im Erwachsenenalter (Kordon & Kahl, 2004). Während Symptome der Hyperaktivität und Impulsivität mit steigendem Alter eher geringer werden bzw. andere Ausdrucksformen annehmen (z.B. riskantes Fahrverhalten, Glücksspiel, etc.), bleiben Aufmerksamkeitsdefizite meist bestehen (Biederman, Mick & Faraone, 2000). Ebenso wie Kinder und Jugendliche mit einer ADHS-Diagnose haben auch betroffene Erwachsene ein erhöhtes Risiko, an komorbiden Störungen zu erkranken. Im Vergleich mit Kontrollpersonen leiden sie signifikant häufiger unter Depressionen oder Angststörungen. Sie sind häufiger alkohol- oder drogenabhängig und die Auftretenswahrscheinlichkeit für eine antisoziale Persönlichkeitsstörung ist erhöht (Faraone, et al., 2000). In einer aktuellen Studie befragten Faraone und Biederman (2005) eine Stichprobe von 966 Erwachsenen, von denen 2,9% die Diagnosekriterien einer ADHS im klinischen Sinne erfüllten (Faraone & Biederman, 2005).

Die Auftretenswahrscheinlichkeit ist sehr stark geschlechtsspezifisch. Es sind deutlich mehr Jungen als Mädchen betroffen. Das Geschlechterverhältnis liegt zwischen 3:1 in der Gesamtpopulation und 10:1 in klinischen Stichproben (Biederman, et al., 2002). Generell sind Mädchen weniger häufig von komorbiden Verhaltensstörungen und Depressionen betroffen als Jungen, wobei sie im Vergleich zu Jungen öfter an komorbiden Angststörungen leiden (Gaub & Carlson, 1997). Sie haben weniger Schulprobleme und kommen besser mit ihren Peers aus. Mädchen zeigen häufiger Symptome des vorwiegend unaufmerksamen Typus, während Jungen eher zum vorwiegend hyperaktiven Typus neigen (Biederman, et al., 2002; Jensen, Martin & Cantwell, 1997). Der Mischtypus liegt jedoch bei beiden Geschlechtern am häufigsten vor (Biederman, et al., 2002).

1.3.5 Ätiologische Erklärungsansätze

Obwohl die Anzahl der Untersuchungen zur Ätiologie der ADHS vor allem seit den 60er Jahren enorm zugenommen hat, sind die genauen Ursachen und Entstehungszusammenhänge bislang nicht eindeutig geklärt (Taylor, et al., 2004). Im Folgenden werden die wichtigsten und einflussreichsten ätiologischen Ansätze dargestellt.

1.3.5.1 Genetik

Aktuelle Studien zur Ätiologie der ADHS gehen von einer starken genetischen Komponente aus. Familienstudien zeigen eine familiäre Häufung der Störung selbst oder anderer

klinisch relevanter Störungen wie beispielsweise antisozialer Persönlichkeitsstörungen, Drogen- und Alkoholmissbrauch und Angst- und Affektstörungen sowohl bei Eltern als auch bei Geschwistern der betroffenen ADHS-Kinder (Biederman, Newcorn & Sprich, 1991; Goodman & Stevenson, 1989; Tannock, 1998). Die Konkordanzrate bei monozygoten Zwillingen ist laut Minnesota Twin Family Study (Sherman, Iacono & McGue, 1997) deutlich höher als bei dizygoten Zwillingen. Ebenso unterstützen Adoptionsstudien die Annahme einer genetischen Prädisposition. So treten ADHS-Symptome bei den biologischen Eltern betroffener Kinder signifikant häufiger auf als bei ihren Adoptiveltern (Biederman, Faraone & Monuteaux, 2002; Sprich, Biederman, Crawford, Mundy & Faraone, 2000).

Bei Untersuchungen bestimmter Gene, die eine wesentliche Rolle in der Entstehung von ADHS spielen könnten, sind vor allem Gene innerhalb des Dopaminsystems von Interesse (Tannock, 1998). Dies liegt zum einen daran, dass erfolgreiche Medikation (z.B. mit Methylphenidat) zur Behandlung von ADHS auf das dopaminerge sowie auf das noradrenerge System wirkt.¹ Zum anderen deuten Studien mit bildgebenden Verfahren auf Auffälligkeiten von Gehirnstrukturen hin, die durch Dopaminbahnen innerviert werden (Castellanos, et al., 2002; Tannock, 1998). Eines der momentan diskutierten Kandidatengene ist das Dopamin-Transporter-Gen (DAT). Als zweites Kandidatengen gilt das Dopaminrezeptor-Gen (D4) (Faraone, Doyle, Mick & Biederman, 2001; Gornick, et al., 2006; Taylor, et al., 1998). ADHS kann trotz einer starken genetischen Komponente nicht als gänzlich vererbare Störung gelten, da unterschiedliche Ausprägungen im Verhalten durch eine Interaktion zwischen genetischen Faktoren und Umwelteinflüssen entstehen.

1.3.5.2 Strukturelle und funktionelle Besonderheiten

Trotz einer steigenden Anzahl von Studien zu neurobiologischen und neuropsychologischen Besonderheiten der ADHS liegt kein einheitliches Modell zu Ätiologie und Aufrechterhaltung der Symptomatik vor. Neurobiologische Ursachenmodelle von ADHS weisen auf eine Dysfunktion fronto-striataler Strukturen (lateraler Präfrontalkortex, dorsales anteriores Cingulum bzw. Nucleus caudatus und Putamen) hin (vgl. Bush, Valera & Seidman, 2005). In einer Untersuchung vermittelt funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) untersuchten Rubia und Kollegen (1999) 12- bis 18-jährige Probanden während der Bearbeitung einer Stopp-Signal-Aufgabe. Die ADHS-Gruppe zeigte hier eine im Vergleich zur Kontrollgruppe geringere Aktivität im rechten mesialen und inferioren Präfrontalkortex sowie im linken Nucleus Caudatus (Rubia, et al., 1999). Bei jüngeren

¹ Methylphenidat (MPH) wirkt als Dopaminrezeptorblocker. Aufgrund der höheren Dichte an Dopaminrezeptoren im Frontalkortex von ADHS-Patienten (Biederman & Faraone, 2002) entsteht dort eine Dopaminunterfunktion, der MPH entgegenwirkt.

Probanden (9 – 16 Jahre) war eine erfolgreiche Reaktionsunterdrückung mit einer reduzierten Aktivierung im rechten inferioren Präfrontalkortex assoziiert, während eine fehlgeschlagene Inhibition mit einer verminderten Response im Praecuneus und posterioren Cingulum einherging (Rubia, Smith, Brammer, Toone & Taylor, 2005). Ähnliche fronto-striatale Strukturen vermutet Barkley (1997) als neurale Grundlage seines kognitiven Ursachenmodells für ADHS. In diesem Modell werden die drei Kernsymptome der ADHS auf mangelnde Inhibitionsprozesse zurückgeführt, die Beeinträchtigungen exekutiver Funktionen nach sich ziehen. In Folge dieser Beeinträchtigung zeigen Kinder mit ADHS Schwächen beim selbstkontrollierten Verhalten und zielgerichtetem Handeln. Castellanos und Kollegen (2002) untersuchten in einer Längsschnittstudie strukturelle Unterschiede in der Gehirnentwicklung von Kindern mit und ohne ADHS. Mit Ausnahme des Nucleus Caudatus verliefen die Wachstumskurven aller untersuchten Gehirnstrukturen bei Kindern mit und ohne ADHS parallel, das Gesamtkortexvolumen war bei ADHS-Kindern jedoch geringer. Die Autoren schließen hieraus, dass die grundlegenden Entwicklungsprozesse neuronaler Strukturen auch bei ADHS-Kindern intakt sind; strukturelle Unterschiede werden schon sehr früh genetisch oder durch Umwelteinflüsse determiniert und sind dann unveränderlich. Auch eine Medikation mit Stimulantien ändert dieses Bild nicht. Neuere Untersuchungen von Shaw et al. (Shaw, et al., 2007; Shaw, et al., 2006) zur unterschiedlichen Gehirnreifung von Kindern mit und ohne ADHS bestätigen oben genannte Befunde: Die Kortexdichte bei Kindern mit ADHS entwickelt sich im Vergleich zu gesunden Kontrollen gleichen Alters verlangsamt. Diese Verzögerung tritt am deutlichsten in präfrontalen Gehirnregionen auf, die eine große Rolle beim aufmerksamen und planvollen Handeln spielen. Shaw et al. (2007) sprechen von einer zeitlichen Verzögerung der ADHS-Kinder von etwa drei Jahren verglichen mit Gleichaltrigen. Die einzige Kortexregion, deren Reifung bei ADHS-Kindern etwas früher als bei Kontrollprobanden geschehe, sei der primäre Motorkortex. Die Kombination aus verlangsamerter Entwicklung von Arealen höherer Ordnung (z.B. Präfrontalkortex) bei gleichzeitig beschleunigter Reifung des motorischen Kortex könnte die motorische Unruhe und Ungesteuertheit als eines der Kardinalsymptome der ADHS erklären.

Neben den Untersuchungen zu strukturellen Unterschieden in der Gehirnentwicklung von Kindern mit und ohne ADHS liegen auch zahlreiche Studien mittels Elektroenzephalographie vor. Das Elektroenzephalogramm (EEG) bietet die Möglichkeit einer hohen zeitlichen, aber sehr schlechten räumlichen Auflösung und eignet sich deshalb eher für funktionelle Fragestellungen. Relativ konsistente Befunde ergeben sich bezüglich der „slow wave“ Aktivierung bei ADHS- und Kontrollkindern. In den meisten Studien zeigen Kinder mit ADHS im Vergleich zu gleichaltrigen, gesunden Kindern eine erhöhte Theta-

Wellen Aktivierung (Theta-Power). Generell scheinen die Unterschiede beim kombinierten Typus deutlicher zu sein als beim vorwiegend unaufmerksamen Typus. Studien, die das Verhältnis zwischen Theta- und Alpha- bzw. Theta- und Beta-Wellen zum Untersuchungsgegenstand hatten, finden ebenfalls Unterschiede zwischen Kindern mit und ohne ADHS; die Befundlage ist allerdings weniger einheitlich als für die Theta-Power (siehe Übersichtsartikel von Barry, Clarke & Johnstone, 2003).

Aus den oben beschriebenen Befunden lassen sich zwei unterschiedliche Modelle ableiten: zum einen das Modell einer zeitlich verzögerten Gehirnentwicklung und zum anderen das Modell einer strukturellen, über die Zeit stabilen Abweichung. Beide Modelle können jeweils nur einen Teil der Befunde erklären. So ist die Annahme der verzögerten Reifung konsistent mit dem Rückgang der hyperaktiven und impulsiven Symptome im Jugendlichen- und Erwachsenenalter und wird unterstützt durch die reduzierte Beta-Aktivierung im Kindesalter, die sich in der Adoleszenz bereits wieder deutlich normalisiert. Unerklärt bleibt in diesem Modell die Persistenz der Unaufmerksamkeit und Konzentrationsschwäche bis ins Erwachsenenalter hinein. Dies wiederum kann durch die Annahme einer grundlegenden Gehirnanomalie erklärt werden und wird unterstützt durch die erhöhte Theta-Power, die auch bei erwachsenen Probanden noch nachgewiesen werden konnte (Barry, Clarke & Johnstone, 2003).

1.3.5.3 Psychosoziale Faktoren

Im Vergleich zu den deutlichen Hinweisen auf biologische Ursachen als ausschlaggebend für die Entstehung von ADHS spielen psychosoziale Faktoren eher eine untergeordnete Rolle. Obwohl sich Zusammenhänge zwischen elterlichem Erziehungsverhalten, negativen Mutter-Kind-Interaktionen, Eheproblemen der Eltern etc. und einer kindlichen ADHS-Symptomatik zeigen lassen, ist die Richtung von Ursache und Wirkung sehr umstritten (Barkley, 1997; Döpfner, Frölich & Lehmkuhl, 2000). Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass die zuerst vorhandene kindliche Symptomatik die familiären Schwierigkeiten als Folge auslöst. Vor dem Hintergrund einer starken biologischen Komponente der Störung muss davon ausgegangen werden, dass die Eltern selbst eine gewisse ADHS Verhaltensproblematik zeigen, und Genetik und Umwelt hier untrennbar miteinander interagieren (Barkley, 1997). Allerdings spielen psychosoziale Faktoren bei der Ausprägung und dem Schweregrad der Störung sehr wohl eine modulierende Rolle, d.h. bei gleicher genetischer Vulnerabilität können durch verschiedene Umwelteinflüsse unterschiedliche Phänotypen entstehen. Außerdem ist das Risiko, komorbide Störungen des Sozialverhaltens oder antisoziale Persönlichkeitsstörungen zu entwickeln bei negativen Umweltbedingungen deutlich erhöht (Barkley, Fischer, Smallish & Fletcher, 2004; Döpfner, Frölich & Lehmkuhl, 2000). In zahlreichen Studien ließ sich außerdem zeigen, dass in

Folge einer Behandlung mit Psychostimulantien und damit verbundenen Verbesserungen der kindlichen Symptomatik auch die negativen Mutter-Kind-Interaktionen und andere negative Familieninteraktionen nachlassen (Barkley, 1997; Barkley, 1998; Biederman, Mick & Faraone, 2000).

Insgesamt ist bei der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung von einer multikausalen Genese auszugehen. Grundlegend scheinen hierbei physiologische Veränderungen im Neurotransmitterstoffwechsel sowie strukturelle und funktionelle Entwicklungsverzögerungen bzw. Abweichungen in verschiedenen Regionen des Kortex zu sein. Psychosoziale Faktoren werden als nicht ursächlich betrachtet, können aber einen erheblichen Einfluss auf den Verlauf der Störung nehmen.

2 Experiment I

In Experiment I werden Kinder der ersten bis zur zehnten Schulklasse (Studie 1a und 1b) sowie eine Gruppe von aufmerksamkeitsgestörten Kindern (Studie 1c) mit dem Attentional-Blink-Paradigma untersucht. Ihre Leistungen werden hinsichtlich Bearbeitungsprofil und Erkennungsrate in verschiedenen Altersgruppen miteinander verglichen und zur kognitiven Leistungskapazität in Beziehung gesetzt.

2.1 Theoretischer Überblick

2.1.1 Attentional Blink

In der Literatur zur Untersuchung visuell-zeitlicher Aufmerksamkeitsallokation rückte im Verlauf der letzten Dekade zunehmend ein Aufgaben-Paradigma in den Mittelpunkt: das sogenannte „Attentional Blink“ Design. Ein typisches Attentional-Blink-Design erfordert die Identifikation zweier visueller Zielreize, die in einer „Rapid-Serial-Visual-Presentation“-Sequenz und unterschiedlicher zeitlicher Distanz zueinander präsentiert werden. Die Darbietungsgeschwindigkeit kann acht bis zwölf Items pro Sekunde betragen. Raymond et al. (1992) konnten in einer Reihe von Untersuchungen zeigen, dass der zweite Zielreiz (T2) nur mit Mühe detektiert oder erkannt wird, wenn er innerhalb einer halben Sekunde auf den ersten Zielreiz (T1) folgt. Wenn Versuchspersonen instruiert werden, den ersten Zielreiz zu ignorieren, zeigt sich der typische Leistungseinbruch bei der T2-Erkennung in den kurzen T1-T2-Intervallen nicht (Raymond, Shapiro & Arnell, 1992). Dieser Befund unterstützt die Annahme, dass der Attentional Blink Effekt in Zusammenhang mit der Verarbeitung von T1 steht. Erklärungsmodelle zum Attentional Blink lassen sich unterscheiden in Interferenz-Theorien und „Bottleneck“-Theorien (McLaughlin, Shore & Klein, 2001). Gemeinsam ist beiden die Annahme, dass limitierte Kapazitäten in der Verarbeitung schnell dargebotener Reize für das Leistungsdefizit im Attentional Blink verantwortlich sind.

In die Gruppe der Interferenz-Modelle lässt sich zum einen das Inhibitionsmodell von Raymond et al. (1992) einordnen, das von einem „Attentional Gate“ ausgeht, welches nach Erscheinen des ersten Zielreizes (T1) für etwa 450ms geschlossen bleibt und somit den Beginn einer neuen Aufmerksamkeitsperiode verzögert. Wird der zweite Zielreiz (T2) in dieser kritischen Periode präsentiert, so kann er in der Regel nicht berichtet werden. Die Weiterentwicklung dieses ursprünglichen Attentional-Blink-Modells stellt das „Similarity Modell“ von Shapiro et al. (1994) dar. Hier werden alle präsentierten Reize bis zu einem gewissen Grad verarbeitet und mit einer internen Schablone für die Zielreize T1

und T2 verglichen. Nur Items, die den Schablonen entsprechen bzw. ihnen am ähnlichsten sind, werden im visuellen Kurzzeitgedächtnis weiter verarbeitet. Dessen Kapazität gilt jedoch als begrenzt. Reize, die zeitnah zu T1 erscheinen, können also häufig nicht verarbeitet werden, da dessen Verarbeitung noch nicht vollständig abgeschlossen ist. Beim Zwei-Stufen-Modell von Chun & Potter (1995) handelt es sich um ein Modell nach der Flaschenhalstheorie. Auf einer ersten Stufe wird jedes der präsentierten Items präattentiv verarbeitet. Die kognitiven Repräsentationen sind aber sehr anfällig für Interferenz und die einzelnen Items werden schnell durch nachfolgende Items überschrieben. Auf der zweiten Stufe findet dann eine Selektion der aufgabenrelevanten Reize statt. Es können maximal zwei Items verarbeitet werden, das bedeutet Zielreiz 1 (T1) und der nachfolgende Reiz (T1+1) werden gemeinsam verarbeitet. Wenn die Präsentation von Zielreiz 2 (T2) in diesen Verarbeitungszeitraum fällt, besteht die Gefahr, dass T2 nicht auf höherer Ebene verarbeitet werden kann, weil die Aufmerksamkeitsressourcen noch mit der Verarbeitung von T1 okkupiert sind (Chun & Potter, 1995). Ein weiteres Erklärungsmodell aus der Gruppe der Flaschenhalstheorien ist das Zentrale-Interferenz-Modell von Jolicoeur (1998). Es erklärt die Defizite im Attentional Blink durch defizitäre Konsolidierung des T2 im Kurzzeitgedächtnis, wo die eintreffenden Reize nur seriell verarbeitet werden können und bei kurzem Abstand zum ersten Zielreiz nicht ausreichend Kapazitäten zur Verarbeitung des zweiten Zielreizes zur Verfügung stehen.

In einer aktuellen Studie zur Untersuchung elektrokortikaler Parameter, die in Zusammenhang mit dem AB-Effekt stehen, fanden Ptito et al. (2008) eine verspätete und verringerte P3-Komponente auf den zweiten Zielreiz (Ptito, Arnell, Jolicoeur & Macleod, 2008). Die P3-Komponente wird in Zusammenhang mit der bewussten Verarbeitung selten auftretender Reize gebracht und gilt als ein Maß für die Reizkategorisierung und Reaktionsauswahl. In einer Studie von Vogel & Luck (2002) zeigte sich eine reduzierte P3-Amplitude nur, wenn auf den zweiten Zielreiz noch maskierende Distraktorreize folgten, was auch mit einer verringerten Erkennungsrate einherging. Die Autoren fanden jedoch auch in Durchgängen, in denen T2 nicht maskiert und korrekt berichtet wurde eine P3-Verzögerung. Dies interpretierten sie im Sinne der Flaschenhalstheorie: die zentrale Verarbeitung des zweiten Zielreizes verzögert sich, solange T1 noch nicht vollständig verarbeitet ist. Wenn T2 nicht von einem weiteren Reiz überlagert wird, gelingt die bewusste Verarbeitung. Folgen jedoch ein oder mehrere Distraktorreize, wird die Information überschrieben und T2 kann nicht berichtet werden (Vogel & Luck, 2002).

Neuere Erklärungsmodelle (Keil, Ihssen & Heim, 2006; Nieuwenhuis, Gilzenrat, Holmes & Cohen, 2005; Shapiro, Schmitz, Martens, Hommel & Schnitzler, 2006) gehen davon aus, dass strategische Komponenten wie die Ungleichverteilung von oder der Wettstreit um Ressourcen Ursache der defizitären Detektionsleistungen sind. In einer Studie zum Zu-

sammenhang zwischen T1- und T2-Erkennungsleistung in einem kurzen Blink-Intervall versus einem langen Intervall außerhalb des Blinkbereichs konnten Shapiro et al. (2006) zeigen, dass die Leistung bei der T2-Erkennung im kurzen Lag maßgeblich von der individuellen Strategie der Ressourcenverteilung abhängt. In Durchgängen, in denen beide Zielreize korrekt wiedergegeben werden konnten, wurde im Magnetoenzephalogramm eine geringere Aktivierung während des Erkennens des ersten Zielreizes sichtbar. Eine höhere T2-Erkennungsleistung geht also mit einer verminderten Ressourcenverwendung für die Erkennung des ersten Zielreizes einher.

Eine Reduktion des AB-Effektes zeigt sich bei T2-Reizen erhöhter Salienz; dies ist beispielsweise der Fall, wenn der Name der Versuchsperson (Shapiro, Caldwell & Sorensen, 1997) oder affektiv erregendes Wortmaterial (Keil & Ihssen, 2004) als T2 fungiert. In nahezu der Hälfte aller Studien lässt sich beobachten, dass die Detektionsleistung ebenfalls ansteigt, wenn beide Zielreize T1 und T2 unmittelbar aufeinander folgen; man spricht dann vom Phänomen des „Lag-1 Sparing“ (Potter, Chun, Banks & Muckenhoupt, 1998). Lag-1-Sparing tritt gehäuft auf, wenn T1 und T2 der gleichen Kategorie angehören (Di Lollo, Kawahara, Shahab Ghorashi & Enns, 2005). Man geht davon aus, dass das visuelle System auf die Charakteristika der Zielreize (z.B. eine bestimmte Farbe) vorbereitet ist und bei einem direkt auf T1 folgenden zweiten Zielreiz nicht neu konfiguriert werden muss. Das bedeutet, dass T1 und T2 beide erfolgreich verarbeitet werden können; dies ist nicht der Fall, wenn ein oder mehrere Distraktor-Items zwischen T1 und T2 dargeboten werden. Eine alternative Interpretation wird durch die Metapher des Aufmerksamkeitsstores beschrieben (vgl. Attentional-Gate-Theorie nach Raymond et al., 1992), das bei Erscheinen des ersten Zielreizes T1 geöffnet wird, sich dann aber so langsam schließt, dass ein direkt darauf folgender zweiter Zielreiz ebenfalls passieren kann und somit beide Reize verarbeitet werden können (Chun & Potter, 1995; Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998; Shapiro, Raymond & Arnell, 1994).

Marois und Kollegen (Marois, Yi & Chun, 2004) gingen in ihrer Studie der Frage nach, welche neuronalen Strukturen an der Bearbeitung einer Attentional-Blink-Aufgabe beteiligt sind und fanden kognitive Modelle der mehrstufigen Verarbeitung bestätigt: Während sowohl bei korrekt identifizierten als auch bei nicht oder falsch erkannten T2-Reizen eine Aktivierung im medialen Temporalkortex deutlich wird, zeigt sich in frontalen Gehirnarealen nur bei bewusster Verarbeitung und anschließender Wiedergabe der Reize eine Aktivierung. Der Unterschied zwischen berichteten und nicht-berichteten Targets wird neuronal erst auf höherer Verarbeitungsebene deutlich; Aktivität im medialen Temporalkortex spiegelt die Verarbeitung visueller Information generell wider, während der Frontalkortex nur bei bewusstem Erkennen des Reizes Aktivierung zeigt.

In Untersuchungen mit visuellem Reizmaterial tritt der AB-Effekt stärker und robuster auf, als in Studiendesigns mit auditiven oder taktilen Stimuli. Der visuelle AB-Effekt lässt sich schon in den niederen spezifischen Hirnregionen nachweisen; Ressourcenwettbewerb beginnt schon im visuellen Kortex. In einer fMRT-Studie von Hein und Kollegen (2009) korrelierte die reduzierte Erkennungsrate des zweiten Zielreizes mit einer verminderten Aktivierung in den retonotop organisierten Kortexarealen (Hein, Alink, Kleinschmidt & Müller, 2009). Eine verminderte oder fehlerhafte Verarbeitung visueller Reize bereits im visuellen Kortex führt also zu einer verminderten T2-Identifikationsrate (bottom-up). Eine alternative Erklärung wäre die mögliche Veränderung der Aktivierung früher kortikaler Areale auf Grund von Feedbackprozessen aus höheren Verarbeitungsgebieten (top-down).

Gross und Kollegen (2004) beschreiben ein Netzwerk aus frontalen, parietalen und visuellen Hirnregionen, die alle an der Identifikation von Buchstaben beteiligt sind. Sie konnten zeigen, dass eine erfolgreiche Zielreizerkennung sich nicht in einem hierarchischen Modell abbilden lässt, sondern von der gleichzeitigen Aktivierung reizspezifischer und reizunspezifischer Areale abhängt (Gross et al., 2004).

Bislang liegen überwiegend Attentional-Blink-Untersuchungen mit erwachsenen Probanden vor (z.B. Anderson & Phelps, 2001; Chun, 1997; Gross et al., 2004; Keil & Ihssen, 2004; Soto-Faraco & Spence, 2002). Über das Bearbeitungsprofil bei Kindern ist noch wenig bekannt. Heim und Kollegen (2006) setzten sich in einer Studie mit dem Zusammenhang zwischen der Doppelaufgaben-Interferenz und Lese-Rechtschreibleistungen bei Kindern im frühen Sekundarschulalter auseinander. Ein größeres Ausmaß an Lag-1 Sparing ging einher mit einer besseren Lese- und Rechtschreibperformanz. Eine höhere Geschwindigkeit beim Vorlesen sinnarmer Pseudowörter war dagegen mit einer stärkeren Attentional-Blink-Interferenz assoziiert. Dies impliziert, dass kontrollierte Prozesse, wie sie beim synthetischen Lesen von unbekanntem lexikalischen Einheiten erforderlich sind, stärker von der Fokussierung auf einen ersten Zielreiz zu Lasten nachfolgender Ereignisse profitieren. Hingegen profitieren automatisierte Prozesse (Lesen und Schreiben vertrauten Materials) mehr von einer generell größeren Aufmerksamkeitskapazität.

2.1.2 Attentional Blink in klinischen Stichproben

Das oben beschriebene Attentional-Blink-Design erweist sich in Untersuchungen mit klinischen Populationen als sensitiv bei der Detektion von Auffälligkeiten selektiver Aufmerksamkeitsprozesse. Anderson und Phelps (2001) wiesen nach, dass gesunde Probanden Wörter aversiven Gehalts besser detektieren können als neutrale Wörter. Dieser Vorteil war bei Patienten mit linksseitiger oder bilateraler Läsion der Amygdala nicht nachweisbar.

Einige Studien verwendeten das AB-Design, um visuell-zeitliche Aufmerksamkeitsprozesse bei verschiedenen Entwicklungsstörungen zu beschreiben. Beispielsweise gingen Visser und Kollegen (2004) der Frage nach, ob mögliche Gruppenunterschiede in der AB-Aufgabe durch Entwicklungsfaktoren oder das Leseniveau mediiert werden. Kinder mit Dyslexie (12 Jahre), eine Alterskontrollgruppe sowie eine um drei Jahre jüngere, nach dem Lesealter parallelisierte Kontrollgruppe sollten geometrische Figuren in einem Strom von „Random-Dot“-Distraktoren identifizieren. Dabei wies die Dyslexiegruppe im Vergleich zu den Alterskontrollkindern eine geringere Identifikationsleistung auf. Das Performanzprofil der jüngeren Kontrollgruppe war dem der Dyslexiegruppe ähnlich. In keiner der letztgenannten Gruppen traten Effekte des Lag1-Sparings auf. Die Ähnlichkeit der Leistungen von Kindern gleichen Lese- aber unterschiedlichen Lebensalters impliziert, dass Defizite in der Bearbeitung einer AB-Aufgabe bei Dyslexie mit einer verzögerten Entwicklung assoziiert sind. Hari und Mitarbeiter (1999) präsentierten erwachsenen Probanden mit Dyslexie Serien schwarzer Disktraktorbuchstaben, in die jeweils ein weißer Zielbuchstabe als T1 und ein schwarzes „X“ als T2 eingebettet waren. Die Darbietungsfrequenz betrug 9,4 Hz. Eine Detektionsleistung von 75% wurde von der Dyslexiegruppe bei einem Inter-Target-Intervall von 700 ms erzielt, während Kontrollprobanden dies bereits bei 540 ms erreichten. Gemäß den Autoren deutet dies auf einen um ca. 30% verlängerten AB bei Dyslektikern hin. Ein konträres Befundmuster legt jedoch die Arbeit von Lacroix et al. (2005) nahe. Hier zeigten normal-lesende Jugendliche eine schlechtere Performanz als dyslektische Probanden gleichen Alters.

In einer Untersuchung zum AB bei 10-jährigen Kindern mit und ohne Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) berichten Li und Kollegen (2004) von einem vergleichbaren Reaktionsprofil beider Gruppen, allerdings zeigte sich der AB-Effekt bei ADHS-Kindern stärker und trat über ein längeres Zeitintervall auf. Ihre Leistungen in den Inter-Target-Intervallen 1 und 2 (100 ms bzw. 200 ms SOA) entsprachen denen der Kontrollgruppe, bei den übrigen vier Intervallen (zwischen 300 ms und 600 ms) detektierten ADHS-Kinder vergleichsweise weniger T2 -Reize (Schriftzeichen). Des Weiteren wiesen ADHS-Kinder mit einer komorbiden Lernstörung eine schlechtere, vom Inter-Target-Intervall unabhängige, Performanz auf als ADHS-Kinder mit normal ausgeprägten Lese-Rechtschreibfähigkeiten.

Mason, Humphreys und Kent (2005) untersuchten, ob Kinder mit einer ADHS einen stärkeren oder zeitlich versetzten Blink im Vergleich zu einer Kontrollgruppe aufweisen. Die Gruppen unterschieden sich nicht hinsichtlich der erwarteten Interferenzeffekte. Allerdings waren die ADHS-Kinder der Interferenz durch saliente Distraktorreize in höherem Maße ausgesetzt.

In der Zusammenschau legen diese Studien nahe, dass Defizite in der zeitlichen Aufmerksamkeitsallokation weniger qualitative als quantitative Entwicklungsprobleme widerspiegeln.

2.1.3 Ziele und Fragestellungen in Experiment I

Basierend auf dem Literaturüberblick zur Entwicklung von neuronalen Strukturen und kortikalen Prozessen der Aufmerksamkeit sowie empirischen Untersuchungen unterschiedlicher Aufmerksamkeitsphänomene vor allem bei erwachsenen Probanden werden in Experiment I Entwicklungsprozesse und altersbedingte Leistungsunterschiede bei Kindern und Jugendlichen in einer Attentional-Blink-Aufgabe untersucht.

Die Bearbeitung einer Attentional-Blink-Aufgabe erfordert die Zuwendung attentionaler Ressourcen zu relevanten Zielreizen, während aufgabenirrelevante Distraktorreize nicht beachtet werden sollen. Die Präsentation der Reize erfolgt innerhalb einer schnellen seriellen Darbietung, so dass die erfolgreiche Bewältigung der Aufgabe von einer effektiven und schnellen Aufmerksamkeitsallokation, dem Ausblenden ablenkender Reize sowie der strategischen Einteilung kognitiver Ressourcen abhängt (Shapiro, Schmitz, Martens, Hommel & Schnitzler, 2006).

Diese Fähigkeiten werden den exekutiven Aufmerksamkeitsfunktionen zugeschrieben, die sich im Laufe der Kindheit und Jugend bis ins junge Erwachsenenalter verändern und maßgeblich mit der Reifung des Frontalkortex in Zusammenhang gebracht werden (Botvinick, Nystrom, Fissell, Carter & Cohen, 1999).

In Experiment I soll der Prozess der Aufmerksamkeitsallokation und der Zuteilung von Aufmerksamkeitsressourcen in seiner Entwicklungstrajektorie bei gesunden und entwicklungsauffälligen Kindern und Jugendlichen abgebildet werden.

In einer ersten Studie (1a) bearbeiten Schüler der zweiten bis zur zehnten Schulklasse verbale und non-verbale Attentional-Blink-Aufgaben. Die Ergebnisse sollen Aufschluss darüber geben ob und ab welchem Alter sich das Bearbeitungsprofil sowie die Erkennungsrate von Kindern und Jugendlichen denen von erwachsenen Probanden angleichen. Basierend auf kortikalen Reifungsprozessen wird von einer mit zunehmendem Alter steigenden Erkennungsrate sowie einem mehr und mehr ausgereiften Attentional-Blink-Profil ausgegangen. Die Altersabhängigkeit der Ergebnisse sollte sich deutlicher in der AB-Aufgabe mit verbalem Stimulusmaterial zeigen. Diese Annahme gründet in Studien mit bildgebenden Verfahren, die eine verzögerte Entwicklung des linkshemisphärischen phonologischen Systems im Vergleich zum rechtshemisphärischen visuo-spatialen Aufmerksamkeitssystem nahe legen (Adleman et al., 2002; Kwon, Reiss & Menon, 2002). In einem weiteren Schritt soll der Zusammenhang zwischen der Fähigkeit zur schnellen

zeitlichen Aufmerksamkeitsallokation wie sie im Attentional Blink erfasst wird und der nonverbalen kognitiven Leistungskapazität betrachtet werden.

Da die verbale AB-Aufgabe, wie sie in Studie 1a Anwendung findet, eine basale Lesefähigkeit voraussetzt, werden Schüler der ersten Klasse, die am Beginn ihrer schulischen Laufbahn stehen, in einer weiteren Untersuchung (Studie 1b) mittels einer altersadaptierten verbalen Attentional-Blink-Aufgabe untersucht. Die übrigen Untersuchungen entsprechen denen für die älteren Studienteilnehmer. Die Entscheidung, die Untersuchung auch mit jüngeren Kindern durchzuführen ergibt sich aus der Fragestellung, ab wann Kinder ein typisches Attentional-Blink-Bearbeitungsprofil aufweisen und wie sich die Erkennungsrate für den ersten und zweiten Zielreiz entwickelt.

In einem letzten Schritt werden Verarbeitungsstil und Leistungskapazität einer Gruppe von Kindern mit defizitären Aufmerksamkeitsfunktionen (Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung, ADHS) mit denen entwicklungsunauffälliger Gleichaltriger verglichen. Die Kortexdichte bei Kindern mit ADHS entwickelt sich im Vergleich zu gesunden Kontrollen gleichen Alters verlangsamt. Diese Verzögerung tritt am deutlichsten in präfrontalen Gehirnregionen auf (Shaw, et al., 2007), die für die erfolgreiche Bearbeitung von Attentional-Blink-Aufgaben eine große Rolle spielen. Entsprechend dieser Befunde ist davon auszugehen, dass die ADHS-Gruppe in den AB-Aufgaben ein Performanzprofil zeigt, das dem der jüngeren Kontrollkinder am ehesten ähnelt.

2.2 Allgemeine Methoden

Im Folgenden werden die Probandengruppen sowie ihre Aufgaben in den Studien 1a – c beschrieben. Alle Abweichungen und studienspezifischen Angaben sind gesondert im Zusammenhang der jeweiligen Studie angegeben.

2.2.1 Versuchsteilnehmer

An den Studien 1a und 1b nahmen insgesamt 193 gesunde Kinder (102 Mädchen und 91 Jungen) zwischen sechs und 16 Jahren teil, die über Grund- und weiterführende Schulen in Konstanz rekrutiert wurden. Die Kinder besuchten die 1. bis 10. Schulklasse und sprachen Deutsch als Muttersprache. Gemäß Auskunft der Eltern litt keiner der Probanden an Entwicklungsstörungen (insbesondere Legasthenie und ADHS), psychiatrischen oder neurologischen Erkrankungen. Alle Probanden besaßen einen normalen oder korrigierten Visus. Wegen der raschen Reizabfolge im Attentional-Blink-Paradigma wurden nur anfallsfreie Kinder mit einer negativen Familiengeschichte für Epilepsie untersucht.

Die Probandengruppe für Studie 1c setzte sich zusammen aus 29 Kindern mit einer diagnostizierten Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS), die ansonsten die oben beschriebenen Kriterien erfüllten. Als Kontrollgruppe diente eine nach Alter und kognitiver Leistungsfähigkeit parallelisierte Auswahl gesunder Kinder aus Studie 1a. Die klinische Gruppe der ADHS-Kinder wurde in Zusammenarbeit mit dem Sozialpädiatrischen Zentrum in Konstanz rekrutiert.

Vor dem Beginn der Untersuchungen gaben alle Eltern ihr schriftliches Einverständnis für die Teilnahme. Im Anschluss an die Untersuchung erhielt jedes Kind einen Kino- oder Einkaufsgutschein, die Eltern erhielten eine kurze Information über das Gesamtergebnis der Studie. Die Studien befolgten die Empfehlungen der Helsinki-Deklaration und wurden von der Ethikkommission der Universität Konstanz bewilligt.

2.2.2 Durchführung

Alle Kinder bearbeiteten jeweils vier Aufgaben (siehe Tabelle 1): eine verbale und eine nonverbale Aufgabe zum Attentional Blink, sowie zur Erfassung allgemeiner kognitiver Leistungsfähigkeiten die Standard bzw. Coloured Progressive Matrices von Raven (SPM, Heller et al., 1998 bzw. CPM, Raven et al., 2002) und den Subtest „Zahlennachsprechen“ des Hamburg-Wechsler Intelligenztests für Kinder (HAWIK-III Tewes, Rossmann & Schallberger, 1999). Die Untersuchung wurde als Einzelexperiment durchgeführt und dauerte inklusive Pausen jeweils zwischen 1,5 und 2 Stunden. Die Abfolge der beiden AB-Aufgaben wurde über alle Versuchsteilnehmer gegenbalanciert.

Tabelle 1: Reihenfolge der durchgeführten Untersuchungen

1.	Attentional Blink Aufgabe (verbal bzw. nonverbal)
2.	CPM (1. und 2. Klasse) bzw. SPM (3. – 10. Klasse)
3.	Zahlennachsprechen nach HAWIK-III
4.	Attentional Blink Aufgabe (nonverbal bzw. verbal)

2.2.3 Attentional Blink Aufgaben

Aufgabe der Probanden in den beiden AB-Aufgaben war es, die jeweils grün dargestellten Zielreize (T1 und T2) in einer Abfolge von weißen Distraktorreizen zu identifizieren. Dabei wurden die Reize gemäß eines Rapid-Serial-Visual-Presentation-Paradigmas mit einer Darbietungsfrequenz von 8,6 Hz mittels der Software „Presentation“ (Neurobehavioral Systems, Inc., Albany, CA) vor einem schwarzen Hintergrund präsentiert. Die Reize spannten einen zentralen vertikalen Sehwinkel von $0,82^\circ$ auf und ihre Leuchtdichte betrug 24.9 cd/m^2 . Jeder Zyklus enthielt eine kurze Item-Darbietung von 50 ms und einen darauf folgenden leeren Bildschirm von 66 ms. Das Inter-Target-Intervall (Stimulus-Onset-Asynchronizität, SOA) variierte zwischen 116 ms (kein Distraktorreiz zwischen T1 und T2, Lag 1), 232 ms (1 Distraktorreiz zwischen T1 und T2, Lag 2), 348 ms (2 Distraktoren zwischen T1 und T2, Lag 3), 580 ms (4 Distraktoren zwischen T1 und T2, Lag 5) und 928 ms (7 Distraktoren zwischen T1 und T2, Lag 8). Um einen Erwartungseffekt bezüglich des Erscheinens von T1 zu vermeiden, begann jeder Durchgang mit einer randomisierten Anzahl von 5 bis 25 Distraktorreizen. Nach dem zweiten Zielreiz folgten noch weitere zehn Distraktoren. Die Aufgabe gliederte sich in zwei Blöcke à 50 Trials (5 Lags x 20 Trials); dazwischen machten die Kinder eine kurze Pause. Der Ablauf eines Durchgangs für die verbale und nonverbale AB-Aufgabe ist exemplarisch in Abbildung 1 und 2 dargestellt. Beide AB-Aufgaben begannen mit jeweils fünf Probedurchgängen, um die Kinder mit der Aufgabe vertraut zu machen und sicherzustellen, dass sie die Instruktionen verstanden hatten. Für die Datenanalyse wurde der Prozentsatz korrekt identifizierter Ziel-Items in Abhängigkeit des Inter-Target-Intervalls ermittelt. Bei der Bestimmung der Genauigkeit der T2-Antworten wurden nur Durchgänge mit korrekt wiedergegebenen T1-Reizen berücksichtigt. Für die durchschnittliche T1-Erkennung wurde ein Cut-off-Kriterium von 65% festgelegt, was in etwa einer Erkennungsrate von einer Standardabweichung unterhalb der durchschnittlichen T1-Erkennung entspricht. Die Daten derjenigen, die dieses Kriterium nicht erreichten, wurden aus der statistischen Analyse ausgeschlossen.

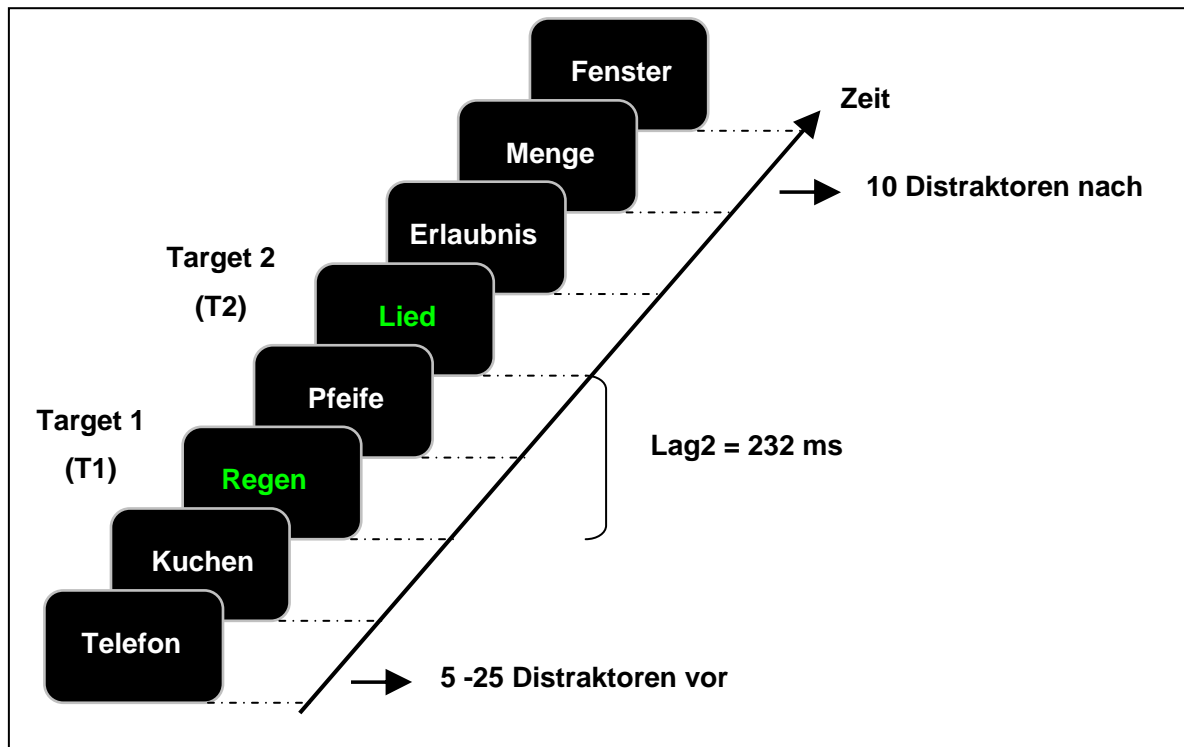


Abbildung 1: Beispiel für einen Durchgang in der verbalen Attentional Blink Aufgabe in der Gruppe der 5.- und 6.-Klässler für Lag 2 (ein Distraktorreiz zwischen T1 und T2, SOA = 232 ms).

2.2.3.1 Verbal-AB

In der verbalen Aufgabe wurden Buchstaben bzw. affektiv neutrale Substantive als Reizmaterial verwendet. Um einen möglichst hohen Vertrautheitsgrad der Stimuli zu erreichen, wurden für die Schüler der Klassen zwei bis zehn Substantive aus dem Wortschatz der jeweils vorangegangenen Klassenstufen ausgewählt (siehe Tabelle 3). Buchstaben sollten einen vergleichbaren Vertrautheitsgrad in der jüngsten Gruppe der Erstklässler gewährleisten. Zur Überprüfung der Bekanntheit der Zielwörter bzw. -buchstaben musste jeder Teilnehmer vor Beginn der Aufgabe eine Liste der Targets laut vorlesen. Aufgrund massiver Leseschwierigkeiten konnte die verbale AB-Aufgabe bei sechs Kindern nicht durchgeführt werden. Die Wörter (2. – 10. Klasse, Studie 1a) wurden in der Schriftart Times New Roman 28 präsentiert, die Buchstaben (1. Klasse, Studie 1b) waren als Großbuchstaben in Times New Roman 36 dargestellt. Nach jedem Durchgang berichteten die Kinder der Versuchsleiterin, welche Wörter bzw. Buchstaben sie erkennen konnten

und starteten den nächsten Durchgang eigenständig. Dadurch wurde gewährleistet, dass sie bei Beginn jedes Trials ihre Aufmerksamkeit auf den Bildschirm gerichtet hatten.

2.2.3.2 Symbol-AB

In der nonverbalen AB-Aufgabe wurden als Reizmaterial Symbole eingesetzt. Skizzen von Transportmitteln (Flugzeug, Auto, Schiff) dienten als Target 1, geometrische Figuren (Dreieck, Kreis, Quadrat) als Target 2. Die Distraktoren bestanden ebenfalls aus geometrischen Figuren und Formen der Schriftart „SPSS Marker Set“ (True Type). Die Präsentation erfolgte hier in der Schriftart Arial 40, um eine vergleichbare Größe von verbalem und nonverbalem Reizmaterial zu erreichen. Beim Symbol-AB wählten die Kinder ihre Antworten nach jedem Durchgang per Mausclick aus jeweils drei vorgegebenen Möglichkeiten. Darbietungsfrequenz, Länge der SOA und Anzahl der Durchgänge entsprechen dem methodischen Design der verbalen Aufgabe. Ein Durchgang ist exemplarisch in Abbildung 2 dargestellt.

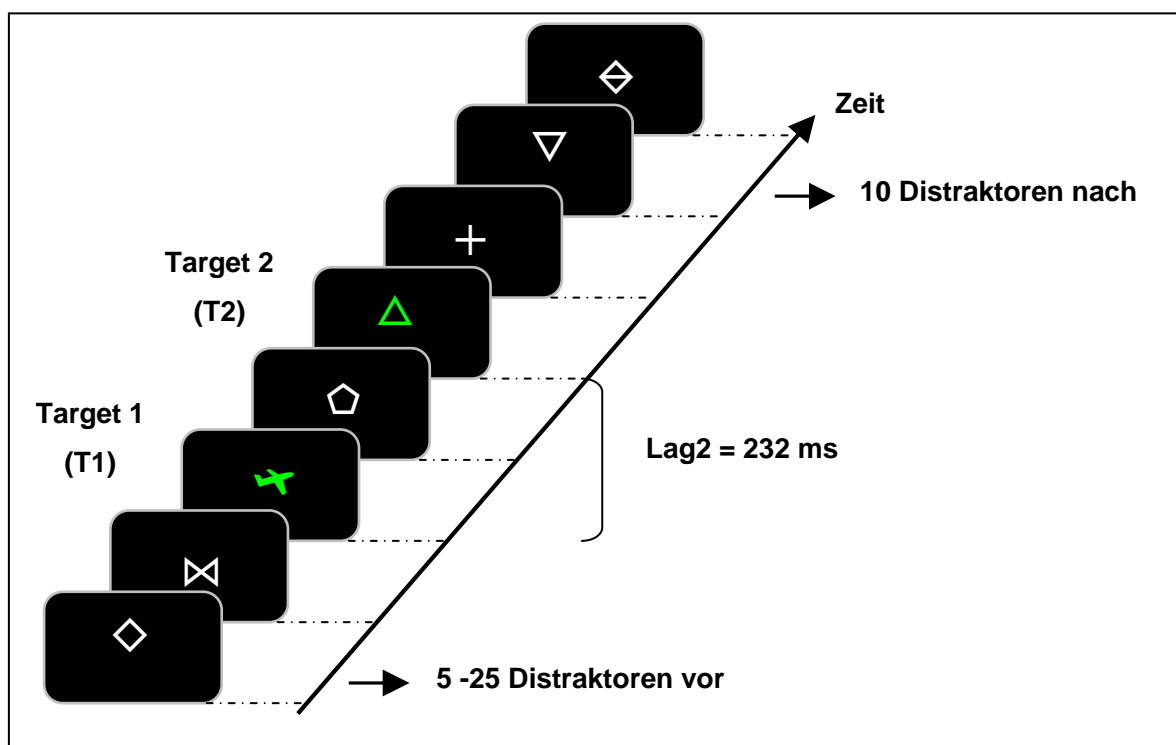


Abbildung 2: Beispiel für einen Durchgang in der non-verbalen Attentional Blink Aufgabe für Lag 2 (ein Distraktorreiz zwischen T1 und T2, SOA = 232 ms).

2.2.3.3 Psychometrische Tests

Zwischen den beiden AB-Aufgaben wurden zuerst die Standard Progressive Matrices (SPM) bzw. Coloured Progressive Matrices (CPM) bearbeitet und nach anschließender kurzer Pause der Subtest „Zahlennachsprechen“ (HAWIK-III). Die Instruktionen für die Raven Matrizen erfolgten gemäß dem Handbuch, und die Kinder gaben ihre Antworten verbal an die Versuchsleiterin weiter, die den Antwortbogen ausfüllte. Die Kinder bearbeiteten mehrere Sets von Aufgaben zunehmender Schwierigkeit und Komplexität. Dabei mussten kontinuierliche bzw. diskrete Muster durch die richtige von sechs bzw. acht Antwortalternativen ergänzt werden. SPM und CPM stellen nonverbale Verfahren zur Erfassung wahrnehmungsabhängiger Denkprozesse dar (Bulheller & Häcker, 2002; siehe (Raven, Raven & Court, 2002). Bei den einfacheren Items zu Beginn des Tests werden vor allem räumliche Wahrnehmungsdifferenzierung und Unterscheidungsgenauigkeit untersucht, während die Bearbeitung der schwierigeren Items in der zweiten Testhälfte komplexere Prozesse wie Regelerkennung, Analogieschlussdenken und induktives, räumliches Denken voraussetzt. Die Raven Matrizen bilden die „allgemeine Intelligenz“ nach Spearman ab (Heller, Kratzmeier & Lengfelder, 1998). In der vorliegenden Studie dienten sie zur Erfassung potentieller kognitiver Leistungsunterschiede zwischen den Kindern. Da die Kinder mit unterschiedlichen Testversionen untersucht wurden (CPM und SPM) wurden für die statistischen Analysen die jeweiligen T-Werte verwendet.

Die Durchführung des Subtests Zahlennachsprechen erfolgte ebenfalls wie im HAWIK-III vorgesehen: Die Versuchsleiterin liest dem Kind Zahlenreihen ansteigender Länge mit einer Geschwindigkeit von etwa einer Ziffer pro Sekunde vor, die das Kind unmittelbar reproduzieren soll. Begonnen wird mit zwei Ziffern, die bis maximal neun Ziffern gesteigert werden. Insgesamt gibt es 16 Durchgänge (2 pro Zifferanzahl), wobei die Aufgabe nach zwei aufeinander folgenden fehlerhaften Wiedergaben abgebrochen wird. In einem zweiten Durchgang müssen die Kinder die Ziffern in umgekehrter Reihenfolge wiedergeben. Hier wird ebenfalls mit zwei Ziffern begonnen und bis maximal acht Ziffern gesteigert. Das Abbruchkriterium entspricht dem oben genannten. Abweichend vom HAWIK-III wurde zur statistischen Auswertung für jeden Teilnehmer jeweils ein Mittelwert für die Ziffernspanne vorwärts und rückwärts mit unterschiedlicher Gewichtung je nach Anzahl der fehlerfrei wiedergegebenen Ziffern berechnet. Dabei wurde für die Ziffernspanne vorwärts eine lineare Transformation des Wertebereiches von 0 bis 16 Punkte (Anzahl der richtig bearbeiteten Aufgaben) auf eine Skala von 0 bis 9 vorgenommen, wobei zwei und drei korrekt wiedergegebenen Ziffern mit 0,5 Punkten bewertet wurden, ab einer Länge von vier Ziffern wurden korrekte Durchgänge mit einem Punkt bewertet. Analog erfolgte die Transformation für die Ziffernspanne rückwärts von einem Wertebereich von 0 bis 14 auf eine Skala von 0 bis 8; hier entsprach bereits eine Länge von drei Ziffern einem Punkt.

Diese Transformation trug der Tatsache Rechnung, dass der einfache Mittelwert aus korrekt gelösten Aufgaben keinen Rückschluss auf die Anzahl der richtig erinnerten Ziffern und somit keine Aussage über die Länge der Ziffernspanne zulässt. Die Ziffernspanne gilt als Maß für die Informationsverarbeitungskapazität (Hasselhorn, 1988).

2.3 Studie 1a

2.3.1 Methoden

In einem ersten Abschnitt werden die untersuchte Stichprobe sowie relevante demographische Daten dargestellt. Der darauffolgende Abschnitt erläutert die gruppenspezifische Stimulusauswahl und die studienspezifische Durchführung der Attentional-Blink-Aufgaben.

2.3.1.1 Versuchsteilnehmer

In Studie 1a bearbeiteten 170 Kinder von der 2. bis zur 10. Klasse die oben beschriebenen Aufgaben (verbale und nonverbale Attentional-Blink-Aufgabe, CPM bzw. SPM und Zahlennachsprechen). Im Schnitt waren die Teilnehmer 10,66 Jahre alt. Die Verteilung auf die einzelnen Klassen- und Altersgruppen ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Anzahl der Versuchsteilnehmer pro Untersuchungsgruppe,

Klasse	Gruppe	Teilnehmerzahl	Alter (SD)
2. Klasse	AB2	25	7,84 (0,55)
3./4. Klasse	AB34	53	8,70 (0,69)
5./6. Klasse	AB56	39	11,21 (0,66)
7.–10. Klasse	AB7up	53	13,55 (1,25)
Gesamt		170	10,66 (2,42)

2.3.1.2 Durchführung

Die Durchführung von Studie 1a erfolgte entsprechend der Darstellung unter 2.2.2 (S. 26). Abweichungen hiervon werden im Folgenden erläutert.

Verbal-AB

Das Reizmaterial für jede Altersgruppe setzte sich zusammen aus 20 Zielwörtern und 60 Distraktorwörtern. Inhaltlich waren die Zielwörter konkrete Begriffe (z.B. Garten, Mund, Schiff, Rad, Brief) während die Ablenkörter sowohl konkrete als auch abstrakte Begriffe beinhalteten (z.B. Abenteuer, Name, Schauspieler, Qualität, Zimmer). Die Silben- und Buchstabenanzahl der Ziel- und Distraktorwörter wurde mit zunehmendem Alter der Teil-

nehmer erhöht. Die Lemma-Häufigkeit der Zielwörter aller Altersgruppen entsprach im Mittel 531 pro einer Million Wörter laut CELEX-Datenbank (Baayen, Piepenbrock & Gulikers, 1995). Die mittlere Silbenanzahl und Frequenz der Targets jeder Gruppe werden in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Gruppeneinteilung nach Klasse und Reizmaterial; Angaben zur Frequenz und mittleren Silbenanzahl der Target-Wörter

Gruppe	Verbale Stimuli	Frequenz (pro 1 Mio)	Silbenanzahl (Mittel)	Nonverbale Stimuli
AB2	Substantive (Wortschatz 1. Klasse)	540	1,2	Transportmittel
AB34	Substantive (Wortschatz 2. Klasse)	533	1,3	und geometrische
AB56	Substantive (Wortschatz 4. Klasse)	543	1,5	Figuren
AB7up	Substantive (Wortschatz 6. Klasse)	509	2	

Symbol-AB

Die Durchführung erfolgte wie unter Punkt 2.2.3.2, S. 29 „Attentional Blink Aufgaben; Symbol-AB“ beschrieben.

2.3.1.3 Psychometrische Tests

Schüler der 2. Klasse bearbeiteten die Coloured Progressive Matrices (CPM), die im Vergleich zu den Standard Progressive Matrices (SPM) weniger und leichtere Aufgaben beinhalten und in Farbe anstatt in Schwarz-Weiß dargeboten werden. Sie sind für Kinder der ersten und zweiten Schulklasse normiert. Alle übrigen Kinder (3. – 10. Klasse) bekamen die Standard Progressive Matrices (SPM) mit fünf Sets à 12 Aufgaben vorgelegt. Die Gesamtdauer der Testdurchführung von etwa 1,5 bis 2 Stunden änderte sich aufgrund des kürzeren Tests bei den jüngeren Kindern nicht maßgeblich, da diese häufiger eine kurze Pause machten als die älteren Kinder.

2.3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse aus Studie 1a werden im Folgenden dargestellt. Performanz in den beiden Attentional-Blink-Aufgaben wird in Abhängigkeit vom jeweiligen Alter der Probanden untersucht und somit in ihrer Entwicklung abgebildet. Zudem werden Leistungen in psychometrischen Testverfahren erhoben, die in einem weiteren Schritt mit den Attentional-Blink-Ergebnissen in Beziehung gesetzt werden.

2.3.2.1 Performanz in den Attentional-Blink-Aufgaben

Verbal-Aufgabe. Aufgrund massiver Leseschwierigkeiten wurde die verbale AB-Aufgabe bei vier Kindern der 2. Klasse und bei zwei Kindern der 3. Klasse nicht durchgeführt. Weitere drei Kinder aus der 3. Klasse erfüllten das Cut-Off-Kriterium von einer durchschnittlichen T1-Erkennungsleistung von 65% nicht und wurden von den statistischen Analysen ausgeschlossen. Für die Schüler der 2. Klasse erwies sich die kritische Grenze von 65% als zu hoch, die Daten von 11 der übrigen 21 Teilnehmer hätten dann ausgeschlossen werden müssen. Die Vertrautheit mit verbalem Material ist bei diesen Kindern am geringsten, es kann nicht davon ausgegangen werden, dass das Lesen selbst kurzer Wörter für sie ein automatisierter Prozess ist (Rott, 1985). Daher stellen sie unter allen untersuchten Kindern eine Ausnahmegruppe dar, da das Cut-Off-Kriterium für ihre Gruppe nicht angewendet wurde. Die mittlere T1-Erkennungsleistung über alle vier Gruppen hinweg liegt für Lag 1 bei 80%, für Lag 2 bei 89% und für die Lags 3, 5 und 8 zwischen 89% und 92%. Betrachtet man hingegen die Performanz der Gruppen separat voneinander, wird deutlich, dass die Erkennungsleistung in Abhängigkeit vom Alter zunimmt. Während die Gruppe der Siebt- bis Zehntklässler zwischen 93% (Lag 1) und 99% (Lag 8) der ersten Zielreize erkennt, zeigt sich bei den Kindern der 3. und 4. Klasse ein anderes Bild. Die T1-Erkennungsleistung lag im kürzesten Intervall Lag 1 bei 74% und stieg im nächsten Intervall Lag 2 auf 87%. In den darauf folgenden Lags 3, Lag 5 und Lag 8 lag der Prozentwert korrekt erkannter T1-Reize bei 89%, 91% und 92%. Die Erkennungsleistungen aller Gruppen sind in Abbildung 3 graphisch dargestellt. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung auf dem Faktor Lag ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Lags ($F(4,152) = 49,46; p < 0,001$) sowie eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Lag ($F(12,462) = 4; p < 0,001$). Paarweise Vergleiche zeigten signifikante Leistungsunterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. So erwies sich die Leistung der Zweitklässler als signifikant schlechter im Vergleich zu den übrigen drei Gruppen (Scheffé's $ps < 0,001$). Der Posthoc-Vergleich zwischen der Gruppe AB34 (3. und 4. Klasse) und der Gruppe AB56 (5. und 6. Klasse) wurde nicht signifikant, während die Gruppe AB7up (7. – 10. Klasse) ein deutlich besseres Ergebnis

erzielte als AB34 (Scheffé's $p < 0,001$). Die beiden Gruppen AB56 und AB7up unterschieden sich nicht in ihren Erkennungsleistungen des ersten Zielwortes.

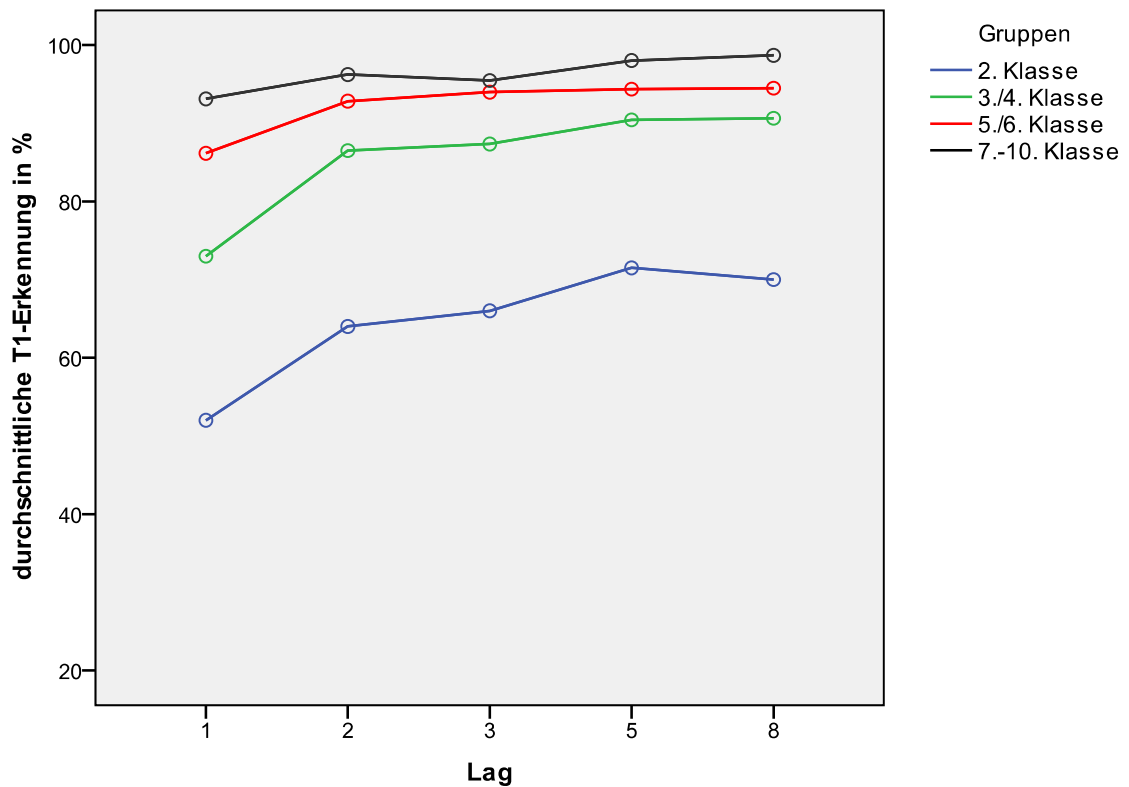


Abbildung 3: Durchschnittliche T1-Identifikationsleistung für alle vier Untersuchungsgruppen in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Verbal-Aufgabe.

Wie eingangs beschrieben wurde die Erkennungsleistung des zweiten Zielreizes in Abhängigkeit von der T1-Erkennung ausgewertet. Eine Übersicht über die Performanz der einzelnen Gruppen ist in Abbildung 4 dargestellt. Ebenso wie bei der T1-Erkennung wird auch hier eine Leistungssteigerung mit zunehmendem Alter deutlich, wobei die Kinder der 2. Klasse die mit Abstand geringste Leistung zeigen. Eine multifaktorielle Varianzanalyse ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Lags ($F(4,152) = 100,21$; $p < 0,001$) sowie eine signifikante Interaktion zwischen den einzelnen Untersuchungsgruppen ($F(12,462) = 6,51$; $p < 0,001$). In Posthoc-Vergleichen vermittelt Scheffé-Test zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe der Zweitklässler (AB2) und allen drei Gruppen, sowie zwischen der Gruppe der Dritt- und Viertklässler (AB34) und allen weite-

ren Gruppen (Scheffés $ps < 0,005$). Die Leistung in den Gruppen AB56 und AB7up unterschied sich ebenfalls auf dem 5%-Signifikanzniveau (Scheffés $p < 0,05$).

Auffallend in der graphischen Darstellung ist das nahezu parallel verlaufende Profil aller Altersgruppen. Es zeigt sich ein stetiger, linearer Anstieg vom kürzesten hin zum längsten Intervall. Lediglich die Anzahl der richtig erkannten Reize steigt mit zunehmendem Alter.

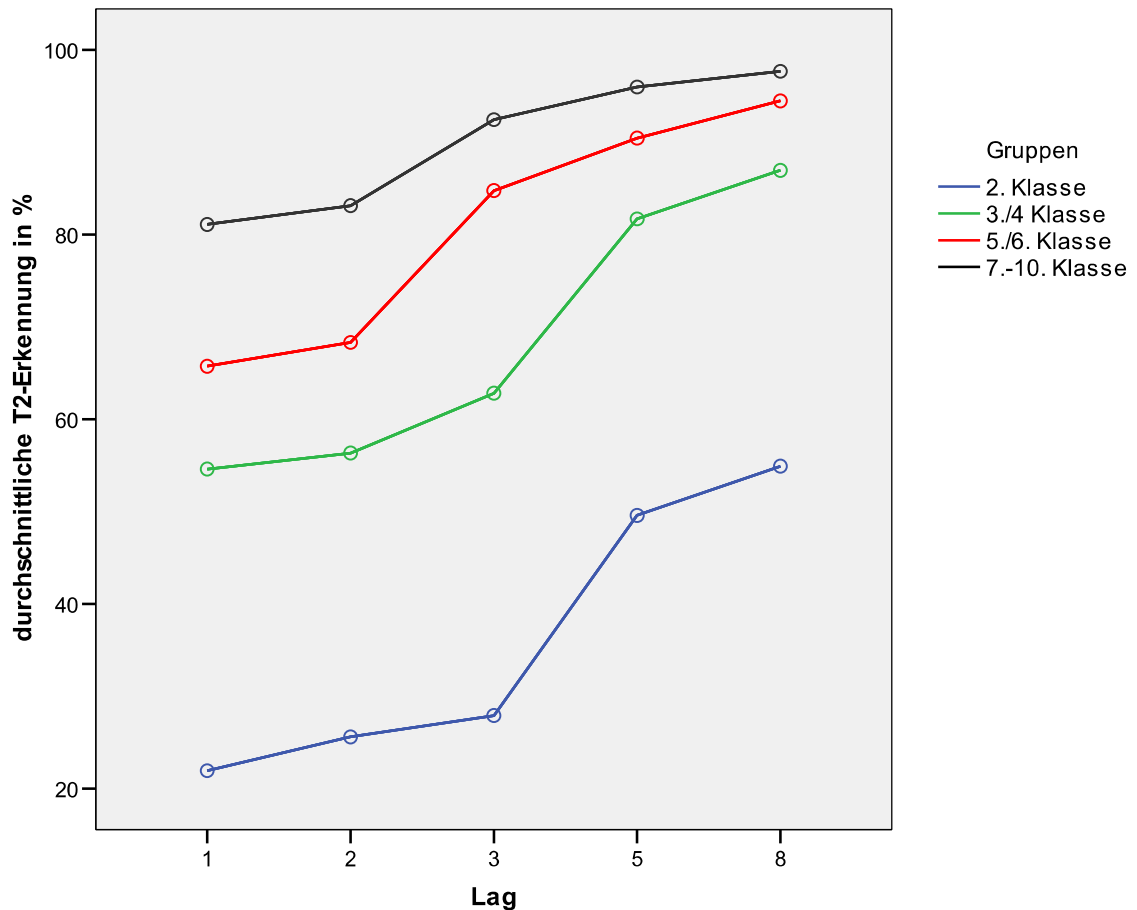


Abbildung 4: Durchschnittliche T2-Identifikationsleistung für alle vier Untersuchungsgruppen in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Verbal-Aufgabe; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Wörtern gewertet.

Symbol-Aufgabe. Aus technischen Gründen konnten die Daten von vier Kindern nicht gespeichert werden. Es handelte sich dabei um ein Kind pro Untersuchungsgruppe. Insgesamt wurden also die Leistungen von 166 Teilnehmern analysiert. Bezüglich der T1-Erkennung ergaben sich keine Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen bzw. Lags. Kinder zwischen sieben und 16 Jahren erkannten im Durchschnitt 92 % der zuerst darge-

botenen Zielreize über alle Lags hinweg. Abbildung 5 stellt die durchschnittliche T1-Erkennungsrate in Abhängigkeit des Lags für jede der vier Gruppen dar.

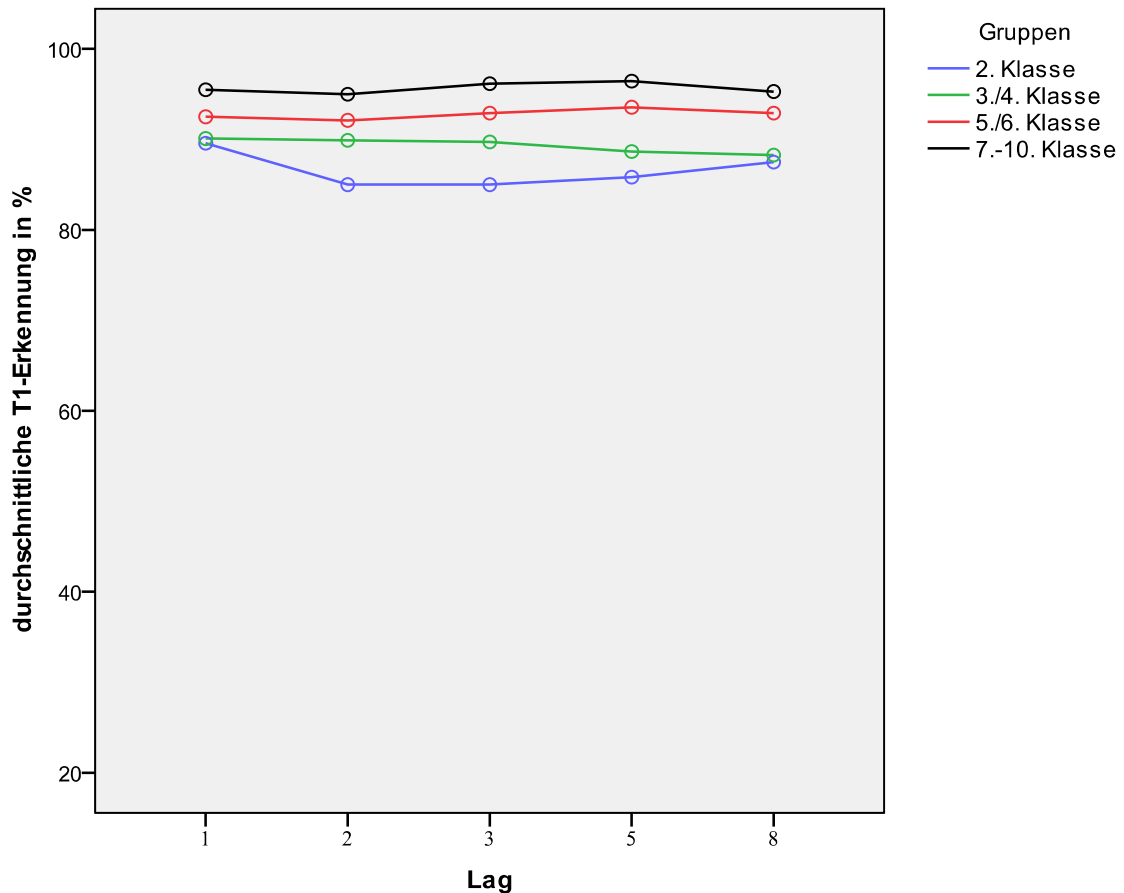


Abbildung 5: Durchschnittliche T1-Identifikationsleistung für alle vier Untersuchungsgruppen in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Symbol-Aufgabe.

Die Performanz bei der T2-Erkennung in Abhängigkeit der Gruppenzugehörigkeit ist in Abbildung 6 dargestellt. Entsprechend der vorangegangenen Untersuchungen wurden auch hier nur Durchgänge mit korrekt wiedergegebenem T1 berücksichtigt. Es wird deutlich, dass bei den Kindern ab der dritten Klasse das oben beschriebene Phänomen des Lag 1-Sparing auftritt. Varianzanalytisch ergaben sich signifikante Leistungsunterschiede zwischen allen vier Gruppen in Abhängigkeit vom jeweiligen Lag ($F(12, 2,77) = 100,21$; $p < 0,001$) sowie eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Lag ($F(12,462) = 6,51$; $p < 0,001$). Dabei lag die Erkennungsleistung in der Gruppe der Zweitklässler signifikant unter der Leistung der Gruppen AB56 und AB7up (Scheffés $ps < 0,001$). Im Vergleich zur Gruppe der Dritt- und Viertklässler ergab sich ein signifikanter Unterschied auf dem 1%-

Niveau. Die beiden ältesten Gruppen unterschieden sich ebenfalls in ihrer Erkennungsleistung des zweiten Zielreizes (Scheffés $p < 0,05$).

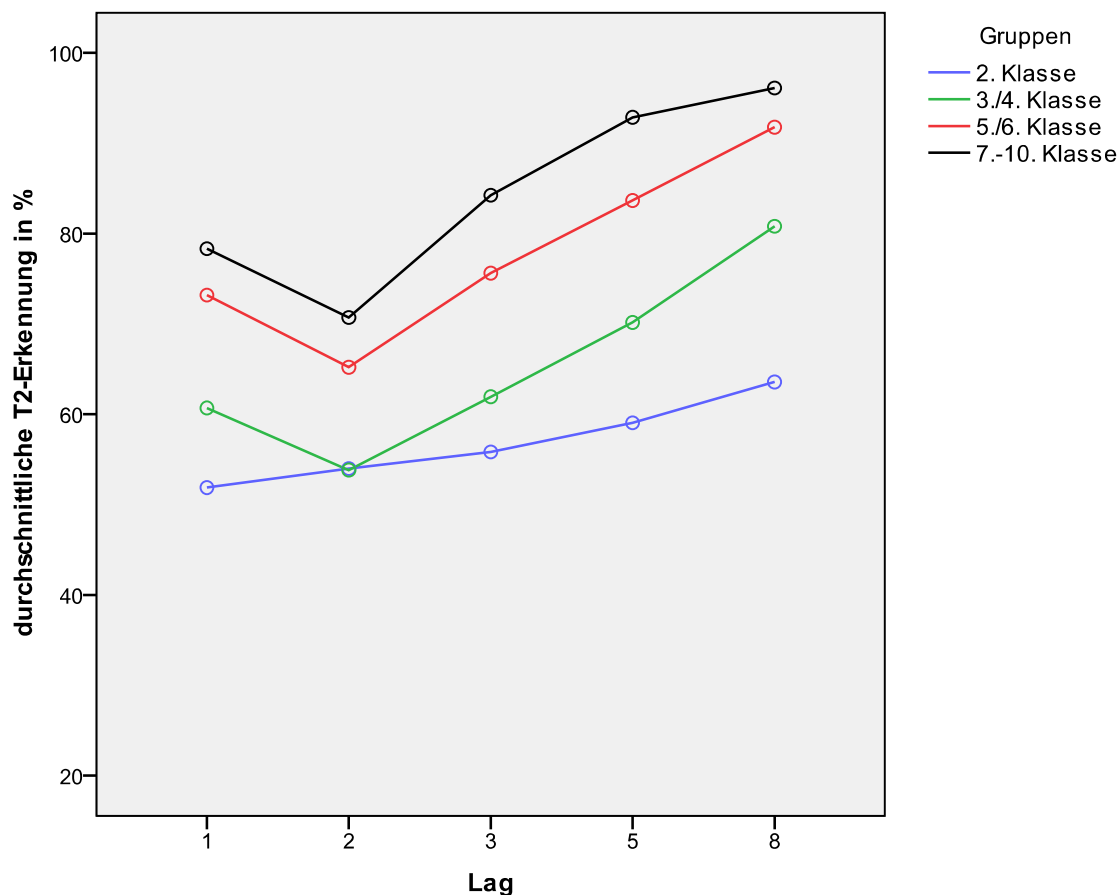


Abbildung 6: Durchschnittliche T2-Identifikationsleistung für alle vier Untersuchungsgruppen in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Symbol-Aufgabe; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Wörtern berücksichtigt.

2.3.2.2 Performanz in den psychometrischen Tests

Bei der Bearbeitung der Raven-Matrizen (CPM und SPM) erzielten die Teilnehmer einen durchschnittlichen Gesamt-T-Wert von $M = 53,68$ ($SD = 10,91$). Ihre Werte waren damit altersentsprechend und lagen im mittleren Normbereich. Die Performanz in der Aufgabe Zahlennachsprechen wurde vermittels einer linearen Transformation (siehe 2.2.3.3 „Psychometrische Tests“) ausgewertet. Für das Zahlennachsprechen vorwärts ergab sich ein Mittelwert von $M = 4,16$ Ziffern ($SD = 1,17$); für das Zahlennachsprechen in umgekehrter Reihenfolge lag der Mittelwert bei $M = 3,03$ Ziffern ($SD = 1,16$). Über die Gruppen

hinweg sieht man mit zunehmendem Alter einen linearen Anstieg in der Länge der Ziffernsparne vorwärts und rückwärts. Erwartungsgemäß ist die erreichte Ziffernsparne vorwärts in allen vier Gruppen länger als rückwärts. Eine Übersicht über die erzielten Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsgruppen ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Leistungen der Versuchsteilnehmer pro Untersuchungsgruppe für CPM/SPM sowie die Ziffernsparne vorwärts und rückwärts (mit Standardabweichung).

Gruppe	CPM/SPM T-Werte	Ziffernsparne vorwärts	Ziffernsparne rückwärts
AB2	54,86 (10,12)	3,21 (0,78)	2,03 (0,61)
AB34	59,76 (12,25)	3,87 (0,99)	2,66 (0,85)
AB56	50,69 (8,73)	4,40 (1,12)	3,26 (1,19)
AB7up	49,36 (8,43)	4,70 (1,17)	3,68 (1,17)

Eine univariate Varianzanalyse mit dem Faktor „CPM/SPM T-Werte“ ergab signifikante Leistungsunterschiede zwischen den einzelnen Gruppen ($F(3, 164) = 10,52; p < 0,001$). Bei der Berechnung der paarweisen Vergleiche wurde deutlich, dass dieser Effekt allein auf die herausragenden Ergebnisse in der Gruppe der Dritt- und Viertklässler zurückzuführen ist. Die Neunormierung der SPM ergab für die Gruppe der Grundschüler eine linksschiefe Verteilung, die aber noch der Normalverteilung entspricht, während diese Linksschiefe ab einem Alter von 11 Jahren Signifikanz erreicht (Heller, Kratzmeier & Lengfelder, 1998). Dieser Befund könnte für die deutlich besseren Ergebnisse der Drittklässler im Vergleich zu den übrigen drei Altersgruppen verantwortlich sein.

2.3.2.3 Psychometrische Testwerte und Attentional Blink.

Eine korrelationsanalytische Betrachtung der Beziehung zwischen den Leistungen in den psychometrischen Tests und den Attentional-Blink-Aufgaben ergab signifikant positive Zusammenhänge zwischen der Länge der Ziffernsparne vorwärts bzw. rückwärts und den T1-Leistungen. Dies gilt in allen fünf Lags sowohl für die Verbal- als auch die Symbolaufgabe (Spearman's r_s von 0,15 bis 0,46 bei $p < 0,001$). Ein vergleichbarer Zusammenhang zeigte sich zwischen der T2-Erkennungsrate und der Ziffernsparne (Spearman's r_s von 0,18 bis 0,54 bei $p < 0,001$). Die Beziehung zwischen kognitiver Verarbeitungskapazität

und AB-Leistungen ist bei getrennter Betrachtung der unterschiedlichen Untersuchungsgruppen jedoch nur für die jüngste Gruppe der Zweitklässler gültig. Für die übrigen drei Gruppen (AB_34, AB_56 und AB_7up) zeigen sich nur vereinzelte unspezifische korrelative Zusammenhänge.

Eine statistisch bedeutsame Beziehung zwischen den Ergebnissen in CPM bzw. SPM und den AB-Aufgaben zeigte sich zu keinem Zeitpunkt. Die allgemeinen intellektuellen Fertigkeiten einer Person haben also keinen Einfluss auf Bearbeitungsprofil oder Erkennungsrate in der Verbal- oder Symbolaufgabe.

2.3.3 Diskussion Studie 1a

Ziel der vorliegenden Studie war in erster Linie die explorative Untersuchung des Leistungsprofils von Kindern unterschiedlichen Alters in einer Attentional-Blink-Aufgabe. Auf der Grundlage des momentanen Forschungsstandes ist davon auszugehen, dass die Fähigkeit zur schnellen zeitlichen Aufmerksamkeitsallokation, wie sie zur Bearbeitung einer AB-Aufgabe erforderlich ist, mit dem Alter wächst. Visser et al. (2004) konnten beispielsweise zeigen, dass die Leistung von Kindern, bei denen diese Fähigkeit beeinträchtigt ist der Leistungskapazität jüngerer Kontrollkinder entspricht. Die Studie von Heim et al. (2006) weist daraufhin, dass das AB-Profil von Kindern dem von erwachsenen Probanden umso mehr gleicht, je besser ihre Fähigkeit zur schnellen und automatischen Aufmerksamkeitsrichtung ausgeprägt ist. Die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass bereits Kinder der zweiten Klasse ein Bearbeitungsprofil in AB-Aufgaben haben, das dem von Erwachsenen sehr ähnlich ist; die Erkennungsrate steigt jedoch zwischen der zweiten und der zehnten Schulklasse linear an.

Betrachtet man die T1-Erkennungsleistung in der *Verbal-Aufgabe* wird deutlich, dass die jüngsten Kinder (2. Schulklasse) deutlich weniger T1-Reize erkennen als die Kinder der höheren Schulklassen. Dies lässt sich zum einen auf die noch in der Entwicklung befindliche Fähigkeit der schnellen Aufmerksamkeitszuweisung, zum anderen auf die mangelnde Vertrautheit mit verbalem Material zurückführen. Es ist nicht davon auszugehen, dass der Prozess des Lesens bei Schülern der zweiten Klasse bereits automatisiert abläuft, vielmehr verarbeiten die Kinder verbales Material noch sequentiell, wozu ihnen in einer Rapid-Serial-Visual-Presentation-Aufgabe nicht ausreichend Zeit zur Verfügung steht.

Ebenfalls auffällig ist der signifikante Unterschied in der T1-Detektionsrate zwischen Lag 1 und den übrigen vier Lags (siehe Abbildung 3). Die Leistungsdifferenz ist bei den jüngsten Kindern am größten und verringert sich mit zunehmendem Alter. Dieser Befund entspricht dem anderer Studien zum Attentional Blink bei Kindern. So fanden Visser und Kollegen (Visser, Boden & Giaschi, 2004) bei Kindern zwischen 7 und 15 Jahren ebenfalls eine signifikant reduzierte T1-Erkennung in Lag 1 verglichen mit allen anderen Lags. Ebenso zeigten 10- bis 13-jährige Kinder in einer verbalen AB-Aufgabe deutlich verringerte Leistungen bei der T1-Identifikation im kürzesten Intervall Lag 1 (Heim, Keil & Ihssen, 2006).

Die Performanz der Schüler bei der Erkennung des zweiten Zielreizes spiegelt eine kontinuierliche Steigerung der Erkennungsrate bei nahezu parallel verlaufenden Graphen wider. Alle Gruppenvergleiche erreichen statistische Bedeutsamkeit, was die Fähigkeit zur schnellen zeitlichen Aufmerksamkeitszuweisung in ihrer Entwicklungstrajektorie abbildet.

Der größte Sprung in der Erkennungsrate von T2-Wörtern findet zwischen der Gruppe der Zweitklässler und der Gruppe der Dritt- und Viertklässler statt; die Rate verdoppelt sich fast. Dieser Befund wird in Zusammenhang mit der Automatisierung des Leseprozesses gesehen. Man geht davon aus, dass bei Kindern zwischen Ende der zweiten und Anfang der dritten Klasse eine gewisse Automatisierung des Leseprozesses beginnt (Rott & Zielinski, 1985). Betrachtet man das Profil der einzelnen Gruppen genauer, wird deutlich, dass Kinder der dritten und vierten ebenso wie Kinder der zweiten Klasse im Vergleich zu den älteren Teilnehmern eine verlängerte Attentional-Blink-Periode aufweisen. Der für den Attentional Blink typische Leistungseinbruch bei kurzen Intertarget-Intervallen dehnt sich bei jüngeren Kindern von Lag 1 über Lag 2 bis hin zu Lag 3 aus. Ältere Kinder und Jugendliche zeigen diese Blink-Periode nur für Lag 1 und 2. Diese Ergebnisse legen eine substantielle Veränderung der strategischen Verteilung attentionaler Ressourcen im Laufe der Grund- und Sekundarschulzeit nahe. Zum einen werden mit zunehmendem Alter mehr Wörter erkannt, zum anderen verkürzt sich das Zeitintervall, in welches der Attentional-Blink-typische Leistungseinbruch fällt.

Bei Betrachtung der Ergebnisse aus der *Symbol-Aufgabe* zeigen sich ebenfalls Alterseffekte, die Gruppenunterschiede sind jedoch geringer als in der Aufgabe mit verbalem Stimulusmaterial. Für die Erkennungsrate des ersten Zielreizes ergeben sich keine bedeutsamen Gruppenunterschiede, im Mittel erkennen Schüler der zweiten bis zur zehnten Klasse 92% der T1-Reize richtig. Da die Symbolaufgabe im Gegensatz zur Verbal-Aufgabe keine „free recall“-Leistung sondern lediglich ein Wiedererkennen des Reizes aus drei Antwortmöglichkeiten erforderte, liegt diesem Ergebnis eine Ratewahrscheinlichkeit von 33% zu Grunde.

Die Leistungsprofile der Gruppen für die richtige Erkennung des zweiten Zielreizes verlaufen ebenso wie in der Verbal-Aufgabe nahezu parallel, und die Anzahl erkannter Zielreize steigt mit zunehmendem Alter (Zweitklässler erkennen in den Lags 2 und 3 ca. 55% der zweiten Symbole, Siebt- bis Zehntklässler hingegen 71% bis 84%). Im Gegensatz zur verbalen Aufgabe sind die Differenzen zwischen den Erkennungsraten der einzelnen Altersgruppen geringer und sehr viel homogener. Die große Leistungsdiskrepanz zwischen Zweitklässlern und älteren Schülern, die in der Verbal-Aufgabe beobachtbar war, scheint auf die spezifische Verarbeitung von verbalem Material zurückzugehen. Die schnelle zeitliche Verarbeitung von graphischen Symbolen differenziert nicht zwischen den unterschiedlichen Altersgruppen. Je jünger die Kinder sind, desto weniger Erfahrung und Übung haben sie im Umgang mit verbalem Reizmaterial und desto weniger kann das Lesen als automatisierter Prozess verstanden werden. Bei der Erkennung der graphischen Symbole fällt der Faktor Erfahrung und Übung weniger deutlich ins Gewicht. Wird die Fä-

higkeit zur schnellen zeitlichen Aufmerksamkeitsrichtung mit nonverbalem Material gemessen, wodurch die Leseleistung und -erfahrung keinen Einfluss auf die Bearbeitung der Aufgabe hat, zeigen die Ergebnisse im Gegensatz zur Verbal-Aufgabe keinen sprunghaften Anstieg zwischen der Gruppe der Zweitklässler und der folgenden Gruppe der Dritt- und Viertklässler.

Das Lösungsverhalten der Schüler im kürzesten Lag 1 der Symbol-Aufgabe ist dem Lösungsverhalten in der Verbal-Aufgabe entgegengesetzt: Während in der Verbal-Aufgabe die Erkennungsleistung im kürzesten Lag bei allen vier Gruppen am geringsten war, zeigt sich bei den Kindern ab der dritten Schulklasse das Phänomen des Lag 1-Sparing. Die jüngsten Teilnehmer in der zweiten Klasse zeigen einen linearen Leistungsanstieg von Lag 1 bis Lag 8. Das Phänomen des Lag 1-Sparing tritt in etwa der Hälfte der veröffentlichten Studien zum Attentional Blink mit erwachsenen Probanden auf (Visser, Bischof & Di Lollo, 1999). Lag 1-Sparing beschreibt einen Anstieg in der Detektionsleistung, wenn beide Zielreize T1 und T2 direkt aufeinander folgen (wie das in Lag 1 der Fall ist). Lag 1-Sparing tritt gehäuft dann, wenn T1 und T2 der gleichen Kategorie angehören (Di Lollo, Kawahara, Shahab Ghorashi & Enns, 2005). Dieser Befund wird durch die vorliegenden Studien nur teilweise bestätigt. Zwar tritt Lag 1-Sparing nur in einer von zwei Studien auf, das Kriterium der Kategorienzugehörigkeit ist jedoch trotz Lag 1-Sparing in der Symbol-Aufgabe weniger erfüllt als in der Verbal-Aufgabe.

Die Ergebnisse aus den psychometrischen Testverfahren dienen zur Erfassung der Variation in der kognitiven Leistungsfähigkeit. Die Teilnehmer zeigten altersentsprechende Leistungen in der Bearbeitung der CPM bzw. SPM sowie im Zahlennachsprechen vorwärts und rückwärts. Die nonverbale intellektuelle Leistungsfähigkeit liegt für alle Gruppen im altersentsprechenden Normbereich. Die Länge der Ziffernspanne ist für alle Teilnehmer vorwärts länger als rückwärts und steigt mit zunehmendem Alter. Verglichen mit Ergebnissen aus anderen Studien liegen die Leistungen der Kinder allesamt im Erwartungsbereich der jeweiligen Altersstufe (Brocki & Bohlin, 2004; Cowan et al., 2003; Hasselhorn, Kamm & Ueffing, 1989; Howard & Polich, 1985). Statistisch bedeutsame Zusammenhänge zwischen der Länge der Ziffernspanne und der Erkennungsleistung für T1 bzw. T2 zeigen sich lediglich für die Gruppe der Zweitklässler. Je besser die Erkennungsrate für Zielreiz 1 bzw. 2, desto länger auch die Ziffernspanne vorwärts bzw. rückwärts. Die Ziffernspanne als ein Maß für die Informationskapazität nimmt also nicht nur mit dem Alter zu, sondern hängt bei jüngeren Kindern auch entscheidend mit der Fähigkeit der schnellen zeitlichen Aufmerksamkeitszuweisung zusammen. In den übrigen drei Gruppen lässt sich kein solcher Zusammenhang quantifizieren.

Zwischen den Maßen der intellektuellen Leistungsfähigkeit, wie sie vermittels CPM bzw. SPM gemessen wurde, und der T1- bzw. T2-Erkennung zeigt sich kein Zusammenhang.

2.4 Studie 1b

Die Ergebnisse der ersten Studie zeigen ein relativ konsistentes Bearbeitungsprofil für verbale und non-verbale Attentional-Blink-Aufgaben über die Klassenstufen zwei bis zehn hinweg. Daraus ergibt sich die Frage, ob auch schon Schüler der ersten Grundschulklasse solch ein typisches AB-Profil aufweisen. Das bewährte System, Stimuli aus dem Wortschatz der vorangegangenen Klassenstufe auszuwählen, ließ sich auf eine Gruppe von Erstklässlern nicht übertragen. Entsprechend dem Alter der Kinder und der fehlenden Erfahrung im Umgang mit verbalem Material wurden in der verbalen Attentional-Blink-Aufgabe Buchstaben als Reizmaterial präsentiert. Das Erkennen einzelner Buchstaben im Rahmen einer AB-Aufgabe wiederum ist nicht vergleichbar mit dem Lesen von Wörtern, weshalb die Untersuchung mit Erstklässlern hier als unabhängige Studie ausgewertet und dargestellt wird.

2.4.1 Methoden

2.4.1.1 Versuchsteilnehmer

In der Studie 1b nahmen 23 gesunde Erstklässler (davon 14 Jungen) im Alter zwischen 6 und 7 Jahren ($M = 6,83$; $s = 0,39$) teil.

2.4.1.2 Durchführung

Der Aufbau und die Länge der Aufgaben sowie der Ablauf einer Untersuchungseinheit sind im Abschnitt „Allgemeine Methoden“ beschrieben und waren für alle Teilnehmer gleich. In der verbalen AB-Aufgabe wurden hier jedoch die Buchstaben des Alphabets als Reizmaterial verwendet. Dabei dienten 10 ausgewählte Buchstaben (A, B, K, L, N, O, S, T, W und Z) als Zielreize und die übrigen 16 Buchstaben (C, D, E, F, G, H, I, J, M, P, Q, R, U, V, X, und Y) als Distraktoren. Entsprechend ihrem Alter bearbeiteten die Kinder die Coloured Progressive Matrices nach Raven, ein nonverbales Verfahren zur Erfassung wahrnehmungsabhängiger Denkprozesse für Kinder unter zehn Jahren. Die nonverbale AB-Aufgabe sowie der HAWIK-III Subtest „Zahlennachsprechen“ wurden identisch zur ersten Studie durchgeführt und ausgewertet.

2.4.2 Ergebnisse

2.4.2.1 Performanz in den Attentional-Blink-Aufgaben

Verbal-Aufgabe. Bei der Auswertung der Verbal-Aufgabe wurden die Daten von drei Mädchen aus der Analyse ausgeschlossen, da ihre durchschnittlichen T1-Erkennungsleistungen unterhalb einer Standardabweichung des Gesamtmittelwertes der T1-Leistung über alle Lags hinweg (d.h., unterhalb von 64%) lagen. Somit ergab sich eine Teilnehmerzahl für die verbale Attentional-Blink-Aufgabe von $n = 20$ (davon 14 Jungen). In Abbildung 7a ist der durchschnittliche Prozentsatz korrekt identifizierter T1-Reize als Funktion des Lag-Intervalls dargestellt. Die T1-Erkennungsleistung lag im Intervall 1 bei 64% und stieg im darauf folgenden Lag 2 auf 81%. Über die Lags 3, 5 und 8 hinweg betrug die mittlere Performanz 85%. Eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung auf dem Faktor Lag ergab einen signifikanten Effekt ($F(4,76) = 26,83$; $p < 0,001$). Die Posthoc-Ergebnisse mittels Scheffé-Test zeigten, dass die T1-Identifikationsgenauigkeit im Lag 1 signifikant niedriger ausfiel als in allen späteren Lags ($ps < 0,001$).

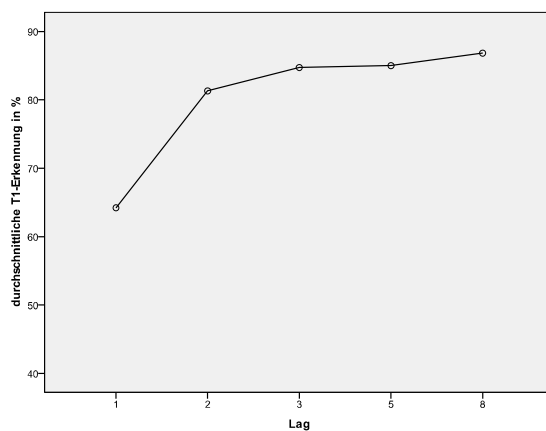


Abb. 7a

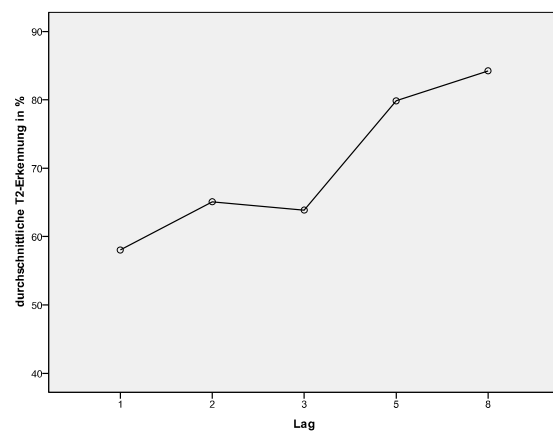


Abb. 7b

Abbildung 7: Durchschnittliche Identifikationsleistung in Prozent ($n = 23$) als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Wort-Aufgabe. a. T1-Reize. b. T2-Reize; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Buchstaben berücksichtigt.

Abbildung 7b illustriert die Erkennungsleistungen für T2 bei richtigem T1 in Abhängigkeit vom T1-T2-Intervall. Das Genauigkeitsprofil für die T2-Antworten zeigte eine sich über die Lags 1 bis 3 erstreckende Blink-Periode, wohingegen die Erkennungsleistung in den beiden längeren Lags 5 und 8 deutlich anstieg. Im kürzesten Intervall 1 erkannten die

Probanden durchschnittlich 58% der T2s, in den Intervallen 2 und 3 65% bzw. 64%. Bei Lag 5 und Lag 8 erreichte das Leistungsniveau Werte von 80% respektive 84%. Die Messwiederholungsanalyse ergab einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Lag ($F(4,76) = 12,33$; $p < 0,001$). Die paarweisen Vergleiche wiesen auf signifikante Unterschiede zwischen Lag 4 und den Lags 1 bis 3 (Scheffé's $ps < 0,05$) sowie zwischen Lag 5 und den ersten drei Lags (Scheffé's $ps < 0,01$) hin. Die Identifikationsgenauigkeit innerhalb der ersten drei Lags sowie in den Lags 4 und 5 unterschieden sich jeweils nicht.

Symbol-Aufgabe. Bei der Auswertung der Symbol-Aufgabe gingen nach Anwendung des oben genannten Cut-off-Kriteriums die Daten aller 23 Kinder in die Analyse ein. Die Erkennungsleistung für T1 lag zwischen 83% bei Lag 5 und 86% bei den Lags 2 und 3 (siehe Abbildung 8a). Entsprechend erbrachte die Varianzanalyse keinen signifikanten Unterschied für den Messwiederholungsfaktor Lag.

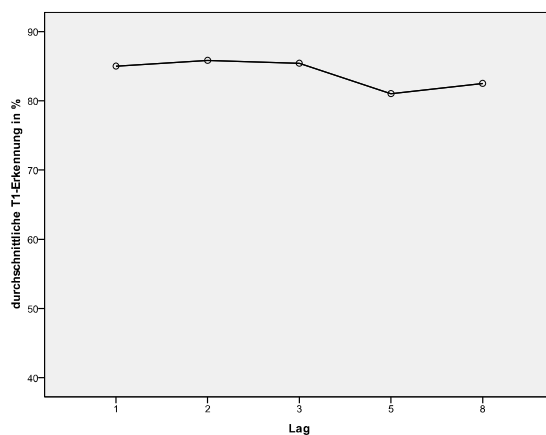


Abb. 8a

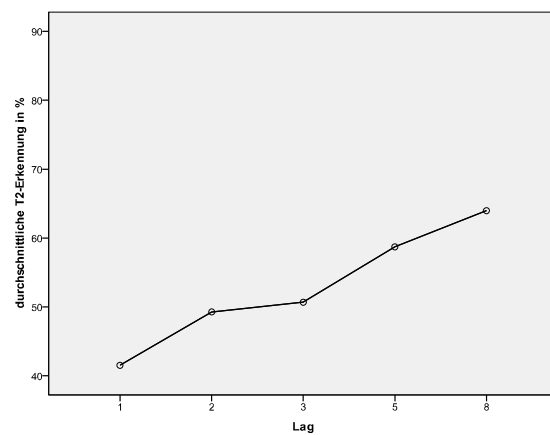


Abb. 8b

Abbildung 8: Durchschnittliche Identifikationsleistung in Prozent ($n = 23$) als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Symbol-Aufgabe. a. T1-Reize. b. T2-Reize; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Symbolen berücksichtigt.

Bei der Erkennungsleistung von T2 zeigte sich in der Symbol-Aufgabe ein monotoner linearer Anstieg über die Lags hinweg (siehe Abbildung 8b). Dies wurde durch die Berechnung eines linearen Trends untermauert ($F(1,22) = 24,29$; $p < 0,001$). Varianzanalytisch ergab sich ein Unterschied zwischen den Leistungen in den einzelnen Lags ($F(4, 88) = 8,09$; $p < 0,001$). Signifikante Unterschiede waren zwischen Lag 5 und Lag 1 (Scheffé's $p < 0,005$) sowie Lag 8 und den Lags 1 bis 3 (Scheffé's $ps < 0,005$) nachweisbar.

Altersbesonderheiten im Attentional Blink. Zur Untersuchung altersbedingter Unterschiede in der Bearbeitung der AB-Aufgaben wurden aus dem Performanzprofil zwei Differenzmaße extrahiert (Heim, Keil & Ihssen, 2006). In diese ging die T2-Identifikationsgenauigkeit bei korrekt erkanntem T1-Reiz ($T2|T1$) für lange und kurze Intervalle mit Distraktor-Items ein.

$$A_{\text{Symbol oder Verbal}} = \Delta T2|T1 (\text{Lag 8} - \text{Lag 2})$$

$$B_{\text{Symbol oder Verbal}} = \Delta T2|T1 (\text{Lag 8} - \text{Lag 3})$$

Die Terme A und B beschreiben die Differenz der Performanz im längsten Intervall (Lag 8), das mit einer SOA von 928 ms deutlich außerhalb der Attentional-Blink-Periode liegt, und der Performanz in den kürzesten interferenzanfälligen Lags 2 und 3. In einem ersten Schritt wurden die so berechneten Aufmerksamkeitsmaße mit dem Alter der Kinder in Monaten in einen korrelationsstatistischen Zusammenhang gebracht. Signifikant positive Pearsonkoeffizienten ergaben sich für die Leistungen in der Verbal-Aufgabe ($r = 0,53$ für A_{Verbal} und $0,54$ für B_{Verbal} ; $ps < 0,05$). Ältere Kinder weisen hier größere Differenzwerte auf, was auf größere Leistungseinbußen in den Blink-Intervallen 2 und 3 hindeutet (siehe Abbildung 4). Für die Symbol-Aufgabe gelten diese Zusammenhänge nicht ($r = 0,23$ für A_{Symbol} und $0,20$ für B_{Symbol} ; $p < 0,294$ bzw. $0,351$; siehe Abbildung 9a und 9b).

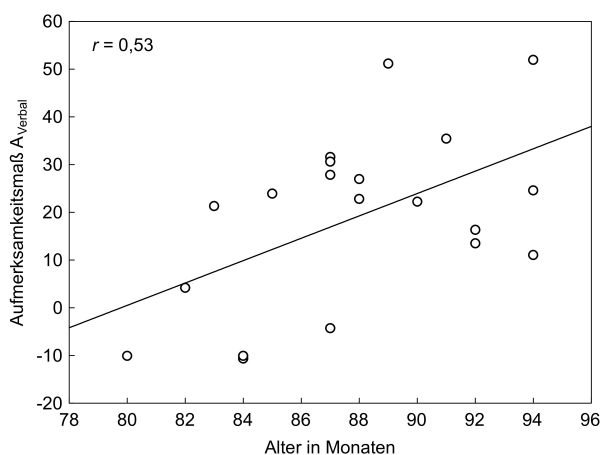


Abb. 9a

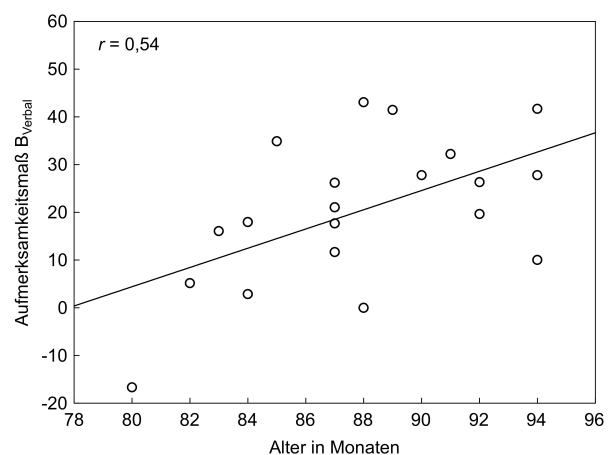


Abb. 9b

Abbildung 9: Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson zwischen dem Alter der Kinder und den auf dem Profil des Attentional Blink basierenden Differenztermen der Verbal-Aufgabe. a. Aufmerksamkeitsmaß $A = \Delta T2|T1$ (Lag 8 – Lag 2). b. Aufmerksamkeitsmaß $B = \Delta T2|T1$ (Lag 8 – Lag 3).

In einem zweiten Schritt wurde dieser Effekt auf Gruppenebene untersucht. Zu diesem Zweck wurde ein Median-Split (Median = 87 Monate) durchgeführt; Kinder bis einschließlich 87 Monate gehörten der jüngeren Gruppe an. Der Einfluss des Faktors Gruppe (≤ 87 versus > 87 Monate) auf die Differenzmaße A und B wurde mittels univariater Kovarianzanalysen getestet. Unterschiede in diesen Differenzmaßen können auf Variationen im Lag 8 wie auch im Lag 2 bzw. 3 zurückgehen. Daher wurde für die Untersuchung von Alterseffekten spezifisch für die Blink-Intervalle 2 und 3 jeweils die T2-Antwortgenauigkeit im Lag 8 als Kovariate in das Modell eingeführt. Für A_{Verbal} indizierte die univariate Kovarianzanalyse einen signifikant größeren Attentional Blink bei den älteren im Vergleich zu den jüngeren Kindern ($F(1,17) = 4,45$; $p < 0,05$; siehe Abbildung 10a). Dieser Effekt verfehlte die Signifikanzgrenze knapp für den Differenzterm B_{Verbal} ($F(1,17) = 4,05$; $p = 0,06$; siehe Abbildung 10b). In der Symbolaufgabe zeigten sich für die Maße A_{Symbol} bzw. B_{Symbol} keine signifikanten Unterschiede zwischen älteren und jüngeren Kindern.

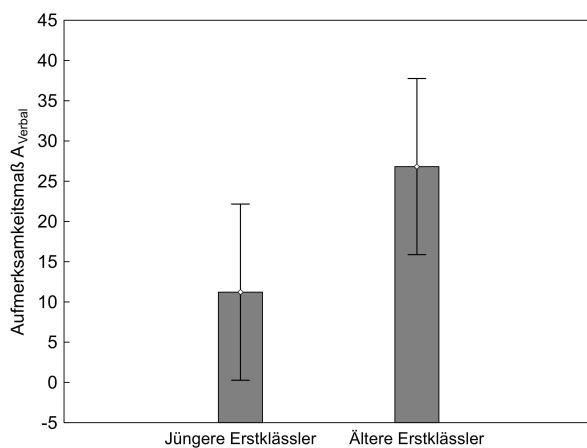


Abb. 10a

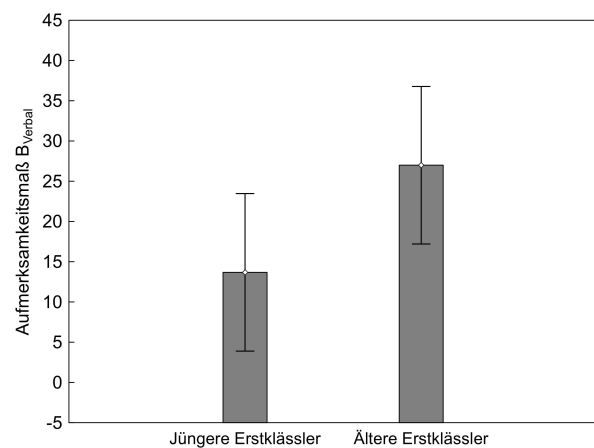


Abb. 10b

Abbildung 10: Gruppenunterschiede zwischen älteren (> 87 Monate) und jüngeren (≤ 87 Monate) Erstklässlern bezüglich der Aufmerksamkeitsmaße A und B (a bzw. b) in der Verbal-Aufgabe. Vertikale Balken zeigen Konfidenzintervalle auf dem 95%-Niveau.

2.4.2.2 Performanz in den psychometrischen Tests

Alle 23 Teilnehmer erzielten in den CPM T-Wert-Äquivalente im Normbereich ($M = 56,61$; $SD = 11,27$; Spannweite = 43 – 79). In die varianz- und korrelationsstatistischen Auswertungen flossen ausschließlich die erreichten Rohwerte ein. Eine univariate Varianzanalyse

ergab keinen Unterschied zwischen den Rohpunkten der jüngeren (≤ 87 Monate) und älteren (> 87 Monate) Kinder.

Für den Test Zahlennachsprechen spiegeln die folgenden Spannenwerte die durchschnittliche Anzahl wiederholter Ziffern wider: Ziffernspanne vorwärts: $M = 5,11$; $SD = 0,99$; Spannweite = $3,88 - 7,65$; Ziffernspanne rückwärts: $M = 4,09$; $SD = 0,54$; Spannweite = $3,40 - 5,27$. Errechnet wurden diese Spannenwerte nach der unter 2.2.3.3 im Abschnitt „Allgemeine Methoden“ beschriebenen Transformation. Eine Varianzanalyse mit den Faktoren Reproduktionsart (vorwärts versus rückwärts) und Altersgruppe resultierte in keiner signifikanten Interaktion. Sowohl die jüngere als auch ältere Gruppe erzielte eine signifikant höhere Ziffernspanne vorwärts als rückwärts ($F(1,21) = 25,63$; $p < 0,001$). Die varianzanalytischen Resultate zum fehlenden Einfluss des Alters auf die psychometrischen Testleistungen werden durch die korrelationsstatistischen Berechnungen nach Pearson unterstützt (p zwischen $0,149$ und $0,653$).

2.4.2.3 Psychometrische Testwerte und Attentional Blink

Abschließend wurde der Zusammenhang zwischen den oben beschriebenen Differenztermen des Attentional-Blink-Experiments und den psychometrischen Testleistungen untersucht. Tabelle 5 stellt die Ergebnisse der Produkt-Moment-Korrelationen nach Pearson dar. Es ergaben sich keine statistisch bedeutsamen Zusammenhänge zwischen den Leistungen in den CPM und im Zahlennachsprechen rückwärts einerseits und den Aufmerksamkeitsmaßen A und B der Verbal- und Symbolaufgabe andererseits. Für das Zahlennachsprechen vorwärts erreichten die Korrelationen mit den Differenzmaßen der Verbal-Aufgabe ($r = -0,59$ für A und $r = -0,48$ für B) die Signifikanzgrenze von 5%. Die negativen Koeffizienten indizieren, dass eine geringere Erkennungsrate für T2-Buchstaben in den Lags 2 und 3 (Attentional Blink) mit einer größeren Ziffernspanne vorwärts einherging.

Tabelle 5: Produkt-Moment-Korrelationen nach Pearson zwischen den Werten der psychometrischen Variablen und den auf dem Profil des Attentional Blink basierenden Differenzmaßen A, und B ($n = 23$ Erstklässler).

	A		B	
	Symbol	Verbal	Symbol	Verbal
SPM				
Rohwerte	0,005	-0,05	0,17	-0,05
Ziffernspanne				
vorwärts	-0,24	-0,59**	-0,31	-0,48*
rückwärts	0,001	0,13	-0,02 -	-0,05

Anmerkungen: A = $\Delta T2|T1$ (Lag 8 – Lag 2); B = $\Delta T2|T1$ (Lag 8 – Lag 3); $p < 0,01^{**}$; $p < 0,05^*$

2.4.3 Diskussion Studie 1b

Auch Kinder der ersten Schulklasse sind schon in der Lage, eine typische Attentional-Blink-Aufgabe erfolgreich zu bearbeiten. Sie weisen ebenso wie ältere Kinder und Erwachsene einen charakteristischen Leistungseinbruch in der Erkennung des zweiten Zielreizes (T2) auf, wenn dieser in kurzem Abstand zum ersten Zielreiz (T1) präsentiert wird.

In der *Verbal-Aufgabe* erreichte die Gruppe der Erstklässler eine durchschnittliche T1-Erkennungsrate von 76%. Wie bereits in Studie 1a für jüngere Kinder berichtet, zeigt sich auch hier eine deutliche Diskrepanz zwischen der Erkennungsrate im kürzesten Lag 1 (64%) und den übrigen Intervallen (durchschnittlich 83%). Die Bedingungen der Verbal-Aufgaben beider Studien sind jedoch nur bedingt miteinander vergleichbar, da die Verarbeitung und Reproduktion von Buchstaben (Studie 1b) nicht der Komplexität bei der Bearbeitung von Wörtern (Studie 1a) entspricht.

Die Erkennungsrate des zweiten Zielreizes liegt in den drei kürzesten Lags 1, 2 und 3 im Durchschnitt bei 62%, das ist signifikant niedriger als in den längeren Lags 4 und 5. Ebenso wie bei den jüngeren Kindern aus Studie 1a (2. – 4. Klasse) manifestiert sich diese Phase reduzierter Detektionsleistung (Attentional Blink) in den drei kürzesten Intertarget-Intervallen. Die jüngsten hier untersuchten Probanden zeigen somit im Vergleich zu Älteren und Erwachsenen, deren Attentional Blink sich gewöhnlich auf die ersten beiden Lags beschränkt, eine verlängerte Blink-Periode.

Sechs- bis Siebenjährige zeigen in der *Symbol-Aufgabe* eine im Vergleich zur Verbal-Aufgabe erhöhte T1-Erkennungsrate (84% vs. 76%). Bedeutsame Unterschiede zwischen den einzelnen Lags gibt es nicht. Im Sinne des aktuellen Modells zum Wettstreit um bzw. zur Ungleichverteilung von Ressourcen (Keil, Ihssen & Heim, 2006; Shapiro, Schmitz, Martens, Hommel & Schnitzler, 2006) scheint eine höhere Genauigkeit für den ersten Zielreiz hier mit einer verminderten Ressourcenverwendung für die T2-Erkennung einherzugehen. Während die T1-Erkennungsleistung im Vergleich zur Verbal-Aufgabe höher ausfällt, bleibt die durchschnittliche T2-Detektion für die Symbol-Aufgabe deutlich hinter dem Wert der Verbal-Aufgabe zurück. Die hohe Erkennungsrate des ersten Zielreizes erfolgte hier also auf Kosten der Detektion des zweiten Zielreizes.

Im Vergleich zur durchschnittlichen T1-Erkennungsrate der älteren Probanden aus Studie 1a zeigen die Erstklässler eine generell geringere Detektionsleistung für den ersten Stimulus (84% vs. 92%). Dies bildet sich auch in der durchschnittlichen Erkennungsleistung des zweiten Zielreizes ab: mit 53% liegt diese zum einen deutlich niedriger als in der Verbal-Aufgabe und zum anderen deutlich unterhalb der durchschnittlichen Erkennungsrate

älterer Kinder. Die Detektionsleistung des zweiten Zielreizes stieg mit zunehmendem Alter linear an (siehe Studie 1a). Betrachtet man die Leistung der Kinder der zweiten Klasse, erkennen diese im Durchschnitt nur 3% mehr T2-Symbole als die Kinder der ersten Klasse. In der Gruppe der Siebt- bis Zehntklässler hingegen werden durchschnittlich 84% der T2-Reize richtig erkannt.

Zwischen Schuleintritt und Sekundarstufe verbessert sich also die Fähigkeit zur schnellen zeitlichen Aufmerksamkeitsallokation und die Verteilung von Ressourcen erfolgt effizienter. Während jüngere Kinder (1. – 4. Klasse) eine verlängerte Blink-Periode über drei Lags hinweg zeigen, weisen ältere Kinder einen Leistungseinbruch bei der Erkennung des zweiten Zielreizes nur noch im Attentional-Blink-typischen Intertarget-Intervall Lag 2 auf.

Die insgesamt höhere T2-Leistung in der Verbalaufgabe im Vergleich zur Symbolversion könnte durch den unterschiedlichen Vertrautheitsgrad mit dem Reizmaterial bedingt sein. Während Erstklässler in ihrem (Schul-) Alltag mit Buchstaben bzw. Buchstabenfolgen in Berührung kommen, sind die hier präsentierten Symbole nicht alltagsrelevant. Eine Interpretation der beobachteten Leistungsdifferenz zwischen den beiden Aufgabentypen wird allerdings durch Unterschiede in der Basisrate für zufällige Treffer erschwert. Zudem ist die Erkennungsrate für die T1-Reize umgekehrt verteilt: hier erkennen die Kinder der ersten Klasse durchschnittlich mehr Symbole als Buchstaben.

Zur genaueren Untersuchung altersbedingter Unterschiede in der Bearbeitung der AB-Aufgabe wurden die Teilnehmer der vorliegenden Untersuchung in eine jüngere (Kinder bis einschließlich 87 Monate) und eine ältere Gruppe eingeteilt. Es wurden zwei Differenzmaße gebildet (siehe Ergebnisteil), welche die T2-Genauigkeit im längsten Intervall Lag 8 mit den Leistungen in den beiden kurzen Intervallen Lag 2 und 3 zueinander in Beziehung setzten. Diese Differenzterme beschreiben somit den Unterschied zwischen der Performanz bei einem großen zeitlichen T1-T2-Abstand (Lag 8) und einem kurzen T1-T2-Abstand. Für die Maße A und B ergaben sich in der verbalen AB-Aufgabe signifikante Gruppenunterschiede, wobei die älteren Kinder den größeren AB-Effekt aufwiesen. Für die Symbol-Aufgabe gelten diese Zusammenhänge nicht.

Die erzielten Rohwerte in den CPM lagen für alle Teilnehmer im altersentsprechenden Normbereich und es ergaben sich keine Unterschiede zwischen den beiden Altersgruppen. Auch die Länge der Ziffernspanne differenzierte nicht zwischen den älteren und jüngeren Kindern. Alle Kinder erreichten vorwärts eine größere Ziffernspanne als rückwärts. Im Vergleich mit Ergebnissen aus anderen Studien wiesen die hier untersuchten Kinder ähnliche Ziffernspannen auf (Brocki & Bohlin, 2004; Cowan, et al., 2003;

Hasselhorn, Kamm & Ueffing, 1989; Howard & Polich, 1985). Zusammenhänge zwischen den Leistungen in den psychometrischen Testverfahren und den oben beschriebenen Differenztermen der AB-Aufgabe zeigten sich nur geringfügig. Lediglich das Zahlennachsprechen vorwärts ging mit einem stärkeren Blink-Effekt in den Differenztermen A und B einher. Die Entwicklung der Ziffernspanne vorwärts als ein Maß der Informationskapazität steht somit in Zusammenhang mit einem zunehmend reiferen Attentional-Blink-Profil. In Studie 1a wurde ein Zusammenhang zwischen der Länge der Ziffernspanne vorwärts bzw. rückwärts und der Erkennungsrate für die Zielreize T1 bzw. T2 festgestellt. Je jünger also die Kinder, umso stärker scheint der Zusammenhang zwischen Informationskapazität und schneller zeitlicher Aufmerksamkeitsallokation.

Es wird deutlich, dass die Leistungen in der Bearbeitung von Attentional-Blink-Aufgaben bereits bei 6- bis 7-jährigen Kindern mit dem Alter variieren. Je älter die Kinder sind, desto eher gleicht ihr Bearbeitungsprofil dem von älteren Probanden, die relative Performanz im Lag 2 wird mit zunehmendem Alter schlechter. Auf der Basis des Modells der graduellen Ressourcenzuweisung bedeuten diese Ergebnisse, dass sich die strategische Verteilung zeitlicher attentionaler Ressourcen substantiell verändert. Maße zur Erfassung der allgemeinen kognitiven Leistungsfähigkeit zeigen diesen Entwicklungsschritt nicht.

2.5 Studie 1c

Wie bereits unter 1.3 beschrieben, gehört ADHS zu den häufigsten Verhaltensauffälligkeiten im Kindes- und Jugendalter (Döpfner et al., 1999). Als ein mögliches Ursachenmodell wird eine Störung in fronto-striatalen Hirnregionen (Tannock, 1998) bzw. eine verlangsamte kortikale Reifung (Shaw, et al., 2007) diskutiert. Da die Anforderungen im Paradigma des Attentional Blink kognitive Prozesse involvieren, die durch präfrontale Strukturen mediiert werden (Keil, 2004), erscheint eine Anwendung des Paradigmas bei Kindern mit ADHS geeignet. In der folgenden Studie bearbeitete eine Gruppe von ADHS-Kindern die oben beschriebenen Attentional-Blink-Aufgaben aus Studie 1a. Ihre Leistungen wurden in Beziehung gesetzt mit denen von gesunden Gleichaltrigen aus der ersten Studie.

2.5.1 Methoden

2.5.1.1 Versuchsteilnehmer

Für die Studie 1c wurden 29 Kinder mit einem ärztlich diagnostizierten Aufmerksamkeitsdefizit im Sinne einer AD(H)S rekrutiert. Im Rahmen der Studie wurde nicht zwischen dem vorwiegend unaufmerksamen Typus und dem vorwiegend hyperaktiv-impulsiven Typus unterschieden (Saß, Wittchen, Zaudig & Houben, 1998). Die Daten von vier der teilnehmenden Kinder flossen nicht in die weiteren Analysen ein, da sie zum Zeitpunkt der Untersuchung mit Methylphenidat mediziert waren. Von den übrigen 25 Kindern nahm etwa ein Drittel regelmäßig Stimulanzien zur Behandlung der ADHS, diese Kinder erschienen jedoch am Tag der Untersuchung unmediziert. Die letzte Einnahme der Medikamente lag mindestens 24 Stunden zurück. Eine nach Alter und Geschlecht gematchte Auswahl von 26 Kontrollkindern aus Studie 1a stellte die Vergleichsgruppe dar. Die Teilnehmer waren zwischen acht und 15 Jahren ($M = 11,35$ Jahre; $SD = 1,59$) alt und besuchten die dritte bis zehnte Schulklasse.

2.5.1.2 Durchführung

Studie 1c wurde analog zur Studie 1a durchgeführt. Die Kinder bearbeiteten die oben beschriebenen Attentional-Blink-Aufgaben mit altersangepasstem verbalem und für alle Gruppen identischem non-verbalem Stimulusmaterial sowie die Standard Progressive Matrices (SPM) und den HAWIK-III Subtest „Zahlennachsprechen“. Zusätzlich füllten die Eltern aller Teilnehmer (Versuchs- und Kontrollgruppe) den Fremdbeurteilungsbogen „Hyperkinetische Störung“ aus dem Diagnostik-System für psychische Störungen im Kin-

des und Jugendalter nach ICD-10 und DSM-IV (DISYPS-KJ; (Döpfner & Lehmkuhl, 2000) aus. Anhand von 20 Items, welche die Symptomkriterien der ADHS erfassen, beurteilen die Eltern anhand einer vierstufigen Antwortskala (gar nicht – ein wenig – weitgehend - besonders) wie zutreffend die jeweilige Beschreibung für ihr Kind ist. Die Items sind vier verschiedenen Skalen (Unaufmerksamkeit, Überaktivität, Impulsivität und ADHS-Gesamt) zugeordnet und werden dementsprechend ausgewertet. Die Ergebnisse der Elternurteile in der vorliegenden Studie differenzieren auf allen Skalen deutlich zwischen Kindern mit und ohne ADHS ($p \leq 0,001$). Die Auswertung des DISYPS sieht eine Einteilung der angegebenen Symptome in die Kategorien „auffällig“, „erhöht“, „grenzwertig“ und „unauffällig“ vor. Von den ADHS-Kindern, die an dieser Studie teilnahmen, wurden 24% als „auffällig“ auf der Skala „ADHS-Gesamt“ bewertet. 16% erhielten „erhöhte“ Werte, bei 24% war die Einschätzung „grenzwertig“ und 28% wurden von ihren Eltern als „unauffällig“ beschrieben. Trotz einer ärztlich gestellten ADHS-Diagnose und –Behandlung scheint der Schweregrad der Störung bei den Probanden unserer Studie im Durchschnitt eher gering ausgeprägt zu sein. So besuchen alle Kinder eine Regelschule und wohnen bei ihren Eltern zu Hause. Unterschiede zwischen ADHS- und Kontrollgruppe sind somit auch immer vor dem Hintergrund einer relativ schwach betroffenen Untersuchungsgruppe zu betrachten. Tabelle 6 gibt einen Überblick über Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Skalen, Abbildung 11 veranschaulicht die Verteilung.

Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichungen (Rohwerte) des Fremdbeurteilungsbogens „Hyperkinetische Störung“ für ADHS- und Kontrollgruppe.

Skalen (FBB-HKS)	ADHS-Gruppe	Kontrollgruppe
	Mittelwert (SD)	Mittelwert (SD)
Aufmerksamkeitsstörung	14,87 (6,34)	6,44 (4,50)
Überaktivität	7,13 (5,00)	1,61 (2,97)
Impulsivität	4,81 (3,61)	1,65 (2,33)
ADHS-Gesamt	27,49 (13,34)	9,74 (7,98)

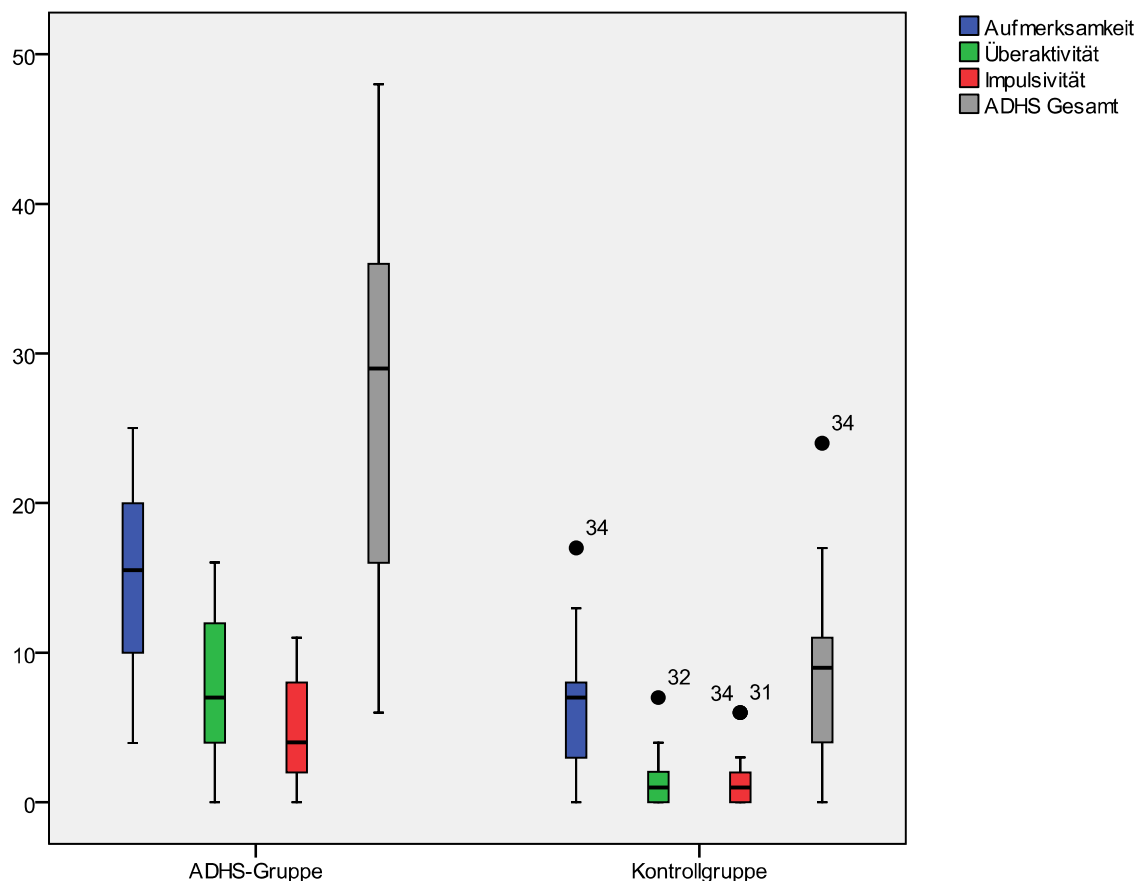


Abbildung 11: Durchschnittliche Rohwertverteilung der FBB-HKS Einschätzungen durch die Eltern für ADHS- und Kontrollgruppe, jeweils für die Skalen „Aufmerksamkeit“, „Überaktivität“, „Impulsivität“ und „ADHS-Gesamt“.

2.5.2 Ergebnisse

2.5.2.1 Performanz in den Attentional-Blink-Aufgaben

Verbal-Aufgabe. Bei drei der insgesamt 25 teilnehmenden ADHS-Kindern wurde die AB-Aufgabe mit verbalem Stimulusmaterial nicht durchgeführt bzw. vorzeitig abgebrochen. Grund hierfür war eine komorbid vorliegende Lese-Rechtschreibstörung, was zur Folge hatte, dass die Kinder nicht in der Lage waren, die vorgelegten Zielwort-Listen richtig vorzulesen bzw. die Wörter während der Aufgabe schnell genug zu lesen und wiederzugeben.

Die durchschnittliche Erkennungsleistung des ersten Zielreizes lag für die Gruppe der ADHS-Kinder bei 83%, die Teilnehmer aus der Kontrollgruppe erkannten im Durchschnitt

etwa 10% mehr. Dieser Unterschied erwies sich als signifikant ($F(1,45) = 8,45; p < 0,01$). Abbildung 12a stellt die T1-Erkennungsleistung für beide Gruppen in Abhängigkeit vom jeweiligen Lag dar. Für beide Gruppen ergaben paarweise Vergleiche signifikant schlechtere Erkennungsraten für T1-Wörter im kürzesten Lag verglichen mit allen übrigen Lags (alle $ps < 0,05$). In der ADHS-Gruppe wurde zusätzlich der Unterschied zwischen den Leistungen in Lag 3 und Lag 5 signifikant ($p < 0,05$).

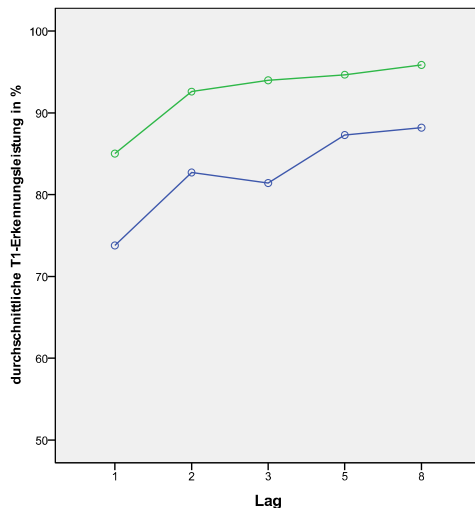


Abb.12a

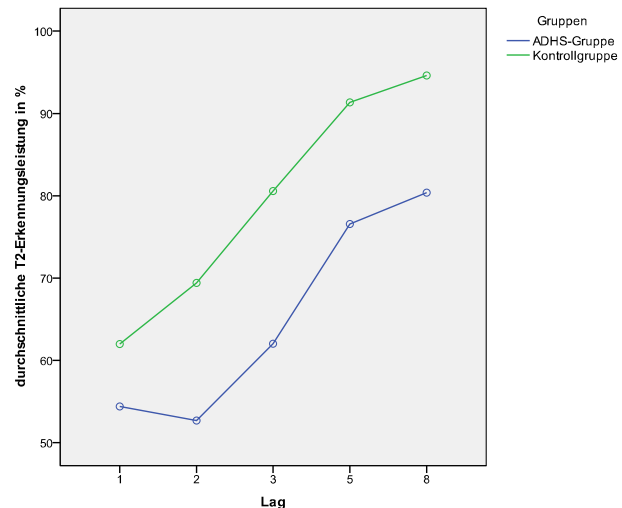
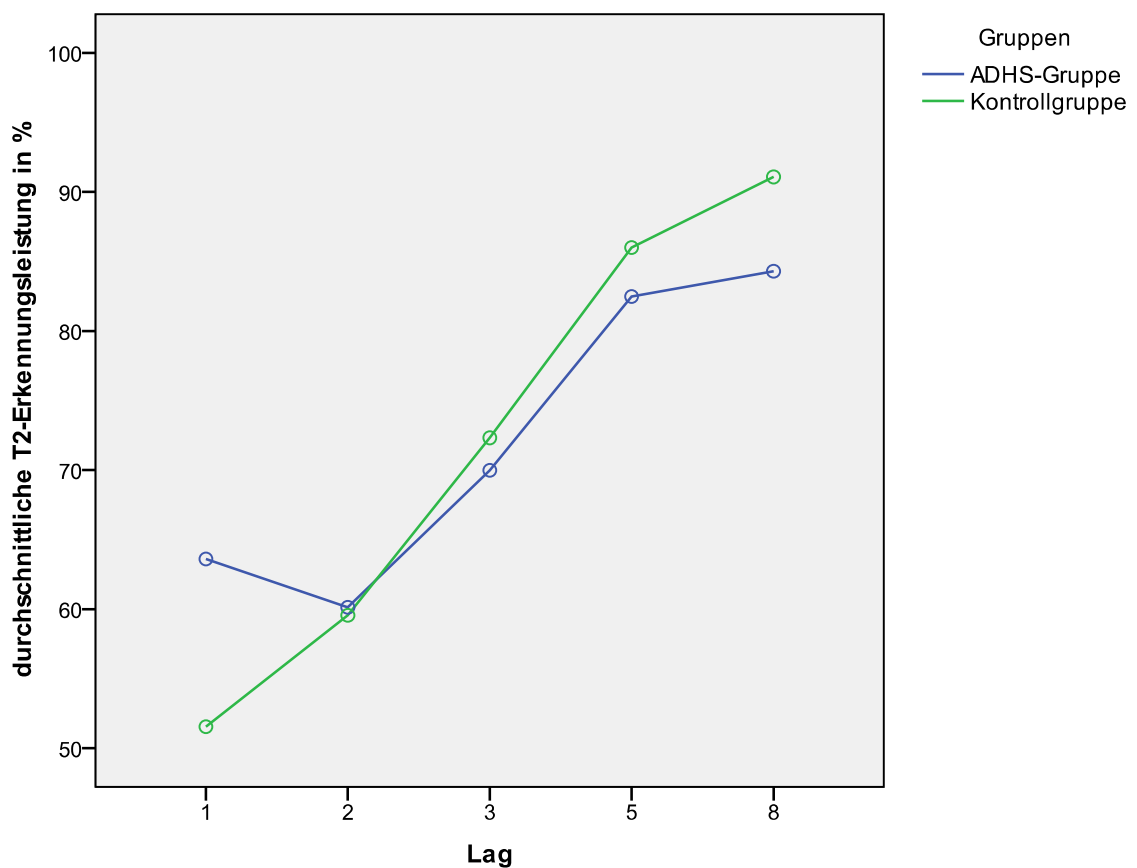


Abb. 12b

Abbildung 12: Durchschnittliche Identifikationsleistung für ADHS- (blau) und Kontrollgruppe (grün) in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Verbal-Aufgabe. a. T1-Reize. b. T2-Reize; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Wörter berücksichtigt.

Die Erkennung des zweiten Zielreizes ist in Abbildung 12b dargestellt. Die Kinder der ADHS-Gruppe gaben bei kurzem Abstand zwischen T1 und T2 54% (Lag 1) bzw. 53% (Lag 2) der zweiten Zielwörter richtig wieder. Entsprechend der bereits beschriebenen Studien wurden auch hier nur Durchgänge mit korrekt wiedergegebenem T1 berücksichtigt. Ihre beste Leistung erreichte die Untersuchungsgruppe im längsten Intervall Lag 8 mit einer durchschnittlichen Erkennungsrate von 80%. Bei den Kontrollkindern ergab sich eine insgesamt höhere Erkennungsrate, die einen linearen Verlauf zeigt: Sie erkennen im kürzesten Intervall Lag 1 im Durchschnitt 60% der zweiten Zielreize, was sich im längsten Intervall Lag 8 stetig auf eine Erkennungsleistung von 95% steigert. Eine univariate Varianzanalyse mit dem Messwiederholungsfaktor Lag ergab sowohl signifikante Unterschiede für die einzelnen Lags ($F(4,180) = 44,03; p < 0,001$) als auch einen signifi-

kanten Leistungsunterschied zwischen den Gruppen ($F(1,45) = 7,25; p < 0,05$). Aufgrund des statistisch bedeutsamen Unterschieds zwischen den beiden Gruppen wurde in einer weiteren Varianzanalyse die mittlere Gesamterkennungsrate für T2 als Kovariate eingeführt. Eine graphische Darstellung des Ergebnisses findet sich in Abbildung 13. Hier wird deutlich, dass bei einer Nicht-Bewertung des Leistungsniveaus eine Annäherung der Leistungsprofile beider Gruppen stattfindet. Lediglich die Leistungen in Lag 1 unterscheiden deutlich zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe. Während die ADHS-Kinder im kürzesten Intervall bessere Ergebnisse erzielen als im zweiten Intervall (sog. Lag 1-Sparing), zeigen die Kontrollkinder dieses Muster nicht. Ihre Erkennung steigt vom kürzesten bis zum längsten Intervall linear an.



Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet: Wort T2 Perf = 72.1056

Abbildung 13: Durchschnittliche Identifikationsleistung für ADHS- (blau) und Kontrollgruppe (grün) in Prozent unter Verwendung der T2-Gesamtleistung als Kovariate. Dargestellt als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Verbal-Aufgabe.

In einem nächsten Schritt wurden die T2-Leistungen der ADHS-Gruppe aus der vorliegenden Studie mit den Leistungen der Gruppen aus Studie 1a verglichen. Das mittlere Alter der hier untersuchten ADHS-Kinder betrug 11 Jahre und 17 der 25 Probanden besuchten die fünfte oder sechste Schulklasse. Eine ANOVA mit Messwiederholung auf dem Faktor Lag ergab einen signifikanten Gruppeneffekt ($F(4,184) = 51,21; p < 0,001$) sowie eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Lag ($F(16,736) = 4,97; p < 0,001$). Leistungsvergleiche zwischen den einzelnen Gruppen ergaben signifikante Differenzen. Die Leistung der ADHS-Kinder erwies sich als signifikant schlechter im Vergleich zur Gruppe der Fünft- und Sechstklässler sowie zur Gruppe der Siebt- bis Zehntklässler. Die Gruppe der ADHS-Kinder zeigte fast identische Leistungen wie die Gruppe der Dritt- und Viertklässler, die im Schnitt zweieinhalb Jahre jünger waren. Abbildung 14 veranschaulicht die T2-Erkennungsleistung der Gruppen aus Studie 1a sowie der hier untersuchten ADHS-Gruppe.

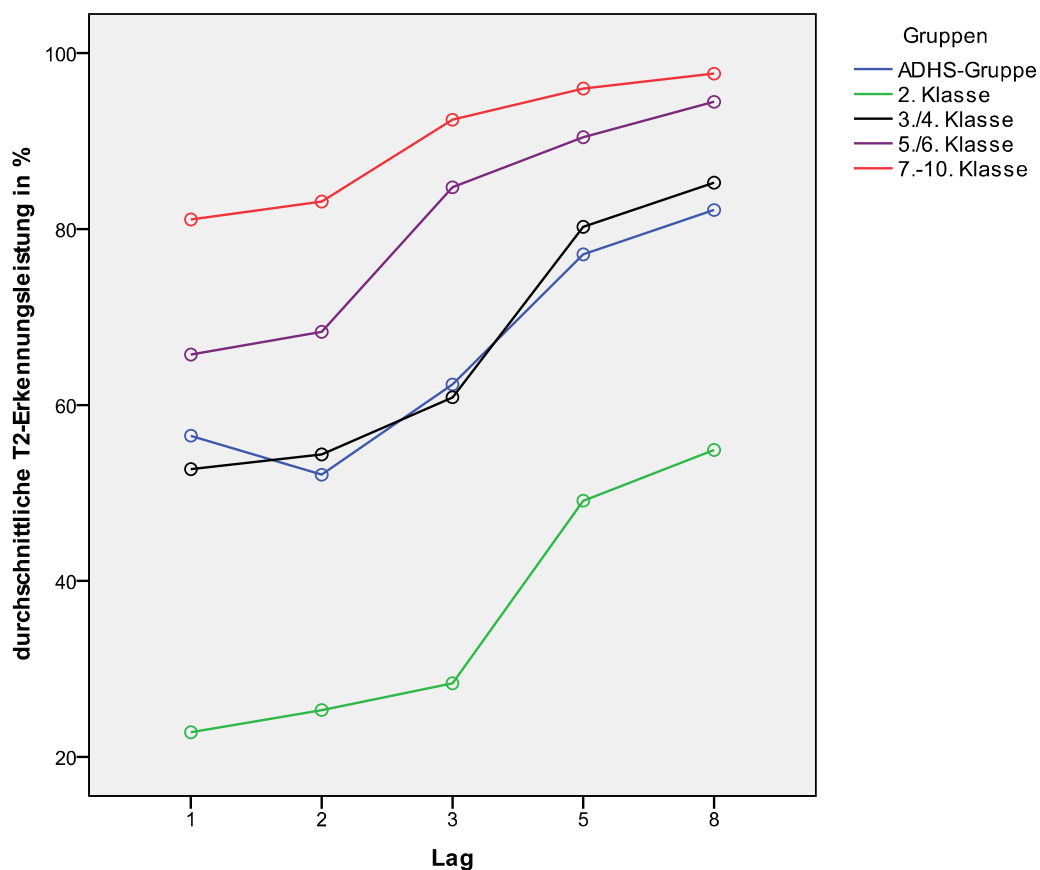


Abbildung 14: Durchschnittliche T2-Identifikationsleistung für alle vier Untersuchungsgruppen aus Studie 1a sowie die ADHS-Gruppe der vorliegenden Studie in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Verbal-Aufgabe; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Wörtern berücksichtigt.

Symbol-Aufgabe. Aufgrund technischer Mängel wurden die Datensätze von drei ADHS-Kindern nicht gespeichert und gehen somit nicht in die weiteren statistischen Analysen ein. Es bearbeiteten also insgesamt 22 ADHS- und 25 Kontrollkinder die Symbol-Aufgabe. Im Mittel erkannte die Gruppe der ADHS-Kinder 88% der ersten Zielreize, während die Gruppe der Kontrollkinder in etwa 93% der Durchgänge den T1 richtig auswählte. Dieser Unterschied ist statistisch bedeutsam ($F(1,46) = 5,05$; $p < 0,05$). Innerhalb der Gruppen wurden keine Lag-Effekte deutlich. Die T1- Erkennungsleistungen in Abhängigkeit vom jeweiligen Lag sind für beide Gruppen in Abbildung 15a dargestellt.

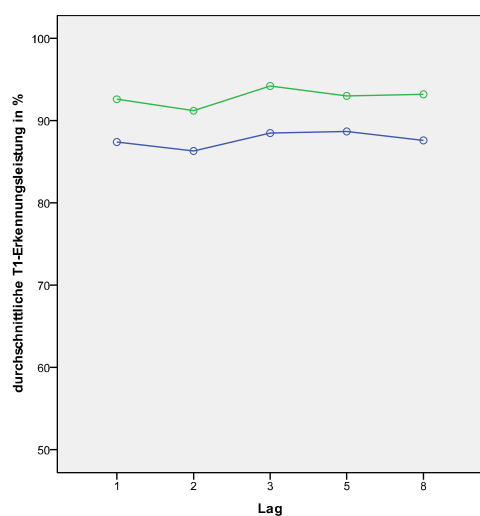


Abb. 15a

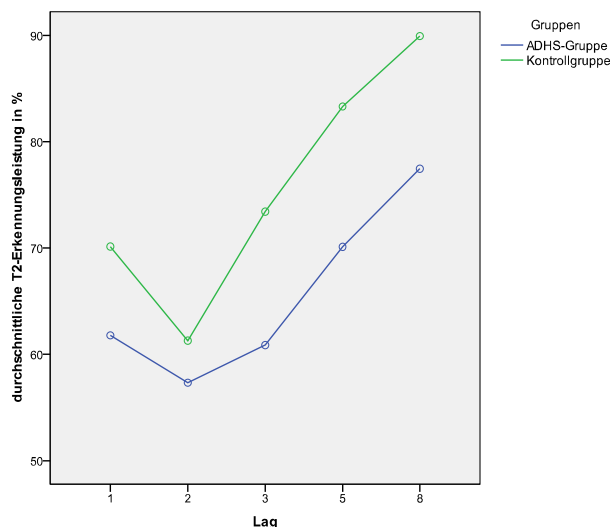
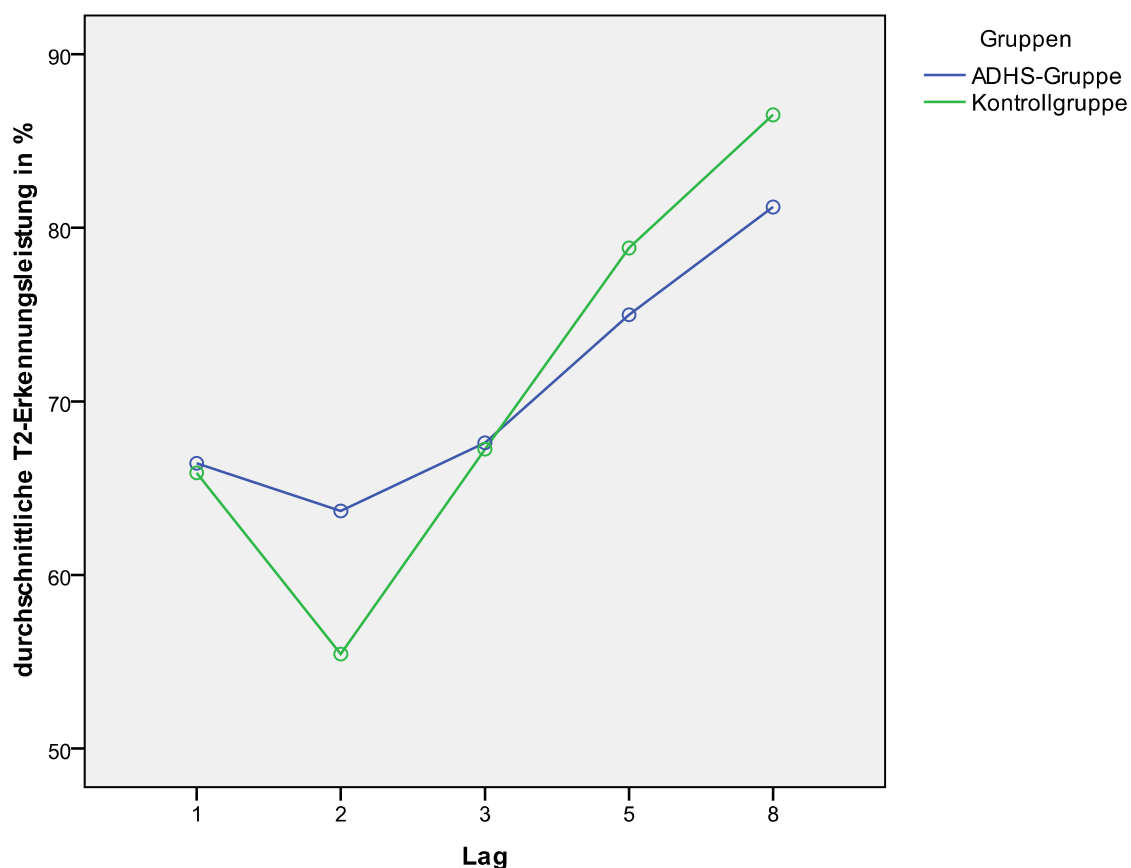


Abb. 15b

Abbildung 15: Durchschnittliche Identifikationsleistung für ADHS- (blau) und Kontrollgruppe (grün) in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Symbol-Aufgabe. a. T1-Reize. b. T2-Reize; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Symbole berücksichtigt.

Bezüglich der Erkennungsrate für den zweiten Zielreiz T2 sind die Ergebnisse in Abbildung 15b veranschaulicht. Besonders augenscheinlich wird hier das deutlich verflachte Reaktionsprofil der Kinder mit ADHS. Eine multifaktorielle Varianzanalyse mit dem Messwiederholungsfaktor Lag ergab signifikante Unterschiede zwischen den Lags ($F(4,184) = 22,72$; $p < 0,001$), aber keine auffällige Interaktion zwischen Gruppe und Lag. Vergleicht man die Leistungen der beiden Gruppen miteinander, so schneidet die ADHS-Gruppe signifikant schlechter ab als die Kontrollgruppe ($F(1,46) = 8,26$; $p < 0,01$). Analog zur Verbal-Aufgabe wurde auch hier eine Kovarianzanalyse mit der mittleren T2-Erkennungsleistung als Kovariate durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen signifikante Unter-

schiede zwischen den einzelnen Lags ($F(4,180) = 4,32; p < 0,005$) und bei Betrachtung der graphischen Darstellung (siehe Abbildung 16) bestätigt sich das deutlich verflachte Blink-Profil der ADHS-Kinder. Ihre Erkennungsleistungen sind zwar insgesamt schwächer, den typischen Leistungseinbruch im kritischen Lag 2 zeigen sie jedoch nicht. Dieser Befund deutet auf ein noch unausgereiftes Attentional-Blink-Profil bei den ADHS-Kindern im Vergleich zu gleichaltrigen Kontrollen hin.



Die Kovariaten im Modell werden anhand der folgenden Werte berechnet: $\text{Sym_T2_Perf} = 70,7805$

Abbildung 16: Durchschnittliche Identifikationsleistung für ADHS- (blau) und Kontrollgruppe (grün) in Prozent unter Verwendung der T2-Gesamtleistung als Kovariate. Dargestellt als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Symbol-Aufgabe.

Analog zur Analyse der verbalen AB-Aufgabe wurde auch für die Bearbeitung des Symbol-Teils ein Vergleich zwischen den T2-Erkennungsleistungen der Gruppe der ADHS-Kinder und den vier Untersuchungsgruppen aus Studie 1a angestellt. Ebenfalls analog ergab die Varianzanalyse mit Messwiederholung auf dem Faktor Lag einen signifikanten

Gruppenunterschied ($F(4,188) = 38,02; p < 0,001$) sowie eine statistisch bedeutsame Interaktion zwischen Gruppe und Lag ($F(16,752) = 2,15; p < 0,005$). Die Leistungen der ADHS-Gruppe lag auch für die Symbolerkennung signifikant unterhalb der durchschnittlichen Leistung der beiden ältesten Gruppen aus Studie 1a (Fünft- und Sechstklässler, sowie Siebt- bis Zehntklässler). Keine Unterschiede ergaben sich im Vergleich mit der Gruppen der Zweit- sowie der Dritt- und Viertklässler. In Abbildung 17 ist der Verlauf der Erkennungsleistung des T2-Symbols für alle fünf Gruppen graphisch dargestellt.

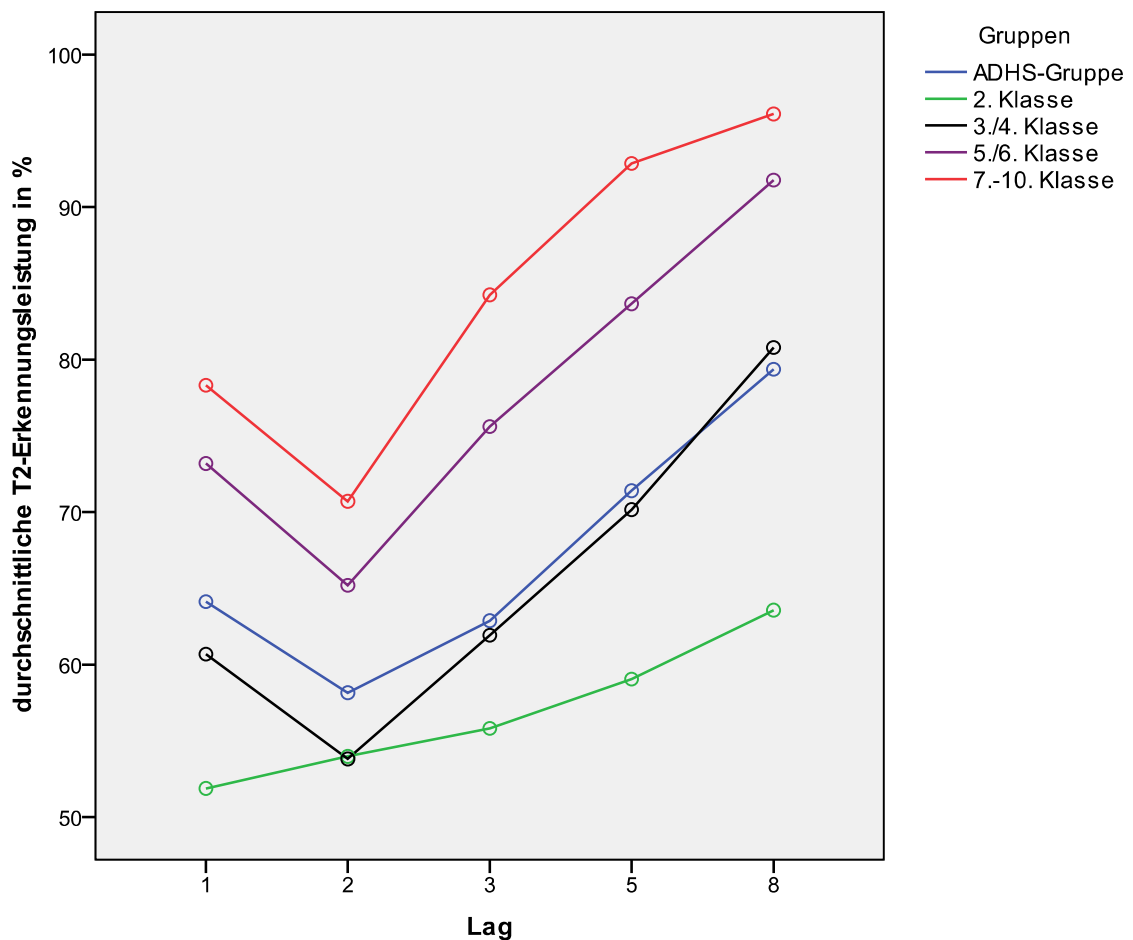


Abbildung 17: Durchschnittliche T2-Identifikationsleistung für alle vier Untersuchungsgruppen in Prozent und als Funktion des Lag-Intervalls (SOA) für die Symbol-Aufgabe; bei der Bestimmung der T2-Antwortgenauigkeit wurden nur Durchgänge mit korrekt erkannten T1-Symbole berücksichtigt.

2.5.2.2 Performanz in den psychometrischen Tests

Beide Gruppen erreichten in den psychometrischen Untersuchungen Ergebnisse im Normbereich der jeweiligen Altersstufe. Der mittlere T-Wert der ADHS Gruppe für die Bearbeitung der Matrizenaufgabe SPM lag bei $M = 44,05$ ($SD = 10,83$; Spannweite = 23 – 64), die Kinder der Kontrollgruppe erreichten im Durchschnitt 5 T-Wert-Punkte mehr ($M = 49,32$; $SD = 9,73$; Spannweite = 36 – 73). Diese Differenz ist statistisch nicht signifikant. Auch die Leistungen der beiden Gruppen im Zahlennachsprechen vorwärts bzw. rückwärts unterschieden sich nicht. Im Mittel konnten die Kinder vorwärts vier (ADHS-Gruppe: $M = 3,78$; Kontrollgruppe: $M = 4,14$) rückwärts drei Ziffern wiederholen (ADHS-Gruppe: $M = 2,99$; Kontrollgruppe: $M = 2,98$). Diese Leistungen sind vergleichbar mit den Ergebnissen der Fünft- und Sechstklässler aus Studie 1a.

2.5.2.3 Psychometrische Testwerte und Attentional Blink

Ein Zusammenhang zwischen dem Maß der allgemeinen kognitiven Leistungsfähigkeit (SPM) und der Performanz in den Attentional-Blink-Aufgaben besteht nicht.

Über alle Versuchsteilnehmer hinweg, findet sich für die *Verbal-Aufgabe* ein positiver Zusammenhang zwischen der Erkennungsrate des ersten Zielwortes in Lag 1 und der Länge der Ziffernspanne vorwärts (Pearsons $r = 0,311$; $p < 0,05$), sowie ein positiver Zusammenhang zwischen der Erkennungsrate in Lag 8 und der Ziffernspanne rückwärts (Pearsons $r = 0,319$; $p < 0,05$). Für die Detektionsleistung der zweiten Zielwörter besteht ein Zusammenhang zur Länge der Ziffernspanne für die späten Lags 5 und 8: Es zeigt sich ein positiver Zusammenhang zwischen der Anzahl richtig erkannter T2-Reize in Lag 5 und dem Zahlennachsprechen vorwärts (Pearsons $r = 0,349$; $p < 0,05$) sowie der T2-Reproduktionsrate in Lag 8 und dem Zahlennachsprechen rückwärts (Pearsons $r = 0,319$; $p < 0,05$).

In der *Symbol-Aufgabe* ergibt sich keine statistisch bedeutsame Korrelation zwischen der Erkennung der T1-Symbole und der Länge der Ziffernspanne. Für die T2-Erkennung wurde eine positive Korrelation zwischen der T2-Erkennung im Lag 5 und der Anzahl reproduzierter Ziffern vorwärts (Pearsons $r = 0,345$; $p < 0,05$) und rückwärts (Pearsons $r = 0,295$; $p < 0,05$) gefunden.

Betrachtet man diese Zusammenhänge für die beiden Gruppen getrennt voneinander, so bleibt die Gültigkeit nur für die Gruppe der Kontrollkinder bestehen. Sie zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Erkennungsrate der T1 und T2 Wörter und der Ziffernspanne rückwärts (Pearsons $r = 0,491$ bzw. $r = 0,457$; $ps < 0,05$) während in der Gruppe der ADHS-Kinder keine signifikanten Korrelationen zur Ziffernspanne bestehen.

2.5.3 Diskussion Studie 1c

Im Vergleich zu einer entwicklungsunauffälligen Kontrollgruppe zeigen Kinder und Jugendliche mit ADHS durchweg eine geringere Erkennungsrate in Attentional-Blink-Aufgaben, während das Bearbeitungsprofil dem der altersgematchten Kontrollen ähnlich ist. Sie weisen ebenso wie gesunde Kinder einen AB-typischen Leistungseinbruch in der Erkennung des zweiten Zielreizes auf, wenn dieser innerhalb eines kurzen zeitlichen Abstandes zum ersten Zielreiz erscheint.

Betrachtet man die Ergebnisse der *Verbal-Aufgabe* zeigen ADHS-Kinder eine um etwa 10% verringerte Erkennungsleistung der ersten Zielreize im Vergleich zur Kontrollgruppe. Beide Gruppen zeigen die schlechteste T1-Erkennungsrate im kürzesten Lag 1.

Bei der Erkennung der zweiten Zielworte schneiden Kontrollkinder erneut bedeutsam besser ab als ADHS-Kinder. Eine differenzierte Betrachtung der Leistung in Abhängigkeit der einzelnen Lags verdeutlicht jedoch eine etwas gesteigerte T2-Erkennung in Lag 1 (sog. Lag 1-Sparing) bei den ADHS-Kindern, während die T2-Erkennung der Kontrollgruppe einen linear ansteigenden Verlauf zeigt. In unserer Kovarianzanalyse mit der mittleren T2-Erkennung als Kovariate wird dieser Effekt noch deutlicher: Kinder mit ADHS zeigen ein typisches Lag 1-Sparing, Kontrollkinder nicht. Der Verlauf der T2-Graphen bei Nicht-Beachtung des Leistungsniveaus für die übrigen vier Lags ist fast deckungsgleich (siehe Abbildung 13).

Die Erkennungsleistungen in der *Symbol-Aufgabe* unterscheiden ebenso wie in der *Verbal-Aufgabe* zwischen ADHS- und Kontrollkindern. Die durchschnittliche T1-Erkennungsrate in der ADHS-Gruppe erhöht sich um 5% im Vergleich zur *Verbal-Aufgabe*, während die Kontrollgruppe etwa gleich viele T1-Symbole wie T1-Wörter erkennt. Die Leistungsdiskrepanz zwischen den beiden Gruppen verringert sich somit. Bei einer erhöhten Komorbiditätsrate mit Lese-Rechtschreibstörungen bei ADHS-Kindern ist nicht auszuschließen, dass eine geringere Lesefertigkeit die niedrigere T1-Erkennung in der *Verbal-Aufgabe* mit bedingt hat. Entsprechend den Vorbefunden aus Studie 1a zeigen sowohl ADHS- als auch Kontrollgruppe eine sehr homogene T1-Detektionsrate für die Symbolaufgabe über alle fünf Lags hinweg.

Bezüglich der T2-Erkennung zeigt die Gruppe der ADHS-Kinder im Vergleich zu den Kontrollprobanden eine geringere durchschnittliche Detektionsrate sowie ein deutlich verflachtes Reaktionsprofil. Während die Probanden der Kontrollgruppe ein deutliches Lag 1-Sparing mit charakteristischem Leistungseinbruch in Lag 2 zeigen, verläuft die Erkennungsrate der Untersuchungsgruppe deutlich flacher. In der Kovarianzanalyse mit der

mittleren T2-Erkennung als Kovariate wird das verflachte Reaktionsprofil der ADHS-Kinder veranschaulicht. Sie zeigen bei Nicht-Berücksichtigung der Leistung ein deutlich unreiferes Attentional-Blink-Profil als gleichaltrige Kontrollen (siehe Abbildung 16).

In einem dritten Analyseschritt wurden jeweils für die Verbal- und Symbolaufgabe die T2-Erkennungsleistungen der ADHS-Kinder mit den Leistungen der entwicklungsunauffälligen Probanden aus Studie 1a in Beziehung gesetzt (siehe Abbildung 14 und Abbildung 17). Die Graphik veranschaulicht Leistungsniveau und -profil der Kinder mit ADHS, welche denen der Dritt- und Viertklässler entsprechen. Die Kinder dieser Gruppe waren im Durchschnitt 2,5 Jahre jünger, als die ADHS-Kinder. Diese Befunde stehen in Einklang mit Befunden zur unterschiedlichen Gehirnreifung von Kindern mit und ohne ADHS. In einer Studie mit 223 ADHS-Kindern und ebenso vielen gesunden Kontrollen wurde die Kortexdicke in ihrer Entwicklung untersucht. Shaw und Kollegen (2007) konnten zeigen, dass die Gehirnentwicklung von ADHS-Kindern im Vergleich zu gesunden Kontrollen um etwa drei Jahre verlangsamt verläuft. Betroffen davon sind vor allem präfrontale und temporale Strukturen, die mit der Entwicklung der exekutiven Funktionen, zu denen auch die selektive Aufmerksamkeit zählt, in Verbindung gebracht werden (Shaw, et al., 2007; Shaw, et al., 2006). In einer Studie mit erwachsenen ADHS-Patienten fanden Carr und Kollegen (Carr, Nigg & Henderson, 2006) ein ähnliches Blink-Profil für Erwachsene mit und ohne ADHS-Symptomatik; die Fehlerrate für ADHS-Patienten war jedoch deutlich erhöht.

Der berichtete Zusammenhang zwischen den Leistungen in der Ziffernsparre vorwärts und rückwärts und den Erkennungsleistungen für T1 und T2 in den beiden Attentional-Blink-Aufgaben geht nur auf die Gruppe der Kontrollkinder zurück. Es zeigt sich ein bedeutsamer Zusammenhang zwischen der Fähigkeit zur Reproduktion von Ziffern rückwärts und der Anzahl erkannter T1- und T2-Wörter. Für die Symbol-Aufgabe ergibt sich getrennt voneinander für keine der beiden Gruppen ein statistisch bedeutsamer Zusammenhang mit der Länge der Ziffernsparre.

Die Aufgabe des Ziffernachsprechens als Teil des Hamburg-Wechsler-Intelligenztests und als Maß der Gedächtnisspanne steht bei gesunden, entwicklungsunauffälligen Kindern im Zusammenhang mit dem schnellen Lesen von Wörtern. Für die Gruppe der ADHS-Kinder zeigt sich dieser Zusammenhang nicht.

2.6 Zusammenfassung und Implikation Experiment I

In der Zusammenschau bilden die oben beschriebenen Studien Bearbeitungsprofil und –performanz bei visuellen Attentional-Blink-Aufgaben in ihrer Entwicklungstrajektorie für gesunde und aufmerksamkeitsbeeinträchtigte Kinder ab. Es zeigt sich ein früh ausgeprägtes und über die Zeit relativ stabiles AB-Profil bei mit zunehmendem Alter ansteigenden Erkennungsraten sowohl für die ersten als auch die zweiten Zielreize.

Die Ergebnisse der Verbal-Aufgabe verdeutlichen ein relativ früh ausgeprägtes AB Profil, das dem von erwachsenen Probanden bereits ähnlich ist. So weisen bereits Kinder der ersten Grundschulklasse einen AB-typischen Leistungseinbruch in der Erkennungsrate des zweiten Zielreizes auf, wenn dieser innerhalb von ca. 350-500 ms nach dem ersten Zielreiz präsentiert wird. Diese Phase reduzierter Erkennungsleistung ist in der Verbal-Aufgabe bei den jüngsten Studienteilnehmern (Grundschüler) verlängert und erstreckt sich über die Lags 1 bis 3. Schüler der Sekundarstufe verschlechtern ihre Erkennungsleistung nur noch in den ersten beiden Lags. Je älter die Teilnehmer also werden, umso reifer ihr Erkennungsprofil. Die Erkennungsrate steigt sowohl für den ersten als auch den zweiten Zielreiz mit zunehmendem Alter.

Betrachtet man die Befunde der Symbol-Aufgabe zeigt sich neben eines über alle Gruppen hinweg stabilen Bearbeitungsprofils für T1 und T2 auch eine homogenere Erkennungsrate. Die Erkennungsleistung für den ersten Zielreiz unterscheidet in der non-verbalen Aufgabe nur sehr geringfügig zwischen den Altersgruppen. Ebenso variieren die Raten für T2 weniger. Eine verlängerte Blink-Periode wurde nicht beobachtet. Im Gegensatz zur verbalen Aufgabe tritt bei Kindern ab der dritten Klasse das Phänomen des Lag 1-Sparing auf, das in etwa der Hälfte aller AB-Studien gefunden wird.

Im Vergleich zwischen verbaler und non-verbaler Attentional-Blink-Aufgabe liegt die Vermutung nahe, dass in der verbalen Aufgabe die Lesefähigkeit der Kinder einen bedeutsamen Einfluss gehabt hat. Die Automatisierung des Leseprozesses sowie die Erfahrung im Umgang mit verbalem Material nehmen mit steigendem Alter zu und wirken sich neben der generellen Hirnreifung positiv auf die Erkennungsrate der verbalen Reize aus. Umgekehrt wirkt sich mangelndes Lesevermögen und fehlende Erfahrung negativ aus. In der Symbol-Aufgabe hingegen scheint der Erfahrungsstand der Kinder ähnlicher zu sein. Die Leistungen der Gruppen liegen näher beieinander; sie zeigen ein homogenes Bearbeitungsprofil sowie weniger diskrepante Erkennungsraten. Die Fähigkeit zur schnellen zeitlichen Aufmerksamkeitsallokation scheint demnach bereits bei Grundschulern ausgeprägt zu sein und sich im Laufe der Entwicklung zwar noch stetig zu verbessern, aber nicht mehr grundlegend zu ändern. Erfordert die Attentional-Blink-

Aufgabe neben der schnellen Zuweisung von Aufmerksamkeit zusätzlich Lesefertigkeiten, haben diese einen modulierenden Einfluss auf Erkennungsprofil und –rate.

Entsprechend vorliegender Befunde zur verzögerten Hirnreifung bei ADHS-Kindern (Shaw, et al., 2007) zeigt diese Untersuchungsgruppe in der Bearbeitung verbaler und non-verbaler AB-Aufgaben Profil und Erkennungsrate, die denen von durchschnittlich drei Jahre jüngeren Kindern entsprechen. Diese Befunde sprechen eher für eine verzögerte Hirnreifung bei ADHS-Kindern als für grundlegende Verarbeitungsunterschiede in der Bearbeitung einer AB-Aufgabe.

Perspektivisch scheint es notwendig auch relevante elektrokortikale Parameter bei Kindern und Jugendlichen mit und ohne ADHS während der Bearbeitung einer AB-Aufgabe zu erheben, um den Prozess der Aufmerksamkeitsallokation und Stimulusverarbeitung in seiner zeitlichen Dynamik noch genauer abzubilden. Auf der Basis der vorliegenden Daten lässt sich diskutieren, ob das Attentional-Blink-Paradigma sich als verlässliches Instrument bei der Diagnostik einer ADHS eignen könnte. Verglichen mit gesunden Kontrollprobanden bleibt die Erkennungsleistung der ADHS-Kinder hinter denen gleichaltriger Kontrollen zurück. Ein verändertes Bearbeitungsprofil zeigt sich jedoch nicht. Sollten sich diese Befunde in weiteren Studien manifestieren lassen, könnte in einem nächsten Schritt überlegt werden, wie das Attentional-Blink-Paradigma in der ADHS-Diagnostik Anwendung finden könnte. Auf Grund der hohen Komorbidität mit Lese- Rechtschreibschwächen bei ADHS-Kindern käme jedoch nur die Stimulation mit non-verbalem Material in Frage.

3 Experiment II

In Experiment II wird der behaviorale Unterschied zwischen Kindern mit und ohne ADHS in Bezug auf ihre Reaktionsgeschwindigkeit und -genauigkeit in einer Flanker-Aufgabe untersucht. Wie bereits oben beschrieben geht man davon aus, dass die Kerndefizite der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung auf eine Reihe kognitiver Prozesse zurückzuführen sind, die in Zusammenhang mit den Exekutivfunktionen, insbesondere mit Aspekten der selektiven Aufmerksamkeit und Reaktionsinhibition, stehen (Barkley, 1997).

3.1 Theoretischer Überblick

Während die Stimuluspräsentation im vorangegangenen Attentional-Blink-Paradigma seriell und in schneller zeitlicher Abfolge erfolgt, werden in einer klassischen Flanker-Aufgabe die aufgabenirrelevanten Reize, die sogenannten Flanker, simultan präsentiert. Die Eriksen-Flanker-Aufgabe (Eriksen & Eriksen, 1974) ist ein bewährtes Paradigma zur Untersuchung selektiver Aufmerksamkeit auf behavioraler und neurophysiologischer Ebene. Im Vergleich zur Attentional-Blink-Aufgabe, bei der mehrere Zielreize seriell verarbeitet werden müssen, erfolgt die Präsentation von einem Zielreiz und mehreren Ablenkreizen üblicherweise simultan. In einem typischen Flanker-Design besteht die Aufgabe der Versuchspersonen darin, die rechte Taste zu drücken, wenn der Zielreiz (in den meisten Fällen ein Pfeil) nach rechts zeigt bzw. die linke Taste zu drücken, wenn der Pfeil nach links zeigt. Der Zielreiz wird als mittlerer Reiz in einer Reihe mit flankierenden Ablenkreizen präsentiert, die entweder kongruent (Pfeile zeigen in die gleiche Richtung) oder inkongruent (Pfeile zeigen in die entgegengesetzte Richtung) zum Zielreiz sind. Reaktionszeit und Genauigkeit im Antwortverhalten verschlechtern sich in der Regel dann, wenn die irrelevanten Flanker-Reize widersprüchliche Informationen im Vergleich zu den Zielreizen enthalten. Man spricht in diesem Fall von Interferenz.

Im Gegensatz zur klassischen simultanen Darbietung werden die Flanker in der vorliegenden Studie in drei unterschiedlichen zeitlichen Abständen zum Zielreiz gezeigt. Dies erlaubt die genauere Untersuchung der zeitlichen Dynamik bei attentionaler Interferenz (kongruente vs. inkongruente Durchgänge) insbesondere in frühen Verarbeitungsstadien. Da früheste Aufmerksamkeitsprozesse mit Verhaltensdaten nur bedingt untersucht werden können, werden in Experiment II zusätzlich der Aufgabenbearbeitung zugrundeliegende neuronale Prozesse mittels Elektroenzephalogramm (EEG) untersucht und zu den Verhaltensdaten in Beziehung gesetzt. Die Auswertung ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs) ermöglicht eine zeitechte Untersuchung schnell aufeinanderfolgender Verarbeitungsschritte, so dass mögliche Verarbeitungsunterschiede zwischen ADHS- und

Kontrollkindern aufgedeckt werden können, die in den Verhaltensdaten unentdeckt bleiben.

In den folgenden Abschnitten wird zunächst die Technik der EKPs beschrieben, bevor auf die bisherige Evidenz zur Bearbeitung von Flanker-Aufgaben eingegangen wird, aus der dann Fragestellung und Hypothesen für das aktuelle Experiment abgeleitet werden.

3.1.1 Elektroenzephalographie und ereigniskorrelierte Potentiale

3.1.1.1 Physiologische Grundlage und methodisches Vorgehen

Die Informationsverarbeitung im Gehirn beruht auf elektrischen Impulsen. Die simultane Aktivierung großer Zellansammlungen von mehr als 10000 Nervenzellen erzeugt ein elektrisches Signal, das mittels empfindlicher Elektroden an der Schädeloberfläche messbar ist. Die elektrische Aktivität auf der Schädeloberfläche schwankt zwischen 0 und ca. 100 μV . Die Ableitung und Aufzeichnung dieser Spannungsunterschiede bezeichnet man nach Hans Berger (1929) als Elektroenzephalogramme (EEG).

Berger gilt als Pionier des Human-EEGs und brachte erstmals charakteristische Veränderungen in EEG-Aufzeichnungen mit spezifischen kognitiven Funktionen in Verbindung. Er nahm an, dass ein präsentierter Stimulus eine spezifische Reaktion im EEG des Probanden auslöst und dass diese stimulus- bzw. ereigniskorrelierte Aktivität Verarbeitungsprozesse dieses Stimulus abbildet. Es wird davon ausgegangen, dass solche ereigniskorrelierten Potentiale (EKP) durch die synchrone Aktivierung von großen Neuronenverbänden ausgelöst werden, die an der Verarbeitung eines spezifischen Stimulus beteiligt sind.

EKPs machen in einer EEG-Ableitung nur einen kleinen Teil des aufgezeichneten Signals aus und sind im Spontan-EEG nicht zu erkennen. Das Signal-Rausch-Verhältnis ist zu schlecht. Bei Wiederholung ein und desselben Ereignisses zeigt das Gehirn auf dieses Ereignis immer ähnliche Antworten, während die spontan generierten Signale, das sogenannte Hintergrundrauschen, zufällig verteilt sind. Zur Erkennung und Auswertung der EKPs bedient man sich daher der statistischen Methode der Mittelung: Aus der kontinuierlichen EEG-Aufzeichnung werden Zeitabschnitte extrahiert, die Stimulus-Onset bzw. Reaktion des Probanden umfassen. Mehrere solcher Epochen in denen ein (zumindest konzeptuell) identischer Stimulus präsentiert wurde, werden gemittelt. Je kleiner das zu untersuchende EKP ist, desto mehr Epochen müssen gemittelt werden um ein ausreichendes Signal-Rausch-Verhältnis zu erreichen. Dieses Vorgehen setzt allerdings die Annahme voraus, dass der zeitliche Abstand zwischen Stimulus-Onset und ereigniskorre-

lierter Gehirnaktivität sowie die Ausprägung des EKPs auf die einzelnen Stimuli einer Kategorie über alle Durchgänge identisch ist. EKPs bilden daher hauptsächlich Prozesse ab, die über die Dauer der Messung zeitlich stabil bleiben und in ihrer Ausprägung nicht variieren.

3.1.1.2 Definition und Interpretation von EKP-Komponenten

Typischerweise weist die Wellenform eines EKPs unterschiedliche Gipfel und Täler auf. Diese werden als Komponenten bezeichnet und können über ihre Polarität (positiv vs. negativ), ihre Latenz in Millisekunden relativ zum Erscheinen des Reizes, ihre Amplitude (in μV) und ihre topographische Verteilung auf der Schädeldecke unterschieden werden. Die einfachste Klassifikation der verschiedenen EKP-Komponenten ist deren Einteilung in endogene und exogene Potentiale (Donchin, Ritter & McCallum, 1978). Exogene Potentiale sind durch psychologische Variablen nicht veränderbar, sie sind alleine von der physikalischen Beschaffenheit des Reizes abhängig (z.B. Intensität) und treten im Zeitraum bis etwa 80 ms nach Erscheinen des Reizes auf.

Spätere Komponenten werden als endogene Potentiale bezeichnet und spiegeln psychologische Prozesse wider. Sie sind nicht ausschließlich durch physikalische Reizeigenschaft oder –modalität bestimmt, sondern auch durch „höhere“ kognitive Prozesse beeinflusst (z.B. durch Aufmerksamkeitsprozesse, Aufgabenanforderungen oder Erwartungen des Probanden). In der vorliegenden Untersuchung sind primär endogene EKP-Komponenten von Interesse, da kognitive Verarbeitungsunterschiede zwischen ADHS Kindern und Kontrollprobanden untersucht werden sollen. Desweiteren werden EKP-Komponenten nach ihren funktionalen (im Gegensatz zu physiologischen) Eigenschaften betrachtet und interpretiert. Das bedeutet, dass EKPs auf verschiedene experimentelle Bedingungen miteinander verglichen werden und Abweichungen auf unterschiedliche zugrunde liegende kognitive Prozesse zurückgeführt werden.

Im nächsten Abschnitt werden einige EKP-Komponenten, die mit Aufmerksamkeitsprozessen und Interferenzverarbeitung im Flankerparadigma in Verbindung gebracht wurden, mit ihren gängigen funktionellen Interpretationen eingeführt.

3.1.1.3 EKP-Komponenten der Aufmerksamkeit

Die ersten Effekte von Aufmerksamkeit zeigen sich im EKP bei etwa 100 ms nach Stimulus-Onset. In diesem Zeitbereich werden exogene, sensorische Komponenten von ersten endogenen Komponenten überlagert. Das Erscheinen eines visuellen oder auditiven Reizes ruft den sogenannten N1-/P2-Komplex hervor, bestehend aus einer **N**egativierung etwa 100 ms und einer **P**ositivierung etwa 200 ms nach Erscheinen des Stimulus. Diese

Komponenten werden in den primären sensorischen Kortizes generiert und zählen somit zu den frühesten EKP-Korrelaten kortikaler Reizverarbeitung (Luck, Heinze, Mangun & Hillyard, 1990). Obwohl der Einfluss der physikalischen Reizeigenschaften zu diesem frühen Zeitpunkt noch sehr groß ist, zeigen sich erste Modulationen, die auf Prozesse selektiver Aufmerksamkeit zurückgeführt werden können. Üblicherweise wird eine Amplitudenvergrößerung der N1-Komponente beobachtet, wenn Durchgänge, in denen der Proband den Stimulus beachtet, mit Durchgängen in denen der Stimulus nicht beachtet wurde, verglichen werden. Man geht davon aus, dass diese Amplitudenvergrößerung bei beachteten Reizen aufmerksamsbezogene kognitive Aktivität abbildet, welche die Verarbeitung des Reizes erleichtert (Hillyard, Hink, Schwent & Picton, 1973; Näätänen & Picton, 1987). Je größer die N1, umso aufmerksamer die Verarbeitung des Reizes, d.h. umso mehr kognitive Ressourcen werden der Verarbeitung des Reizes gewidmet (Callaway & Halliday, 1982). Die N1 bildet somit die Zuwendung der Aufmerksamkeit hin zu einem aufgabenbezogenen Reiz ab (Luck, Heinze, Mangun & Hillyard, 1990). Im Entwicklungsverlauf wird mit zunehmendem Alter eine kürzer werdende N1 Latenz beschrieben (Martin, Delpont, Suisse, Richelme & Dolisi, 1993; Oades, Dittmann-Balcar & Zerbin, 1997). Doucet und Kollegen fanden in einer Studie mit Probanden zwischen drei und 22 Jahren eine verspätete N1 Latenz bei Kindern unter 13 Jahren. Zwischen Teenage- und frühem Erwachsenenalter veränderte sich die N1-Latenz nur noch geringfügig und die Befunde entsprachen denen von erwachsenen Probanden (Doucet, Gosselin, Lassonde, Guillemot & Lepore, 2005). In einer Studie mit visuellen und auditiven Stimuli die Probanden zwischen sieben und 20 Jahren in einem Oddball-Paradigma präsentiert wurden, fand Johnson ebenfalls eine deutlich verspätete N1-Latenz für visuelle Reize in Abhängigkeit vom Alter der Probanden (Johnson, 1989). Diese Entwicklung scheint zum einen mit der Reifung des Frontalkortex, zum anderen mit der Entwicklung der primären sensorischen Kortizes in Zusammenhang zu stehen (Foster, Eskes & Stuss, 1994). Die Kortexdichte bei Kindern mit ADHS entwickelt sich im Vergleich zu gesunden Kontrollen gleichen Alters verlangsamt. Diese Verzögerung tritt am deutlichsten in präfrontalen Gehirnregionen auf (Shaw, et al., 2007). Die Befunde stehen in Einklang mit Befunden verlängerter EKP-Latenzen bei ADHS-Kindern (Karayanidis, et al., 2000).

Eine weitere Negativierung, die mit Aufmerksamkeitsprozessen in Verbindung gebracht wird, ist die **N2**, die etwa 200 ms nach Stimulus-Onset sichtbar wird. Im Gegensatz zur N1-Komponente, die bei genügend großem Interstimulusintervall obligatorisch auf jeden präsentierten Reiz auftaucht, tritt die N2 unter anderem dann auf, wenn ein Reiz sich vom vorherigen Kontext abhebt (Coles & Rugg, 1995). Dies wird klassischerweise im sogenannten „Oddball“-Paradigma untersucht, in dem das EKP auf häufige Standardreize mit

dem auf seltene abweichende Reize verglichen wird. Ein funktioneller Aspekt der N2, der für die aktuelle Studie jedoch sehr viel relevanter ist, ist ihr Auftreten in sogenannten Go-NoGo Paradigmen. Die hier beobachtete erhöhte N2 Amplitude auf NoGo-Durchgänge, die unabhängig von der Häufigkeit dieser Durchgänge auftritt, wird als Indikator für Antwortunterdrückung und Konfliktverarbeitung interpretiert (Donkers & van Boxtel, 2004; Lavric, Pizzagalli & Forstmeier, 2004).

Eine charakteristische positive EKP-Komponente ist die **P3** oder P300, die ihren Höhepunkt typischerweise 300 ms nach Stimulus-Onset hat. Sie wurde erstmals 1965 von Sutton und Kollegen beschrieben und ist mit 5 – 20 μ V relativ einfach zu erkennen. Sie tritt auf aufgabenrelevante Zielreize (Targets) hin auf. Die Amplitude der P3 variiert mit der Häufigkeit des Zielreizes; je seltener er auftritt, desto größer die Positivierung. Desweiteren wird die P3 Amplitude als Maß dafür verwendet, wieviel Aufmerksamkeit auf einen Zielreiz ausgerichtet wird. Ihre Latenz gilt als Maß für die Dauer, die es bedarf, um einen Reiz zu analysieren und zu bewerten. Ihr Ausbleiben wird als Hinweis darauf gewertet, dass ein Zielreiz nicht bewusst wahrgenommen wurde (Schröger, 1996; Schröger & Wolff, 1998).

3.1.2 Flanker-Paradigma: Selektive Aufmerksamkeit im Entwicklungsverlauf und bei ADHS

3.1.2.1 Behaviorale Evidenz

Interferenz-Effekte vermindern sich im Entwicklungsverlauf zwischen Kindheit und Erwachsenenalter; mit zunehmendem Alter gelingt es Kindern und Jugendlichen besser, ablenkende, aufgabenirrelevante Reize zu ignorieren (Ridderinkhof, van der Molen & Band, 1997). In einer Serie von Studien konnten Rueda und Kollegen (2005) zeigen, dass sich bei Kindern im Alter zwischen vier und sieben Jahren die Konfliktbewältigung substantiell verändert. Bei Kindern, die älter als sieben Jahre waren, fanden die Autoren ein konstantes und dem von erwachsenen Probanden sehr ähnliches Antwortverhalten bei der Bearbeitung von kognitive Interferenz auslösenden Aufgaben. Ab dem siebten Lebensjahr zeigt sich somit ein relativ stabiles Muster im Umgang mit Konfliktsituationen (Rothbart, Ellis, Rueda & Posner, 2003). Ein mögliches Erklärungsmodell geht davon aus, dass es jüngeren Kindern aufgrund von Hirnreifungsprozessen weniger gut gelingt, ihre Aufmerksamkeit auf die relevanten Aspekte einer Aufgabe zu fokussieren und dabei irrelevante Informationen auszublenden. In einer Flanker-Aufgabe zeigen sie größere

Schwierigkeiten, die ablenkenden Reize zu ignorieren und inkorrekte Antwortimpulse zu hemmen (Enns & Akhtar, 1989; Tipper, Bourque, Anderson & Brehaut, 1989).

3.1.2.2 EKP-Evidenz

Auch elektrokortikale Korrelate legen diesen Entwicklungsverlauf nahe. Ridderinkhof und van der Molen (1995) fanden, dass die Latenz des lateralisierten Bereitschaftspotentials (LBP) bei Kindern länger ist als bei Erwachsenen. Keine altersabhängigen Latenzunterschiede ergaben sich hingegen in der P3. Entwicklungsunterschiede in der Fähigkeit zur Interferenzresistenz scheinen nach Ridderinkhof und van der Molen eher mit Reaktionskonkurrenz und -hemmung als mit dem Prozess der Stimulusevaluation assoziiert zu sein. Ridderinkhof et al. (1997) gehen von einer Verarbeitung auf zwei parallelen Wegen aus: grundsätzlich wird eintreffende perzeptuelle Information über einen sogenannten „target selection process“ verarbeitet. Sobald ein Stimulus die Target-Kriterien erfüllt, wird die erforderliche Reaktion vorbereitet (Stimulus-Response-Translation); die adäquate Reaktion wird angebahnt. Auf einer zweiten, parallelen Verarbeitungsrouten erreicht der eintreffende Reiz ohne aufmerksamkeitsgesteuerte Stimulusauswahl und -evaluation direkt den Reiz-Reaktions-Pfad. Auf diesem Weg werden Target- und Flankerreize gleichermaßen verarbeitet und lösen einen Handlungsimpuls aus (Ridderinkhof, van der Molen & Band, 1997). Entwicklungsbedingte Verbesserungen, Ablenkreizen zu widerstehen, hängen mit entwicklungsbedingten Veränderungen in der Schnelligkeit der bewussten Reiz-Reaktions-Verarbeitung zusammen. Die Schnelligkeit dieses Prozesses steigt mit zunehmendem Alter. Das bedeutet, dass der Einfluss von Störreizen, die auf dem schnellen, direkten Weg ohne aufmerksamkeitsgesteuerte Evaluation verarbeitet werden, sinkt. Je älter die Kinder sind, desto besser gelingt ihnen zum einen die korrekte und schnelle Reiz-Reaktions-Verarbeitung, zum anderen sind inhibitorische Fähigkeiten mit zunehmendem Alter besser ausgereift. Diese Entwicklung wird in engem Zusammenhang mit der Reifung des Frontalkortex gesehen, die bis ins junge Erwachsenenalter dauert.

EKP-Studien mit gesunden Erwachsenen, die eine Flanker-Aufgabe bearbeiteten, fanden eine erhöhte N2-Amplitude in inkongruenten im Vergleich zu neutralen Bedingungen (Heil, Osman, Wiegmann, Rolke & Hennighausen, 2000; Kopp, Rist & Mattler, 1996). Die N2 wird im Kontext einer Flanker-Aufgabe mit Prozessen der exekutiven Aufmerksamkeit in Zusammenhang gesehen. Diese Befunde werden somit mit der Inhibition einer aufgabenirrelevanten Reaktion bzw. mit der Erkennung einer Konfliktsituation in Verbindung gebracht.

Im Vergleich zwischen kongruenten und neutralen Flanker-Bedingungen wird für die P3-Komponente eine Amplitudenreduktion in kongruenten Durchgängen berichtet (Kopp, Rist

& Mattler, 1996). Wenn Zielreiz und flankierende Reize hingegen unterschiedliche Handlungsimpulse auslösen (inkongruente Durchgänge) verlängert sich die P3-Latenz im Vergleich zu Durchgängen in denen Zielreiz und Flanker-Reize kongruent sind (Coles, Gratton, Bashore, Eriksen & Donchin, 1985; Ridderinkhof & van der Molen, 1995b; Smid, Mulder & Mulder, 1990).

3.1.2.3 Flanker-Paradigma und ADHS

Neben Studien zur Untersuchung von altersbedingten Unterschieden und entwicklungsabhängigen Veränderungen der Interferenzkontrolle bedienen sich auch zahlreiche Untersuchungen zur exekutiven Aufmerksamkeit bei ADHS-Kindern des Eriksen-Flanker-Paradigmas. In einem aktuellen Übersichtsartikel mit zwölf verschiedenen Studien zur Interferenzkontrolle bei ADHS- und Kontrollkindern fanden Mullane und Kollegen (2009) spezifische Defizite bezüglich Reaktionszeit, Fehlerrate und Effizienz bei betroffenen im Vergleich zu gesunden Kindern. So zeigten ADHS-Kinder einen signifikant stärkeren Interferenzeffekt, d.h. die Differenz zwischen Reaktionszeiten in kongruenten und inkongruenten Durchgängen war deutlich größer als in den Kontrollgruppen. Ebenso ergaben die Ergebnisse eine erhöhte Fehlerrate für ADHS-Kinder sowie eine geringere Allgemeinleistung, die als Quotient aus der Reaktionszeit und der Anzahl korrekt bearbeiteter Durchgänge definiert ist (Mullane, Corkum, Klein & McLaughlin, 2009).

Die EKP Evidenz zu Flanker-Aufgaben bei Probanden mit ADHS ist kontrovers. In einer Untersuchung von Jonkman und Kollegen (1999) zeigen ADHS-Kinder im Vergleich zu gesunden Kontrollen zwar eine erhöhte Fehlerrate in inkongruenten Durchgängen. In korrekt beantworteten, inkongruenten Durchgängen unterscheiden sich die beiden Gruppen jedoch weder in ihren Reaktionszeiten noch auf elektrophysiologischer Ebene hinsichtlich der P2-, N2- und P3-Latenz. Die Autoren schließen daraus, dass die höhere Ablenkbarkeit von ADHS-Kindern nicht auf eine veränderte Stimulusverarbeitung, sondern auf unterschiedliche Prozesse bei der Antwortvorbereitung zurückzuführen sind, da die Gruppenunterschiede am größten sind, wenn die inkongruenten Flanker eine falsche Antworttendenz evozieren (Jonkman, et al., 1999).

Im Gegensatz dazu berichtet eine aktuellere Flanker-Studie mit ADHS- und Kontrollkindern Unterschiede der beiden Gruppen auf der Verhaltensebene lediglich hinsichtlich der Auslassfehler (Reaktionszeiten und Fehlerraten entsprechen sich). Im EKP jedoch zeigt die Gruppe der ADHS-Kinder verspätete N1- und P2-, eine deutlich reduzierte N2-, sowie eine verstärkte P3-Komponente in Reaktion auf inkongruente Reize (Johnstone, Barry, Markovska, Dimoska & Clarke, 2008). Diese Befunde unterstützen im Gegensatz zur Studie von Jonkman et al. (1999) die Hypothese einer unterschiedlichen

Stimulusverarbeitung schon auf früher perzeptueller Ebene bei ADHS-Kindern im Vergleich zu gesunden Kontrollen.

Eine Untersuchung von Albrecht und Kollegen (2008) verglich ADHS-Jungen, ihre nicht betroffenen Geschwister sowie eine Gruppe gesunder Kontrollen. Die Ergebnisse zeigen eine deutlich verlängerte Reaktionszeit bei den Kindern mit ADHS im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen. In inkongruenten Durchgängen zeigen alle Probanden erwartungsgemäß eine erhöhte N2-Amplitude im Vergleich zu kongruenten Durchgängen (Heil, Osman, Wiegelmann, Rolke & Hennighausen, 2000); diese Veränderung tritt bei Kontrollkindern am stärksten auf, gefolgt von den nicht betroffenen Geschwistern der ADHS-Kinder. Die geringste N2-Erhöhung in der konflikthafter inkongruenten Bedingung zeigen ADHS-Kinder. Dies sehen die Autoren im Zusammenhang mit veränderten Konfliktlöseprozessen bei ADHS-Kindern. Zudem untersuchten Albrecht und Kollegen die „Error Negativity“ (Ne) (oder „Error Related Negativity“; ERN)¹. Diese zeigte ebenfalls eine verringerte Amplitude bei ADHS und Geschwisterkindern.

In einer Folgestudie untersuchten McLoughlin et al. (2009) erwachsene Probanden mit und ohne ADHS, sowie eine Gruppe Väter von ADHS-Kindern. Sowohl auf behavioraler Ebene als auch im EKP zeigte sich ein ähnliches Profil wie in der Studie mit kindlichen Untersuchungsteilnehmern. Die ADHS-Gruppe zeigte eine verringerte Ne/ERN im Vergleich zur Kontrollgruppe, was auf einen veränderten Fehlererkennungsprozess bei Personen mit einer Aufmerksamkeitsstörung schließen lässt. Ebenso zeigte sich eine generelle N2-Amplitudenerhöhung für inkongruente Durchgänge. Dieser Amplitudenzuwachs fiel für die Kontrollgruppe am größten aus und nahm mit zunehmender genetischer Nähe zu ADHS ab, was eine genetische Grundlage veränderter Konfliktwahrnehmung und –bewältigung bei Familien mit ADHS nahelegt. Diese Unterschiede spiegeln sich in den Verhaltensdaten der Teilnehmer nicht wider. Das EKP erwies sich somit als sensitiver für Unterschiede in der Verarbeitung von konfliktinduzierenden Aufgaben (McLoughlin, et al., 2009).

Eine Anzahl von Arbeiten belegt, dass die ERN im anterioren Cingulum (AC) generiert wird (z.B. Luu, Tucker, Derryberry, Reed & Poulsen, 2003; Miltner, Braum & Coles, 1997). Davies und Kollegen (2004) präsentierten Probanden im Alter zwischen 7 und 25 Jahren eine Flanker-Aufgabe mit Buchstabenmaterial. Wie erwartet zeigten sich eine altersabhängige Abnahme der Reaktionszeit sowie eine Zunahme der ERN-Amplitude in Fehlerdurchgängen. Die entwicklungsbedingten Veränderungen im Umgang mit konflikthafter Information spiegeln gemäß den Autoren die Reifung des AC wider (Davies, Segalowitz & Gavin, 2004a; Davies, Segalowitz & Gavin, 2004b). Im Alltag mag dies in

¹ Die ERN tritt nach einer Reaktion auf, wenn diese von der Person als falsch erkannt wird. Sie spiegelt Fehlerdetektion und Fehlerkorrektur wider (Coles & Rugg, 1995).

unterschiedlichem Entscheidungs- und Risikoverhalten von Kindern und Jugendlichen zum Ausdruck kommen (vgl. Segalowitz, Davies, Santesso, Gavin & Schmidt, 2004). Kinder mit ADHS weisen ein im Vergleich zu entwicklungsunauffälligen Gleichaltrigen verändertes Verhaltensmuster in alltäglichen Konfliktsituationen auf. Unterstützend hierzu zeigen ADHS-Kinder in experimentellen Studien unter Verwendung des Flanker-Paradigmas häufig eine relativ größere Reaktionsinterferenz (Crone, Jennings & van der Molen, 2003; Jonkman, et al., 1999; Ridderinkhof, Scheres, Oosterlaan & Sergeant, 2005).

3.1.3 Ziele und Fragestellung in Experiment II

Experiment II untersucht Unterschiede zwischen ADHS- und Kontrollkindern bei der Bearbeitung einer Eriksen-Flanker-Aufgabe. Zum einen werden die Ergebnisse auf Verhaltensebene betrachtet, zum anderen werden elektrokortikale Parameter zur exakteren zeitlichen Abbildung zugrunde liegender neuronaler Prozesse erhoben. Die Präsentation der Flanker erfolgt in drei unterschiedlichen zeitlichen Abständen zum Zielreiz, was die Abbildung des Interferenzeffektes in seiner zeitlichen Dynamik ermöglicht. Vermittels dieser Variation in der Stimulus-Onset-Asynchronizität sollen dessen Dauer, sowie mögliche Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsgruppen aufgedeckt werden.

Auf behavioraler Ebene werden für beide Gruppen verkürzte Reaktionszeiten und eine geringere Fehlerrate in kongruenten im Vergleich zu inkongruenten Durchgängen erwartet. Aufgrund der oben berichteten Befunde zur verlangsamten kortikalen Reifung bei ADHS-Kindern wird von einem generell unreiferen Reaktionsverhalten ausgegangen, d.h. es werden verlangsamte Reaktionszeiten und erhöhte Fehlerrate in der Untersuchungsgruppe erwartet.

Die Analyse der EKP-Daten beschränkt sich auf die Betrachtung der N1-Komponente auf die Flankerreize. Hier sollen Unterschiede zwischen ADHS- und Kontrollgruppe hinsichtlich Interferenzeffekten in inkongruenten Durchgängen betrachtet werden. Es wird angenommen, dass sich ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen im EKP vor allem in der N1-Komponente als erster durch Aufmerksamkeitsprozesse beeinflusster Komponente abbilden lässt.

Zur Untersuchung vermuteter Gruppenunterschiede hinsichtlich aufmerksamkeitsgesteuerter Interferenzprozesse rückt vor allem die 100 ms SOA-Bedingung bei inkongruenten Durchgängen in den Fokus des Interesses. Während der Interferenzeffekt in der 0 ms SOA-Bedingung für inkongruente Durchgänge in beiden Gruppen relativ starken Einfluss haben sollte, ist davon auszugehen, dass inkongruente Flanker 400 ms nach Erscheinen

des Zielreizes keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Reaktionsauswahl haben. Beim Abstand von 100 ms zwischen Target und Flanker ist daher am ehesten ein Interferenzeffekt zu erwarten.

3.2 Methode

Im Folgenden werden Design und Probandengruppen von Experiment II beschrieben. Der darauf folgende Abschnitt stellt die altersadaptierte Flanker-Aufgabe sowie die experimentelle Manipulation des Abstandes zwischen dem Erscheinen des Zielreizes und der Flanker vor. Die Ableitung des EEGs während der Bearbeitung der Flanker-Aufgabe und die Auswertung des EKPs erfolgten lediglich bei einem Teil der Probanden. Hierauf wird gesondert eingegangen.

3.2.1 Versuchsteilnehmer

Das Eriksen-Flanker-Paradigma wurde bei einer Stichprobe von 33 ADHS- (nur Jungen) und 37 Kontrollpersonen (4 Mädchen) im Alter zwischen 9 und 22 Jahren angewendet ($M = 13,36$ Jahre; $SD = 2,96$). Bis auf die drei ältesten Probanden besuchten alle Kinder- und Jugendliche eine Grund- oder weiterführende Schule im Raum Konstanz. Ebenso wie in den Studien 1a –c litt keiner der Probanden an neurologischen oder psychiatrischen Erkrankungen neben ADHS. Eine positive Familiengeschichte für Epilepsie war auch für diese Studie ein Ausschlusskriterium. Alle Probanden besaßen einen normalen oder korrigierten Visus. Die Zusammensetzung der beiden Gruppen ist in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Anzahl der Versuchsteilnehmer pro Untersuchungsgruppe, durchschnittliches Alter in Jahren (mit Standardabweichung), durchschnittlicher IQ (mit Standardabweichung).

Gruppe	Anzahl	Geschlecht		Alter	IQ
		m	w	Mittelwert (SD)	Mittelwert (SD)
Kontrollgruppe	37	33	4	13,81 (3,13)	113,51 (14,11)
ADHS-Gruppe	33	33	0	12,85 (2,72)	104,81 (16,05)

Vor dem Beginn der Untersuchung gaben alle Teilnehmer bzw. ihre Eltern ihr schriftliches Einverständnis. Im Anschluss erhielt jeder Teilnehmer einen Einkaufs- oder Kinogut-

schein. Die Studie befolgt die Empfehlungen der Helsinki-Deklaration und wurde von der Ethikkommission der Universität Konstanz bewilligt.

3.2.2 Durchführung

Alle Teilnehmer bearbeiteten jeweils vier Aufgaben (siehe Tabelle 8): zwei Flanker-Aufgaben mit variierender Reihenfolge der Reizdarbietung und variierender Stimulus-Onset-Asynchronizität (SOA), sowie zwei psychometrische Tests.

Die Reihenfolge der beiden Flanker-Aufgaben wurde über alle Teilnehmer gegenbalanciert. Die Untersuchung wurde als Einzelexperiment durchgeführt und dauerte inklusive Pausen zwischen 60 und 90 Minuten. Bei sieben ADHS- und 15 Kontrollprobanden wurde während der Bearbeitung der Flanker-Aufgaben das Elektroenzephalogramm (EEG) abgeleitet. Diese Probanden bearbeiteten aus ökonomischen Gründen die beiden Flanker-Aufgaben zu Beginn der Untersuchung.

Tabelle 8: Reihenfolge der durchgeführten Untersuchungen.

1.	Flanker-Aufgabe (Flanker_first bzw. Target_first)
2.	Teil 1 des CFT 20-R
3.	Flanker-Aufgabe (Target_first bzw. Flanker_first)
4.	Je nach Alter FBB-/SBB-HKS

3.2.2.1 Flanker-Aufgabe

Die Teilnehmer bearbeiteten jeweils zwei unterschiedliche Versionen der Flanker-Aufgabe. In einer Version erschien der Zielreiz zuerst und anschließend die Flanker-Reize (Target-First-Bedingung), in der zweiten Version war die Reihenfolge umgekehrt (Flanker-First-Bedingung). Der zeitliche Abstand zwischen dem Erscheinen von Flanker- und Ziel-Reizen (SOA) betrug entweder 0 ms, 100 ms oder 400 ms. In der vorliegenden Dissertationsschrift wird nur auf die Auswertung der ersten Aufgabenversion (Target-First) eingegangen.

Als Ziel- und Flanker-Reize diente der Kopf einer Mangafigur (Manga = bei Kindern beliebte Comic-Strips aus Japan), der entweder nach links oder nach rechts gewandt war. In jedem Versuchsdurchgang wurden den Teilnehmern fünf Mangafiguren in einer Reihe dargeboten. Die mittlere Figur stellte den Zielreiz dar, die äußeren Figuren dienten als Flanker-Stimuli. Die Reize wurden mittels der Software „Presentation“ (Neurobehavioral Systems, Inc. Albany, CA) in schwarz-weiß vor einem grauen Hintergrund präsentiert.

Zwischen einzelnen Durchgängen sahen die Probanden ein Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms. Beide Flanker-Aufgaben gliederten sich in zwei Blöcke à 60 Trials (3 SOA-Längen x 40 Trials), dazwischen machten die Versuchsteilnehmer eine kurze Pause. Jeweils die Hälfte der Durchgänge pro SOA-Länge stellte kongruente (Ziel- und Flanker-Figuren blicken in die gleiche Richtung) die andere Hälfte inkongruente (Ziel- und Flanker-Figuren blicken in die entgegengesetzte Richtung) Bedingungen dar. Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, per Tastendruck die Blickrichtung der Zielfigur mitzuteilen, ohne sich dabei von den Flankerfiguren ablenken zu lassen. Blickte die mittlere Figur nach rechts, sollten sie die rechte, blickte sie nach links, die linke Maustaste drücken. Vor Beginn des Experiments hatten die Versuchsteilnehmer die Möglichkeit sich in zwölf Probetrials mit der Aufgabe vertraut zu machen. In Abbildung 18 ist der Ablauf eines inkongruenten Durchganges der Target-First-Aufgabe exemplarisch dargestellt.

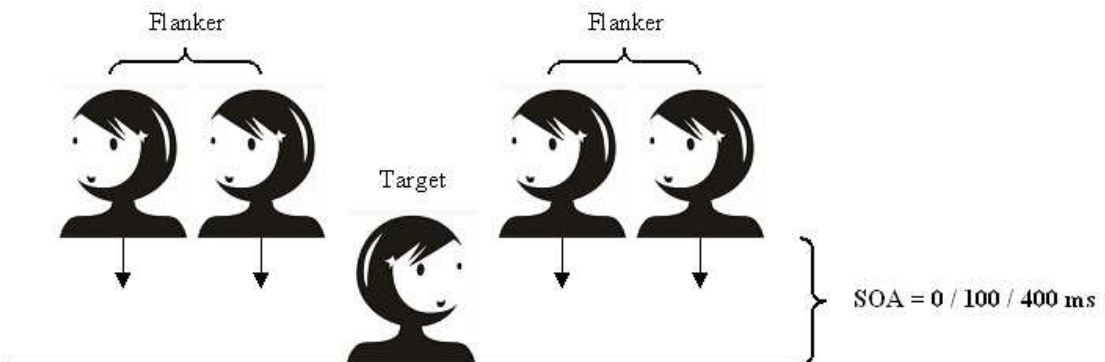


Abbildung 18: Beispiel für einen inkongruenten Durchgang der Target-First-Flanker-Aufgabe. Die Flanker-Reize erschienen jeweils in einem Drittel der Durchgänge gleichzeitig mit dem Target (SOA = 0 ms), 100 ms oder 400 ms danach.

Für die Auswertung der Verhaltensdaten wurden die Reaktionszeiten und Fehlreaktionen in Abhängigkeit der jeweiligen Untersuchungsbedingung ermittelt.

3.2.2.2 Psychometrische Tests

Zur Erfassung grundlegender nonverbaler kognitiver Fähigkeiten bearbeiteten alle Versuchsteilnehmer die Kurzform des Grundintelligenztest CFT 20-R nach Weiß (1. Testhälfte Weiß, 2006). Die Instruktionen erfolgten gemäß dem vorliegenden Handbuch, die Antworten gaben die Teilnehmer entsprechend Studie I verbal an die Versuchsleiterin weiter, die den Antwortbogen ausfüllte. Der CFT 20-R ist ein nonverbaler Intelligenztest,

der die Fähigkeit untersucht, figurale Beziehungen und formal-logische Denkprobleme mit unterschiedlichem Komplexitätsgrad zu erkennen und innerhalb einer bestimmten Zeit zu verarbeiten. Er bildet die sogenannte Grundintelligenz im Sinne der „General Fluid Ability“ nach Cattell ab und besteht aus zwei gleichartig aufgebauten Testteilen mit je vier Untertests (Reihenfortsetzen, Klassifikationen, Matrizen und topologische Schlussfolgerungen). Der erste der beiden Teile wurde von den Versuchsteilnehmern hier bearbeitet.

Im Anschluss an die Untersuchung füllten die Eltern (bei Kindern unter 11 Jahren) oder die Teilnehmer selbst den Fremd- bzw. **Selbstbeurteilungsbogen** des Diagnostik-Systems für psychische Störungen nach ICD-10 und DSM-IV für Kinder und Jugendliche II (DISYPS-II Döpfner & Lehmkuhl, 2000) für Hyperkinetische Störung (FBB-HKS bzw. SBB-HKS) aus (siehe 2.5.1.2). Die Selbst- und Fremdeinschätzung bezüglich der ADHS-Symptomatik unterscheidet auf allen vier Skalen (Unaufmerksamkeit, Überaktivität, Impulsivität und ADHS-Gesamt) statistisch bedeutsam zwischen Personen mit und ohne ADHS ($p_s \leq 0,005$). Mit Hilfe dieser Angaben sollten Gruppenunterschiede bezüglich der ADHS-Symptomatik überprüft werden. Obwohl nicht alle mit ADHS diagnostizierten Kinder auffällige Werte in den Screening-Fragebögen erzielten, zeigte sich im Gruppenmittel doch ein signifikanter Unterschied zwischen ADHS- und Kontrollgruppe, was die angegebenen ADHS-Symptome betrifft. Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Skalen werden für die beiden Gruppen in Tabelle 9 abgebildet.

Tabelle 9: Mittelwerte und Standardabweichungen (Rohwerte) des Fremd- bzw. Selbstbeurteilungsbogens „Hyperkinetische Störung“ für ADHS- und Kontrollgruppe.

Skalen (FBB/SBB-HKS)	ADHS-Gruppe	Kontrollgruppe
	Mittelwert (SD)	Mittelwert (SD)
Unaufmerksamkeit	14,83 (3,87)	5,45 (5,44)
Überaktivität	6,25 (3,68)	2,27 (3,52)
Impulsivität	4,44 (2,24)	1,27 (2,05)
ADHS-Gesamt	25,52 (6,04)	9,00 (10,07)

3.2.2.3 Elektrophysiologische Aufnahmen

Von 22 Versuchsteilnehmern wurde während der Bearbeitung der beiden Flanker-Aufgaben das Elektroenzephalogramm (EEG) abgeleitet (7 ADHS-Kinder und 15 Kinder aus der Kontrollgruppe). In beiden Gruppen nahmen überwiegend (ca. 87%) Rechts-

händer teil. Die Händigkeit wurde mit Hilfe der deutschen Version des Edinburgh Händigkeitsfragebogens erhoben (Oldfield, 1971). Teilnehmer mit einem Lateralitätsquotienten (LQ) $\geq +70$ wurden als Rechtshänder definiert. Es gab in beiden Gruppen jeweils einen Beidhänder ($-60 \leq \text{LQ} \leq +60$); in der Kontrollgruppe nahm außerdem ein Linkshänder teil ($\text{LQ} \leq -70$).

Das EEG wurde vermittels des 129 Kanäle umfassenden Electrical Geodesics System (EGI) mit einer Sampling-Rate von 250 Hz abgeleitet und aufgezeichnet. Der Vertex (Cz) diente dabei als Referenzelektrode und Impedanzen lagen entsprechend den Empfehlungen für den EGI-Verstärker unterhalb von 50 k Ω . Um Augenartefakte zu quantifizieren, war jeweils eine Elektrode am äußeren Augenwinkel (horizontales Elektroofokulogramm) und jeweils zwei Elektroden ober- und unterhalb des Auges (vertikales Elektroofokulogramm) positioniert. Alle Kanäle wurden während der Aufzeichnung 0,1-Hz Hochpass und 100-Hz Tiefpass gefiltert. Die weitere Verarbeitung der Daten erfolgte offline.

3.2.2.4 Datenreduktion und –auswertung

Aus den kontinuierlich aufgezeichneten EEG-Daten wurden Epochen von 1200ms (200ms vor und 1000 ms nach dem Erscheinen des Targets) analysiert. Die Baseline wurde über die mittlere Spannung in den 200 ms vor Erscheinen des Stimulus gebildet. Artefakte innerhalb dieser Epochen wurden mit Hilfe der SCADS-Methode (statistical correction of artifacts in dense array studies) von Junghöfer, Elbert, Tucker und Rockstroh (2000), die in MATLAB-code vorliegt, korrigiert. Diese Methode erkennt in einem ersten Schritt Einzelkanalartefakte auf Basis der Aufnahme-Referenz (z.B. Cz). In einem nächsten Schritt werden globale Artefakte auf Basis der Mittelwertsreferenz identifiziert. Sensoren, die Artefakte aufweisen, werden interaktiv unter Berücksichtigung ihrer Amplitude, Standardabweichung und Gradient gelöscht und durch statistisch gewichtete Interpolation über alle Sensoren ersetzt.

Die pro Versuchsperson und Bedingung gemittelten Daten wurden bandpass-gefiltert (0,1-40 Hz) und hinsichtlich ihrer Latenz, Amplitude und Topographie für ausgewählte Elektrodenorte verglichen. Dabei konzentrierte sich die Analyse auf die Untersuchung der oben beschriebenen EKP-Komponente N1 bezogen auf das Erscheinen des Flankerreizes. Basierend auf einer visuellen Inspektion der gemittelten Daten wurde dafür ein Zeitfenster von 160 – 200 ms nach dem Flanker-Onset festgelegt, das die Grundlage der nachfolgenden Betrachtungen bildet. In statistischen Analysen wurde die mittlere Amplitude in diesem Zeitfenster über die Gruppen in Abhängigkeit der SOA für kongruente und inkongruente Durchgänge miteinander verglichen.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Verhaltensdaten

In die Analyse der Verhaltensdaten gingen die Ergebnisse aller 70 Versuchsteilnehmer in der Target-First Bedingung ein. Es wurden Reaktionszeiten und Fehlerraten zwischen ADHS- und Kontrollgruppe verglichen. Aufgrund der verletzten Annahme normalverteilter Reaktionszeiten in beiden Gruppen wurden die Reaktionszeiten aller Probanden in einen natürlichen Logarithmus transformiert. Als Maß für die Stärke des Interferenzeffektes wurden die Reaktionszeiten in kongruenten Durchgängen von denen in inkongruenten abgezogen. Große Differenzen weisen auf eine wenig effektive Interferenzkontrolle des Probanden hin.

In einer Varianzanalyse mit Messwiederholung auf den Faktoren „SOA“ und „Kongruenz“ und dem Between-Subject Faktor „Gruppe“ zeigen Kinder und Jugendliche mit einer ADHS unabhängig von der Ausprägung der genannten Faktoren signifikant längere Reaktionszeiten als gesunde Kontrollen ($F(1,68) = 4,39; p < 0,05$). Ein weiterer Haupteffekt ergibt sich für den Faktor „Kongruenz“: beide Gruppen reagieren in kongruenten Durchgängen deutlich schneller als in inkongruenten ($F(1,68) = 20,08; p < 0,001$). Ebenso verändern sich die Reaktionszeiten für die unterschiedlichen Interstimulus-Intervalle: je größer der Abstand zwischen Target und Flanker, desto länger werden die Reaktionszeiten ($F(1;68) = 3,58; p < 0,05$). Eine statistisch bedeutsame Interaktion ergibt sich für die Faktoren SOA x Kongruenz ($F(2,136) = 7,84; p < 0,001$). Die Differenzen der Reaktionszeiten zwischen kongruenter und inkongruenter Versuchsbedingung nehmen in beiden Gruppen ab, je länger das Interstimulusintervall wird.

Vergleicht man die beiden Gruppen hinsichtlich ihrer Reaktionszeit getrennt für die unterschiedlichen SOAs, so zeigt sich in der 0 ms-SOA-Bedingung der oben beschriebene Haupteffekt für den Faktor „Kongruenz“, d.h. beide Gruppen reagieren in der kongruenten Bedingungen schneller als in der inkongruenten ($F(1,68) = 30,03; p < 0,001$), einen Gruppenunterschied gibt es nicht (siehe Abbildung 19).

In der kritischen 100 ms-SOA-Bedingung zeigt eine Varianzanalyse mit Messwiederholung auf dem Faktor „Kongruenz“ ähnliche Ergebnisse wie für die 0 ms-SOA-Bedingung, nämlich einen signifikanten Interferenzeffekt ($F(1,68) = 9,69; p = 0,005$), d.h. beide Gruppen reagierten schneller in kongruenten im Vergleich zu inkongruenten Bedingungen. Im Gegensatz zur ersten Bedingungen unterscheiden die Reaktionszeiten hier zwischen den Gruppen ($F(1,68) = 5,44; p = 0,005$), die Kontrollgruppe reagiert schneller (siehe Abbildung 20).

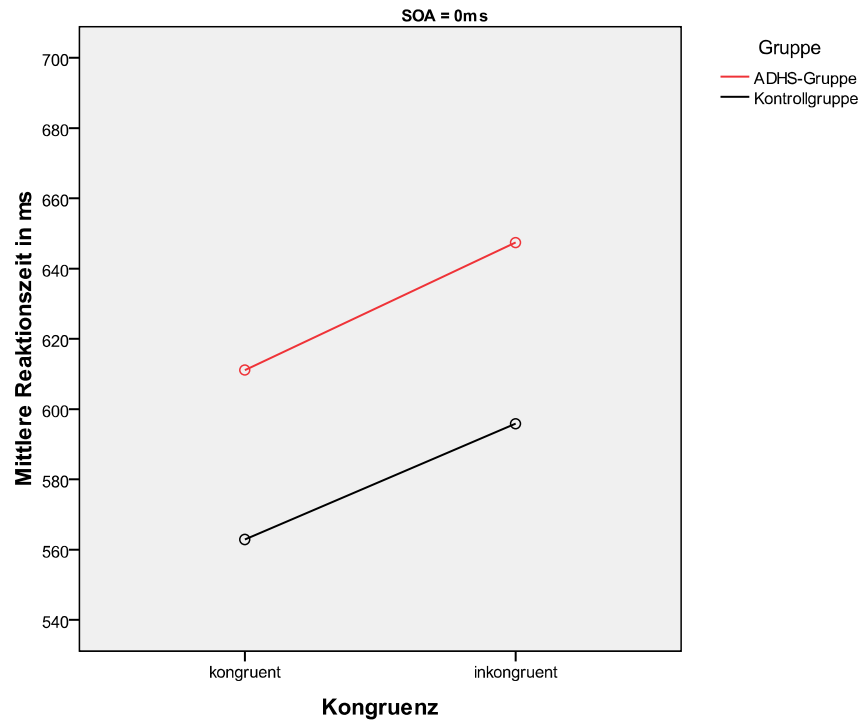


Abbildung 19: Mittlere Reaktionszeit auf die Zielreize pro Gruppe in Abhängigkeit der Kongruenz der Flankerreize für die 0 ms-SOA-Bedingung.

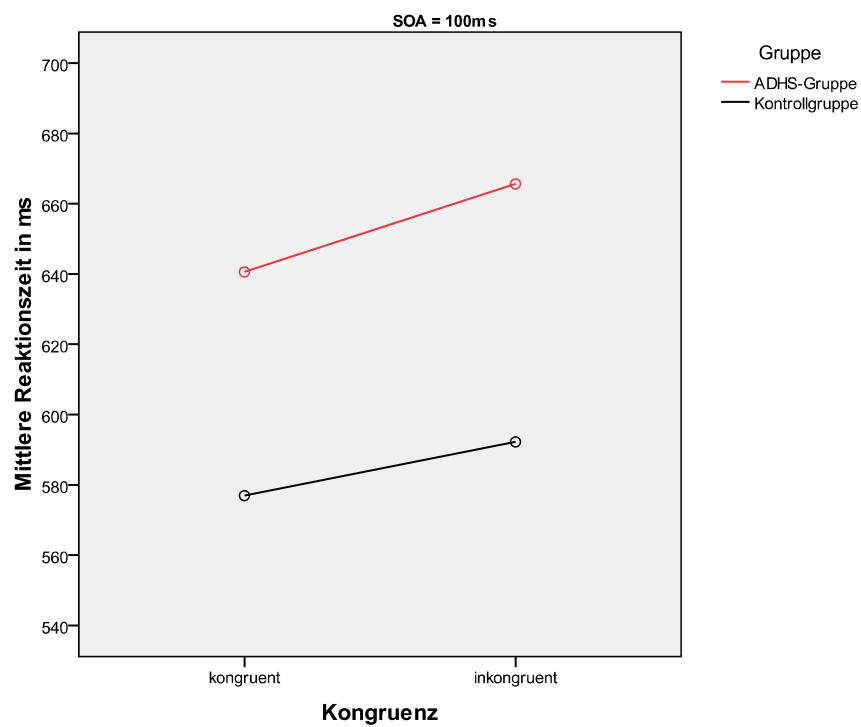


Abbildung 20: Mittlere Reaktionszeit auf die Zielreize pro Gruppe in Abhängigkeit der Kongruenz der Flankerreize für die 100 ms-SOA-Bedingung.

Betrachtet man die Reaktionszeiten für die beiden Gruppen in der 400 ms-SOA-Bedingung ergibt die Varianzanalyse mit Messwiederholung auf dem Faktor „Kongruenz“ keine Unterschiede, und nur einen marginal signifikanten Gruppenunterschied ($F(1,68) = 3,84$; $p = 0,054$; siehe Abbildung 21).

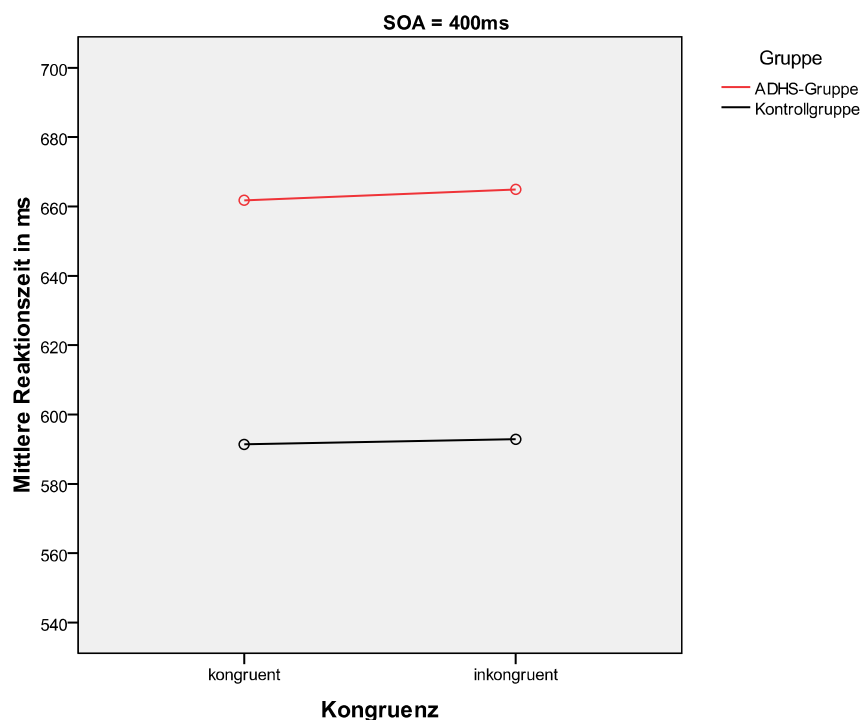


Abbildung 21: Mittlere Reaktionszeit auf die Zielreize pro Gruppe in Abhängigkeit der Kongruenz der Flankerreize für die 400 ms-SOA-Bedingung.

In einer Varianzanalyse mit dem Faktor „Interferenzeffekt“ ergaben sich für keine der SOAs statistisch relevante Gruppenunterschiede.

Anders als für die Reaktionszeiten zeigt sich für die Fehlerrate kein Haupteffekt für die Gruppen. Beide Gruppen machen in inkongruenten Durchgängen durchschnittlich mehr Fehler als in kongruenten ($F(1,68) = 8,34$; $p < 0,005$). Im Durchschnitt sinkt die Fehlerzahl mit zunehmendem SOA ($F(2, 136) = 9,12$; $p < 0,001$). In der ADHS-Gruppe sinkt die Anzahl der Fehler mit zunehmender SOA, während sich bei den Kindern in der Kontrollgruppe eine signifikante Interaktion zwischen SOA und Kongruenz zeigt ($F(2, 72) = 3,14$; $p < 0,05$). In den schnellen SOA-Bedingungen ist ihre Fehlerrate in kongruenten Durchgängen geringer als in inkongruenten, während sie bei 400ms-SOA in inkongruenten Durchgängen am wenigsten Fehler machen.

3.3.2 Elektrophysiologische Daten

Vergleicht man die beiden Gruppen in der 0 ms-SOA-Bedingung, wird sowohl in der ADHS- als auch in der Kontrollgruppe ein Unterschied zwischen kongruenten und inkongruenten Durchgängen sichtbar. In beiden Gruppen ist die N1 Amplitude auf inkongruente Flanker erhöht. Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung auf dem zweistufigen Faktor „Kongruenz“ ergab keinen Gruppenunterschied. Abbildung 22 lässt einen Haupteffekt für den Faktor „Kongruenz“ vermuten, die Varianzanalyse erreicht jedoch keine statistische Bedeutsamkeit ($F(1,20) = 1,57$).

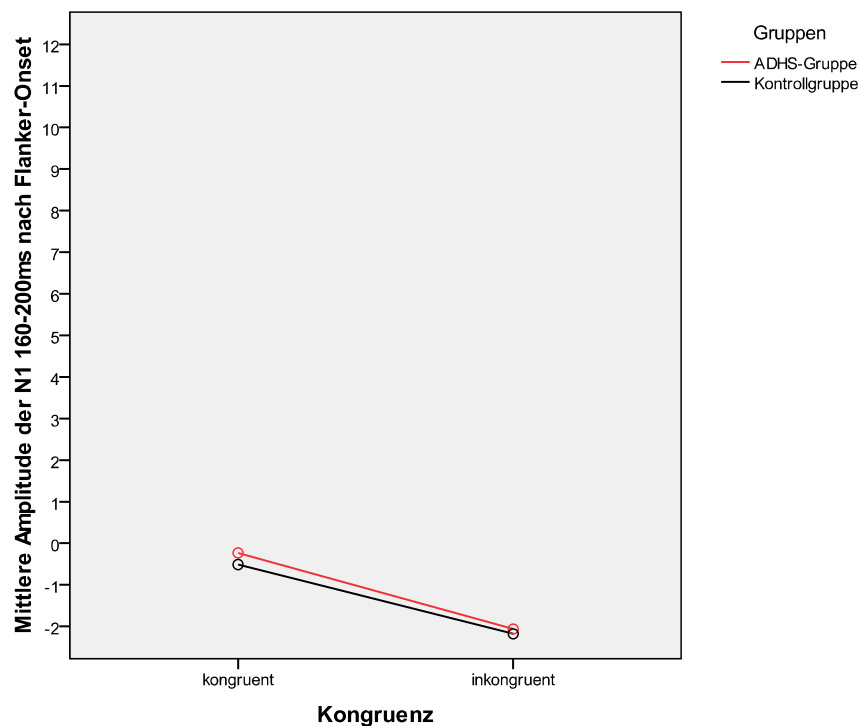


Abbildung 22: Mittlere N1-Amplitude pro Gruppe in Abhängigkeit der Kongruenz der Flankerreize für die 0 ms-SOA-Bedingung.

Für die längste Periode von 400ms zwischen Erscheinen von Target und Flanker zeigt sich auf der N1 weder bei Kontroll- noch bei ADHS-Kindern ein Kongruenzeffekt (siehe Abbildung 23). In einer Varianzanalyse mit Messwiederholung auf dem Faktor „Kongruenz“ werden weder Haupteffekte noch Interaktionen signifikant.

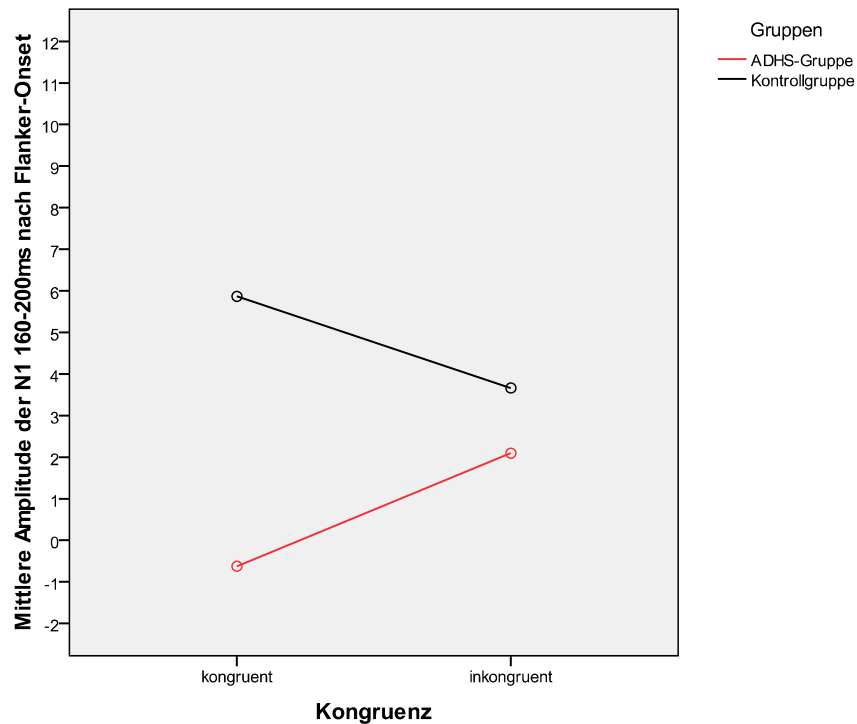


Abbildung 23: Mittlere N1-Amplitude pro Gruppe in Abhängigkeit der Kongruenz der Flankerreize für die 400 ms-SOA-Bedingung.

In der kritischen Bedingung von 100ms SOA bildet sich ein Kongruenzeffekt für die Gruppe der ADHS-Kinder ab, der bei der Kontrollgruppe nicht auftritt. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung auf dem Faktor „Kongruenz“ ergibt eine signifikante Interaktion Gruppe x Kongruenz ($F(1,20) = 5,24; p < 0,05$): Die ADHS-Gruppe zeigt eine erhöhte N1-Amplitude auf das Erscheinen des inkongruenten Flankers, was auf die Kontrollgruppe nicht zutrifft. Diese Interaktion ist in Abbildung 24 dargestellt.

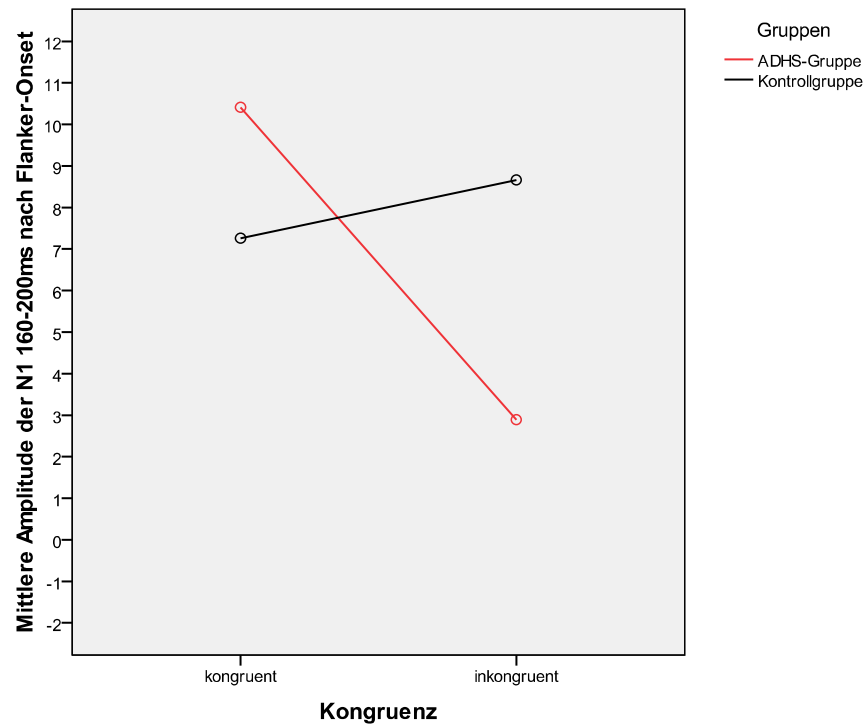


Abbildung 24: Mittlere N1-Amplitude pro Gruppe in Abhängigkeit der Kongruenz der Flankerreize für die 100 ms-SOA-Bedingung.

Abbildung 25 zeigt die gemittelten EKPs für beide Gruppen (ADHS: rot; Kontrollgruppe: schwarz) in der 100 ms-SOA-Bedingung. Es wird der oben beschriebene Kongruenzeffekt in der ADHS-Gruppe dargestellt: die N1 für inkongruente Durchgänge ist hier deutlich größer als für kongruente. Dieser Unterschied besteht in der Kontrollgruppe nicht.

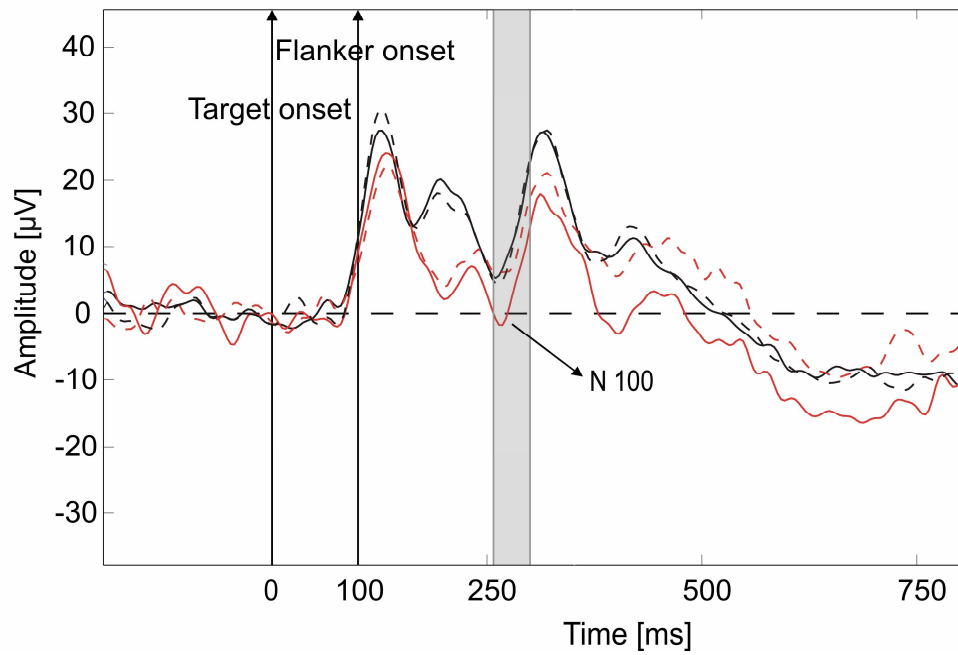


Abbildung 25: Gemittelte EKPs einer repräsentativen Elektrode rechts okzipital auf Erscheinen von Ziel- und Flankerreizen bei einer SOA von 100 ms in inkongruenten (gestrichelte Linien) und kongruenten (durchgehende Linien) Bedingungen für ADHS- (rot) und Kontrollgruppe (schwarz). Der graue Balken veranschaulicht das Zeitfenster das zur Analyse der N1 auf das Erscheinen des Flankers gewählt wurde (160-200 ms post-Flanker).

3.4 Diskussion

3.4.1 Verhaltensdaten

Erwartungsgemäß weisen ADHS-Kinder im Vergleich zu gesunden Kontrollen über alle SOA- und Kongruenzbedingungen hinweg durchschnittlich verlängerte Reaktionszeiten auf. Betrachtet man die unterschiedlichen SOA-Bedingungen jedoch getrennt voneinander, zeigt sich, dass der Gruppenunterschied bezüglich der Reaktionszeit nur auf die 100 ms-Bedingung zurück zu führen ist. In der kürzesten sowie in der längsten Bedingung unterscheiden sich die Reaktionszeiten der beiden Gruppen nicht.

Unabhängig vom zeitlichen Abstand zwischen dem Erscheinen von Zielreiz und Flanker reagieren sowohl ADHS- als auch Kontrollkinder in inkongruenten Durchgängen langsamer als in kongruenten. Ebenfalls unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit verringert sich der beobachtete Interferenzeffekt mit zunehmendem Inter-Stimulus-Intervall, d.h. die Differenz der Reaktionszeiten zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen wird immer kleiner je größer der zeitliche Abstand zwischen Erscheinen des Targets und der Flanker ist.

Anders als für die Reaktionszeiten zeigt sich für die Fehlerrate kein Gruppenunterschied in Zusammenhang mit der Kongruenz. Sowohl ADHS- als auch Kontrollkinder machen in inkongruenten Durchgängen mehr Fehler als in kongruenten. Ein Gruppenunterschied zeigt sich jedoch wenn man die Fehlerrate getrennt für die einzelnen SOAs betrachtet:

Die Fehleranzahl in der ADHS-Gruppe nimmt mit zunehmender SOA-Länge ab. Die Kinder der Kontrollgruppe zeigen in der kürzesten SOA-Bedingung eine geringere Fehlerrate für kongruente im Vergleich zu inkongruenten Bedingungen. Dieser Effekt kehrt sich für die längste SOA-Bedingung um. Diese Ergebnisse zeigen, dass gesunde Kinder sich die lange Verzögerung zwischen Target und Flanker auch in inkongruenten Durchgängen zu Nutze machen und ihre Fehlerrate minimieren können, während ADHS-Kindern das nicht gelingt.

Die in der aktuellen Studie durchgeführte Manipulation des Abstandes zwischen Target und Flanker differenzierte in den Verhaltensdaten nur teilweise zwischen Kindern mit und ohne ADHS. Sowohl in der 0 ms- als auch in der 400 ms SOA-Bedingung gab es keinen Gruppenunterschied bezüglich der Reaktionszeit und Fehlerrate. Bei einem Abstand von 100 ms zwischen Target und Flanker reagierten die Kontrollkinder zwar schneller als die Gruppe der ADHS-Kinder. Die Differenz zwischen Reaktionszeiten in kongruenten versus inkongruenten Durchgängen war jedoch für beide Gruppen gleich. Das heißt, dass sich

auf der Basis der Verhaltensdaten kein Unterschied bezüglich des Interferenzeffektes zeigt.

Interessanterweise heben sich diese Befunde von bisherigen Studien zum Flanker-Paradigma bei Probanden mit ADHS ab. Im Gegensatz zu den Befunden der Metaanalyse von Mullane et al. (2009) wurde in der vorliegenden Studie also kein verstärkter Interferenzeffekt bei ADHS-Kindern im Vergleich zu Kontrollen auf der Verhaltensebene gefunden. Beide Gruppen scheinen gleichermaßen durch das Erscheinen von Flankerreizen beeinflusst zu werden. Dieser Einfluss scheint sich in beiden Gruppen mit zunehmendem zeitlichen Abstand zum Zielreiz in derselben Weise zu verringern. In einer der wenigen Studien, die ebenfalls keine Unterschiede zwischen ADHS- und Kontrollkindern bezüglich der Stärke des Interferenzeffektes findet, bearbeiteten die Probanden eine Kinderversion der Flanker-Aufgabe aus dem Attention Network Test (ANT) von Posner & Petersen (1990) (Booth, Carlson & Tucker, 2007). Eine vergleichbare Studie mit der Erwachsenenversion des gleichen Tests von Konrad und Kollegen (2006) wiederum fand einen verstärkten Interferenzeffekt bei ADHS-Kindern. Es ist denkbar, dass Aufgabenmerkmale wie Stimulusmaterial, Schwierigkeit und Dauer einen entscheidenden Einfluss auf die Leistungen der ADHS-Kinder haben (Mullane, Corkum, Klein & McLaughlin, 2009). Eine weitere Grundlage für das Fehlen eines größeren Defizites in der Interferenzkontrolle bei ADHS-Kindern könnte die Zusammensetzung der Stichprobe darstellen. Die hier untersuchten ADHS-Kinder besuchten fast alle eine Regelschule, viele von ihnen waren zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht in psychotherapeutischer Behandlung und nur ein kleiner Teil wurde medikamentös behandelt. Dies unterscheidet die hier untersuchte ADHS-Gruppe von den ADHS-Kindern in vergleichbaren Studien. Dort nahmen überwiegend stationär behandelte ADHS-Kinder an den Untersuchungen teil, die somit alle in psychotherapeutischer und meist auch medikamentöser Behandlung waren. Eine mögliche Überlegung wäre, dass diese Kinder eine schwerere ADHS-Symptomatik aufwiesen als die Kinder in der vorliegenden Studie. Es wäre also denkbar, dass die hier teilnehmenden Kinder im Vergleich so schwach ausgeprägte ADHS Symptome zeigten, dass diese bei der Bearbeitung einer Flankeraufgabe mit altersgerechtem Stimulusmaterial in den Verhaltensdaten nicht deutlich werden.

3.4.2 Elektrophysiologische Daten

Die Ergebnisse aus den Verhaltensdaten zeigen ein relativ homogenes Reaktionsmuster für ADHS- und Kontrollgruppe. Die fehlenden Gruppenunterschiede sowie die einfache Aufgabenstellung legen die Vermutung eines Deckeneffektes nahe. Diese Annahme wird jedoch bei Betrachtung der elektrophysiologischen Daten nicht bestätigt.

In der 0 ms SOA-Bedingung zeigt sich sowohl in der ADHS- als auch in der Kontrollgruppe eine erhöhte N1-Amplitude auf inkongruente Flanker. Die simultan präsentierten inkongruenten Flanker ziehen demnach in beiden Gruppen mehr Aufmerksamkeit auf sich als kongruente Flanker. Auch wenn dieser Effekt keine statistische Signifikanz erlangt ist eine deutliche Tendenz sichtbar. Die fehlende Signifikanz könnte zum einen der kleinen Stichprobengröße und zum anderen der Inhomogenität der Gruppen geschuldet sein und sollte in zukünftigen Untersuchungen erneut betrachtet werden.

Im längsten Target-Flanker-Intervall von 400 ms lässt sich in den EKP-Daten kein Hinweis auf perzeptuelle Interferenz finden. Es werden weder Gruppenunterschiede noch Kongruenzeffekte sichtbar. Sowohl Kinder mit als auch ohne ADHS scheinen zum Zeitpunkt des Flanker-Erscheinens das Target bereits weitestgehend verarbeitet zu haben. Widersprüchliche Informationen durch inkongruente Flanker haben keinen interferierenden Einfluss mehr.

In der kritischen Bedingung von 100 ms SOA zeigt sich hingegen eine Diskrepanz zu den Verhaltensdaten. Während die Verhaltensdaten für beide Gruppen mit zunehmender SOA einen stetig abnehmenden Interferenzeffekt abbilden, d.h. die Differenz zwischen Reaktionszeiten in kongruenten vs. Reaktionszeiten in inkongruenten Durchgängen stetig geringer wird, zeigen die EKPs ein anderes Bild: Die ADHS-Gruppe zeigt eine erhöhte N1-Amplitude auf das Erscheinen des inkongruenten Flankers im Vergleich zu kongruenten Flankerstimuli. Dieser Effekt belegt, dass ADHS-Kinder in dieser Bedingung einen perzeptuellen Interferenzeffekt aufweisen, der in der Kontrollgruppe nicht auftritt.

Aus der erhöhten N1 Amplitude auf die inkongruenten Flanker in der Gruppe der ADHS-Kinder lässt sich schließen, dass sie den inkongruenten Reizen mehr Aufmerksamkeit schenken als Kontrollkinder es in diesem Verarbeitungsstadium tun. Die inkongruenten, aufgabenirrelevanten Flanker nehmen somit in der Gruppe der ADHS-Kinder einen größeren Einfluss auf die Verarbeitung des relevanten Zielreizes. Die Kinder der Kontrollgruppe scheinen durch irrelevante Information weniger abgelenkt. Diese Daten legen nahe, dass Kinder und Jugendliche mit ADHS zwar ebenso wie gesunde Gleichaltrige zur Allokation selektiver Aufmerksamkeit in der Lage sind, sie jedoch weniger zeitliche Kontrolle darüber zu haben scheinen. In der aktuellen Versuchsgruppe scheint sich dieser Verarbeitungsunterschied jedoch nicht auf die Antwortselektion ausgewirkt zu haben, wie das Fehlen eines Effektes in den Verhaltensdaten zeigt. Die aktuelle Untersuchung war damit in der Lage, unterschwellige Unterschiede in kortikalen Verarbeitungsprozessen zwischen ADHS- und Kontrollkindern zu detektieren, die im Verhalten unentdeckt blieben. Die vorliegenden Befunde stehen in Einklang mit der Annahme, dass ADHS-Probanden in der Lage sind, Verhaltensdefizite zu kompensieren, indem sie zusätzliche Ressourcen für die Verarbeitung der betreffenden Reize aufwenden. Unterschiede in der Anwendung von

Verarbeitungsstrategien bzw. in der Entwicklung solcher Strategien in Abhängigkeit von der Aufgabenschwierigkeit und vom Alter des Probanden wären als mögliche Einflussfaktoren für die kontroversen Befunde in verschiedenen Studien denkbar (Karayanidis, et al., 2000).

Dies hat wichtige Implikationen für die Anwendung solcher Untersuchungsmethoden zur Diagnostik einer Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung, deren Beurteilung auf Verhaltensdaten im Sinne von Reaktionszeiten beruht. Eines dieser Verfahren stellt die Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) von Zimmermann und Fimm dar. Es soll mittels einfacher Reaktionszeit- und Fehlermessungen in dreizehn verschiedenen Untertests eine differenzierte Diagnostik von Aufmerksamkeitsstörungen ermöglicht werden. Die Aufgabenstellungen sind wenig komplex und somit leicht verständlich und durchführbar. In der diagnostischen Untersuchung von Kindern mit einer fraglichen ADHS scheint dadurch die Gefahr gegeben, die Aufmerksamkeitsleistungen auf der Basis von Reaktionszeiten und Fehlerraten zu überschätzen und mögliche Kompensationsstrategien zu übersehen. Die vorliegende Studie gibt Hinweise auf abweichende Verarbeitungsprozesse bei der Bearbeitung von interferenzauslösenden Aufgaben bei ADHS-Kindern, die anhand der reinen Verhaltensdaten basierend auf Reaktionszeit und Fehlerrate unentdeckt geblieben wären. Nicht abschließend beantworten lässt sich die Frage, ob die EKP-Unterschiede auf eine veränderte Stimulusverarbeitung oder zugrundeliegende Kompensationsmechanismen zurück zu führen sind.

Unterschiedliche Informationsverarbeitungsmechanismen bei ADHS- im Vergleich zu Kontrollkindern trotz fehlender Unterschiede auf Verhaltensebene wurden auch in anderen Studien beobachtet. Harter und Kollegen berichten EKP Befunde erhöhter selektiver Reizverarbeitungsprozesse bei Kindern mit ADHS, während sich auf der Verhaltensebene keine Unterschiede zu gesunden Kontrollen zeigten (Harter, Diering & Wood, 1988). Eine ähnliche Datenlage wird von McLoughlin et al. (2009) berichtet: Sie finden in ihrer Untersuchung mit erwachsenen ADHS-Patienten, Vätern von ADHS-Patienten und gesunden Kontrollen einen Unterschied auf elektrokortikaler Ebene zwischen den ersten beiden Gruppen und der Kontrollgruppe, der auf behavioraler Ebene nicht sichtbar ist.

Im Vergleich zwischen ADHS- und Kontrollgruppe finden Johnstone und Kollegen (2008) eine verspätete N1 auf inkongruente Reize in der ADHS-Gruppe. Diese Latenzverschiebung wurde in der vorliegenden Studie nicht repliziert. Mögliche Ursachen für diese Diskrepanz zu anderen EKP-Befunden könnten die geringe Gruppengröße sowie der Größenunterschied zwischen beiden Untersuchungsgruppen sein.

In zukünftigen Untersuchungen erscheint die Betrachtung weiterer EKP-Komponenten sinnvoll, um gefundene Gruppenunterschiede noch weiter zu spezifizieren. EKP-Studien mit gesunden Erwachsenen, die eine Flanker-Aufgabe bearbeiteten, finden beispielsweise

eine erhöhte N2-Amplitude in inkongruenten im Vergleich zu neutralen Bedingungen (Heil, Osman, Wiegmann, Rolke & Hennighausen, 2000; Kopp, Rist & Mattler, 1996). Diese Befunde werden mit der Inhibition einer aufgabenirrelevanten Reaktion bzw. mit der Erkennung einer Konfliktsituation in Verbindung gebracht.

Zudem sollte in zukünftigen Studien die Anzahl der ADHS-Teilnehmer an die Anzahl der Kontrollprobanden angeglichen werden, wodurch zum einen die Gesamtgruppengröße stiege und zum anderen die Homogenität der Gruppengröße gewährleistet wäre. Es ist zu erwarten, dass dadurch die beschriebenen Effekte deutlicher werden.

Neben dem besseren Verständnis des zeitlichen Ablaufes von Konfliktlöseprozessen in interferenzauslösenden Flanker-Aufgaben geben die beschriebenen Befunde auch einen Hinweis auf möglicherweise diagnostisch relevante Gruppenunterschiede in der Konfliktverarbeitung zwischen ADHS- und Kontrollprobanden, die in einfachen Reaktionszeitaufgaben bisher unentdeckt geblieben sind. Sollten sich die Ergebnisse in zukünftigen Studien bestätigen und differenzieren lassen, könnten die Befunde einen kleinen Beitrag zur Entwicklung neuer und genauerer Diagnosemethoden bei der Abklärung einer ADHS-Symptomatik leisten.

4 Synthese und Ausblick

Gegenstand der vorliegenden Dissertation war die Untersuchung selektiver Aufmerksamkeit und Inhibition unter einer Entwicklungsperspektive. Kinder unterschiedlichen Alters, mit und ohne Störung der Aufmerksamkeit, wurden unter dem Aspekt der Allokation von Ressourcen auf relevante Reize sowie hinsichtlich ihrer Anfälligkeit gegenüber Störreizen untersucht. Verläufe der Inhibition und Aufmerksamkeit wurden in unterschiedlichen Aufgabenkontexten operationalisiert: dem Attentional-Blink-Paradigma und dem Eriksen-Flanker-Design.

In der Zusammenschau bilden die Studien aus Experiment I den Entwicklungsverlauf von Erkennungsprofil und –rate bei der Bearbeitung verbaler und non-verbaler Attentional-Blink-Aufgaben bei Kindern der ersten bis zur zehnten Schulklasse ab. Bisherige Attentional-Blink-Studien wurden vor allem mit erwachsenen Probanden bzw. mit klinisch auffälligen Kindern einer Altersstufe durchgeführt. Über die altersbedingte Veränderung in der Bearbeitung von Attentional-Blink-Aufgaben war bisher wenig bekannt. Es zeigt sich ein relativ stabiles Bearbeitungsprofil bei mit zunehmendem Alter steigenden Erkennungsraten. In der Bearbeitung der verbalen AB-Aufgabe zeigte sich der große Einfluss, den die Lesefähigkeit auf die Erkennungsrate verbaler Reize hat, obwohl diese dem Sprachschatz zwei Jahre jüngerer Kinder entnommen waren. Bei Symbol-Reizen werden die altersbedingten Unterschiede geringer.

Die Untersuchung einer Gruppe von ADHS-Kindern zeigt einen Leistungsstand, der dem etwa drei Jahre jüngerer Kontrollkinder entspricht. Vor dem Hintergrund von Befunden verlangsamter Hirnreifung bei ADHS-Kindern (Shaw, et al., 2007) zeigen die hier erhobenen Daten, dass die Verarbeitung von Interferenzprozessen bei ADHS-Kindern unreifer, aber nicht grundlegend unterschiedlich abläuft. Zukünftige Untersuchungen werden zusätzliche ADHS-Probanden unterschiedlichen Alters untersuchen müssen, um diese Frage grundlegend unterschiedlicher Verarbeitungsprozesse oder entwicklungsbedingt verlangsamter Entwicklung von Bearbeitungsstrategie und –kompetenz bei ADHS-Kindern in Abhängigkeit des Alters noch genauer beantworten zu können. Zur exakteren Abbildung zugrunde liegender elektrokortikaler Prozesse sind EEG-Ableitungen während der Bearbeitung von Attentional-Blink-Aufgaben bei Kindern und Jugendlichen mit und ohne ADHS zukünftig unabdingbar.

In Experiment II wird der Unterschied in der Bewältigung von Interferenz in einer Flanker-Aufgabe zwischen ADHS- und Kontrollgruppe erst auf elektrophysiologischer Ebene sichtbar, während sich auf der Verhaltensebene keine Unterschiede zeigen. Dieses Ergebnis hat weitreichende Implikationen für die Entwicklung und Anwendung diagnostischer Testverfahren bei ADHS, die Unterschiede bisher weitestgehend auf

Grundlage der Verhaltensdaten betrachtet haben. Ergänzend hierzu sind Studien mit jüngeren und älteren Kindern unter Anwendung der hier eingeführten Variation der Inter-Stimulus-Intervalle notwendig, um die Frage nach Ursachen der unterschiedlichen kortikalen Antwort detaillierter abbilden zu können.

5 Literaturverzeichnis

- Adleman, N.E., Menon, V., Blasey, C.M., White, C.D., Warsofsky, I.S., Glover, G.H. & Reiss, A.L. (2002). A developmental fMRI study of the Stroop color-word task. *Neuroimage*, 16(1), 61-75.
- Albrecht, B., Brandeis, D., Uebel, H., Heinrich, H., Mueller, U.C., Hasselhorn, M., Steinhilber, H.C., Rothenberger, A. & Banaschewski, T. (2008). Action monitoring in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder, their nonaffected siblings, and normal control subjects: evidence for an endophenotype. *Biol Psychiatry*, 64(7), 615-25.
- Anderson, A.K. & Phelps, E.A. (2001). Lesions of the human amygdala impair enhanced perception of emotionally salient events. *Nature*, 411(6835), 305-9.
- Baayen, R.H., Piepenbrock, R. & Gulikers, L. (1995). The Celex lexical database (Release 2) [CD-ROM]. Philadelphia, PA: Linguistic Data Consortium, University of Pennsylvania [Distributor].
- Barkley, R.A. (1997). *ADHD and the nature of self-control*. New York: Guilford Press.
- Barkley, R.A. (1998). *Attention-Deficit and Hyperactivity: a handbook for diagnosis and treatment*. New York: Guilford Press.
- Barkley, R.A., DuPaul, G.J. & McMurray, M.B. (1990). A comprehensive evaluation of attention deficit disorder with and without hyperactivity. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 58, 775-789.
- Barkley, R.A., Fischer, M., Smallish, L. & Fletcher, K. (2004). Young adult follow-up of hyperactive children: antisocial activities and drug use. *J Child Psychol Psychiatry*, 45(2), 195-211.
- Barry, R.J., Clarke, A.R. & Johnstone, S.J. (2003). A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography. *Clin Neurophysiol*, 114(2), 171-83.
- Biederman, J. & Faraone, S.V. (2002). Current concepts on the neurobiology of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *J Atten Disord*, 6 Suppl 1, S7-16.
- Biederman, J., Faraone, S.V. & Monuteaux, M.C. (2002). Differential effect of environmental adversity by gender: Rutter's index of adversity in a group of boys and girls with and without ADHD. *Am J Psychiatry*, 159(9), 1556-62.
- Biederman, J., Mick, E. & Faraone, S.V. (2000). Age-dependent decline of symptoms of attention deficit hyperactivity disorder: impact of remission definition and symptom type. *Am J Psychiatry*, 157(5), 816-8.

- Biederman, J., Mick, E., Faraone, S.V., Braaten, E., Doyle, A., Spencer, T., Wilens, T.E., Frazier, E. & Johnson, M.A. (2002). Influence of gender on attention deficit hyperactivity disorder in children referred to a psychiatric clinic. *Am J Psychiatry*, 159(1), 36-42.
- Biederman, J., Newcorn, J. & Sprich, S. (1991). Comorbidity of attention deficit hyperactivity disorder with conduct, depressive, anxiety, and other disorders. *American Journal of Psychiatry*, 148, 564-577.
- Booth, J.E., Carlson, C.L. & Tucker, D.M. (2007). Performance on a neurocognitive measure of alerting differentiates ADHD combined and inattentive subtypes: a preliminary report. *Arch Clin Neuropsychol*, 22(4), 423-32.
- Botvinick, M., Nystrom, L.E., Fissell, K., Carter, C.S. & Cohen, J.D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, 402(6758), 179-81.
- Botvinick, M.M., Braver, T.S., Barch, D.M., Carter, C.S. & Cohen, J.D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624-652.
- Broadbent, D.E. (1958). *Perception and Communication*. London: Pergamon.
- Broadbent, D.E. (1971). *Decision and Stress*. London: Academic Press.
- Brocki, K.C. & Bohlin, G. (2004). Executive Functions in Children Aged 6 to 13: A Dimensional and Developmental Study. *Developmental Psychology*, 26(2), 571-593.
- Bush, G., Frazier, J.A., Rauch, S.L., Seidman, L.J., Whalen, P.J., Jenike, M.A., Rosen, B.R. & Biederman, J. (1999). Anterior cingulate cortex dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder revealed by fMRI and the Counting Stroop. *Biol Psychiatry*, 45(12), 1542-52.
- Bush, G., Valera, E.M. & Seidman, L.J. (2005). Functional neuroimaging of attention-deficit/hyperactivity disorder: a review and suggested future directions. *Biol Psychiatry*, 57(11), 1273-84.
- Callaway, E. & Halliday, R. (1982). The effect of attentional effort on visual evoked potential N1 latency. *Psychiatry Res*, 7(3), 299-308.
- Callejas, A., Lupianez, J. & Tudela, P. (2004). The three attentional networks: on their independence and interactions. *Brain Cogn*, 54(3), 225-7.
- Carr, L.A., Nigg, J.T. & Henderson, J.M. (2006). Attentional versus motor inhibition in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Neuropsychology*, 20(4), 430-41.
- Castellanos, F.X., Lee, P.P., Sharp, W., Jeffries, N.O., Greenstein, D.K., Clasen, L.S., Blumenthal, J.D., James, R.S., Ebens, C.L., Walter, J.M., Zijdenbos, A., Evans, A.C., Giedd, J.N. & Rapoport, J.L. (2002). Developmental trajectories of brain volume abnormalities in children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Jama*, 288(14), 1740-8.

- Chun, M.M. (1997). Types and tokens in visual processing: a double dissociation between the attentional blink and repetition blindness. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(3), 738-55.
- Chun, M.M. & Potter, M.C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(1), 109-27.
- Coles, M.G., Gratton, G., Bashore, T.R., Eriksen, C.W. & Donchin, E. (1985). A psychophysiological investigation of the continuous flow model of human information processing. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 11(5), 529-53.
- Coles, M.G. & Rugg, M.D. (1995). Event-related brain potentials: An introduction. In M.D. Rugg & M.G. Coles (Eds.), *Electrophysiology of mind. Event-related brain potentials and cognition* (pp. 1-25). New York: Oxford University Press.
- Corbetta, M., Kincade, J.M., Ollinger, J.M., McAvoy, M.P. & Shulman, G.L. (2000). Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nat Neurosci*, 3(3), 292-7.
- Corbetta, M. & Shulman, G.L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nat Rev Neurosci*, 3(3), 201-15.
- Cowan, N., Naveh-Benjamin, M., Kilb, A. & Saults, J.S. (2006). Life-span development of visual working memory: when is feature binding difficult? *Developmental Psychology*, 42(5), 1089 - 1102.
- Cowan, N., Towse, J.N., Hamilton, Z., Saults, J.S., Elliott, E.M., Lacey, J.F., Moreno, M.V. & Hitch, G.J. (2003). Children`s Working-Memory Processes: A Response-Timing Analysis. *Journal of Experimental Psychology*, 132(1), 113-132.
- Crone, E.A., Jennings, J.R. & van der Molen, M.W. (2003). Sensitivity to interference and response contingencies in attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Child Psychol Psychiatry*, 44(2), 214-26.
- Davies, P.L., Segalowitz, S.J. & Gavin, W.J. (2004a). Development of error-monitoring event-related potentials in adolescents. *Ann N Y Acad Sci*, 1021, 324-8.
- Davies, P.L., Segalowitz, S.J. & Gavin, W.J. (2004b). Development of response-monitoring ERPs in 7- to 25-year-olds. *Dev Neuropsychol*, 25(3), 355-76.
- Di Lollo, V., Kawahara, J., Shahab Ghorashi, S.M. & Enns, J.T. (2005). The attentional blink: resource depletion or temporary loss of control? *Psychol Res*, 69(3), 191-200.
- Diamond, A. (1991). Neuropsychological insights into the meaning of object concept development. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 67-110). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

- Dilling, H., Mombour, W. & Schmidt, M.H. (1993). *Internationale Klassifikation psychischer Störungen (ICD-10)*. Göttingen: Huber.
- Donchin, E., Ritter, W. & McCallum, W.C. (1978). Cognitive psychophysiology: the endogenous components of the ERP. In E. Callaway, P. Tueting & S. Koslow (Eds.), *Event-related brain potentials in man* (pp. 394-412). New York: Academic Press.
- Donkers, F.C. & van Boxtel, G.J. (2004). The N2 in go/no-go tasks reflects conflict monitoring not response inhibition. *Brain Cogn*, 56(2), 165-76.
- Döpfner, M., Frölich, J. & Lehmkuhl, G. (2000). *Hyperkinetische Störungen: Leitfaden Kinder- und Jugendpsychotherapie*. Göttingen: Hogrefe.
- Döpfner, M. & Lehmkuhl, G. (2000). *Diagnostik-System für psychische Störungen im Kindes und Jugendalter nach ICD-10 und DSM-IV (DISYPS-KJ)*. (2. korrigierte und ergänzte Auflage ed.). Bern: Huber.
- Döpfner, M., Schürmann, S. & Lehmkuhl, G. (1999). *Wackelpeter und Trotzkopf: Hilfen bei hyperkinetischem und oppositionellem Verhalten*. Weinheim: Beltz.
- Doucet, M.E., Gosselin, F., Lassonde, M., Guillemot, J.P. & Lepore, F. (2005). Development of visual-evoked potentials to radially modulated concentric patterns. *Neuroreport*, 16(16), 1753-6.
- Eisert, H.G. (1993). Hyperkinetische Störungen. In H.-C. Steinhausen & M. von Aster (Eds.), *Handbuch Verhaltenstherapie und Verhaltensmedizin bei Kindern und Jugendlichen* (pp. 131-160). Weinheim: Beltz.
- Enns, J.T. (1990). Relations between components of visual attention. In J.T. Enns (Ed.), *The development of attention: Research and theory* (pp. 139 - 158). Amsterdam: Elsevier Science.
- Enns, J.T. & Akhtar, N. (1989). A developmental study of filtering in visual attention *Child Development*, 60, 1188-1199.
- Enns, J.T. & Girgus, J.S. (1985). Developmental changes in selective and integrative visual attention. *Journal of Experimental Child Psychology*, 40(2), 319-37.
- Eriksen, B.A. & Eriksen, C.W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception and Psychophysics*, 16, 143-149.
- Eriksen, C.W. & Schultz, D.W. (1979). Information processing in visual search: A continuous flow conception and experimental results. *Perception and Psychophysics*, 25, 249-263.
- Fan, J., McCandliss, B.D., Fossella, J., Flombaum, J.I. & Posner, M.I. (2005). The activation of attentional networks. *Neuroimage*, 26(2), 471-9.
- Fan, J., McCandliss, B.D., Sommer, T., Raz, A. & Posner, M.I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *J Cogn Neurosci*, 14(3), 340-7.

- Faraone, S.V. & Biederman, J. (2005). What is the prevalence of adult ADHD? Results of a population screen of 966 adults. *Journal of Attention Disorders*, 9(2), 384-391.
- Faraone, S.V., Biederman, J., Spencer, T., Wilens, T., Seidman, L.J., Mick, E. & Doyle, A.E. (2000). Attention-deficit/hyperactivity disorder in adults: an overview. *Biol Psychiatry*, 48, 9-20.
- Faraone, S.V., Doyle, A.E., Mick, E. & Biederman, J. (2001). Meta-Analysis of the association between the 7-repeat allele of the dopamine D4 receptor gene and attention deficit hyperactivity disorder. *American Journal of Psychiatry*, 158(7), 1052-1057.
- Faraone, S.V., Sergeant, J.A., Gillberg, C.G. & Biederman, J. (2003). The worldwide prevalence of ADHD: is it an American condition? *World Psychiatry*, 2(2), 104-113.
- Foster, J.K., Eskes, G.A. & Stuss, D.T. (1994). The cognitive neuropsychology of attention: A frontal lobe perspective. *Cognitive Neuropsychology*, 11, 133 - 147.
- 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. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 28(1), 1-12.
- Gaub, M. & Carlson, C.L. (1997). Gender differences in ADHD: a meta-analysis and critical review. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 36(8), 1036-45.
- Gerardi-Caulton, G. (2000). Sensitivity to spatial conflict and the development of self regulation in children 24-36 months of age. *Developmental Science*, 3, 397-404.
- Goodman, R. & Stevenson, J. (1989). A twin study of hyperactivity--II. The aetiological role of genes, family relationships and perinatal adversity. *J Child Psychol Psychiatry*, 30(5), 691-709.
- Gornick, M.C., Addington, A., Shaw, P., Bobb, A.J., Sharp, W., Greenstein, D., Arepalli, S., Castellanos, F.X. & Rapoport, J. (2006). Association of the dopamine receptor D4 (DRD4) gene 7-repeat allele with children with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): An update. *American Journal of Medical Genetics Part B*, 144B(379-382).
- Gross, J., Schmitz, F., Schnitzler, I., Kessler, K., Shapiro, K., Hommel, B. & Schnitzler, A. (2004). Modulation of long-range neural synchrony reflects temporal limitations of visual attention in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 101(35), 13050-5.
- Hackley, S.A. & Valle-Inclan, F. (1998). Automatic alerting does not speed late motoric processes in a reaction-time task. *Nature*, 391(6669), 786-8.
- Harter, M.R., Diering, S. & Wood, F.B. (1988). Separate brain potential characteristics in children with reading disability and attention deficit disorder: relevance-independent effects. *Brain Cogn*, 7(1), 54-86.

- Hasselhorn, M. (1988). Wie und warum verändert sich die Gedächtnisspanne über die Lebensspanne? *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 20(4), 322-337.
- Hasselhorn, M., Kamm, M. & Ueffing, E. (1989). Altersdifferenzen bei der Verarbeitung zentraler und inzidenteller Bildinformation: Zur Entwicklung von Aspekten der Aufmerksamkeit. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 2, 124-145.
- Heil, M., Osman, A., Wiegelmann, J., Rolke, B. & Hennighausen, E. (2000). N200 in the Eriksen-task: inhibitory executive process? *Journal of Psychophysiology*, 14, 218-225.
- Heim, S., Keil, A. & Ihssen, N. (2006). Der Zusammenhang zwischen zeitlicher Aufmerksamkeitsallokation und Lese- Rechtschreibleistungen im frühen Sekundarschulalter. *Zeitschrift für Psychologie*, 214(4), 196-206.
- Hein, G., Alink, A., Kleinschmidt, A. & Muller, N.G. (2009). The attentional blink modulates activity in the early visual cortex. *J Cogn Neurosci*, 21(1), 197-206.
- Heller, K.A., Kratzmeier, H. & Lengfelder, A. (1998). *Raven-Matrizen-Test, Standard Progressive Matrices (SPM)*. Göttingen: Beltz.
- Hillyard, S.A., Hink, R.F., Schwent, V.L. & Picton, T.W. (1973). Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science*, 182, 177-180.
- Hillyard, S.A., Vogel, E.K. & Luck, S.J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 353(1373), 1257-70.
- Hopfinger, J.B., Buonocore, M.H. & Mangun, G.R. (2000). The neural mechanisms of top-down attentional control. *Nat Neurosci*, 3(3), 284-91.
- Howard, L. & Polich, J. (1985). P300 Latency and Memory Span Development. *Developmental Psychology*, 21(2), 283-289.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Holt.
- Jensen, P.S., Martin, D. & Cantwell, D.P. (1997). Comorbidity in ADHD: Implications for research, practice, and DSM-V. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 36, 1065-1079.
- Johnson, R., Jr. (1989). Developmental evidence for modality-dependent P300 generators: a normative study. *Psychophysiology*, 26(6), 651-67.
- Johnstone, S.J., Barry, R.J., Markovska, V., Dimoska, A. & Clarke, A.R. (2008). Response inhibition and interference control in children with AD/HD: A visual ERP investigation. *Int J Psychophysiol*.
- Jolicoeur, P. & Dell'Acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive Psychology*, 36, 138-202.

- Jones, L.B., Rothbart, M.K. & Posner, M.I. (2003). Development of executive attention in preschool children. *Developmental Science*, 6, 498-504.
- Jonkman, L.M., Kemner, C., Verbaten, M.N., Van Engeland, H., Kenemans, J.L., Camfferman, G., Buitelaar, J.K. & Koelega, H.S. (1999). Perceptual and response interference in children with attention-deficit hyperactivity disorder, and the effects of methylphenidate. *Psychophysiology*, 36(4), 419-29.
- Karayanidis, F., Robaey, P., Bourassa, M., De Koning, D., Geoffroy, G. & Pelletier, G. (2000). ERP differences in visual attention processing between attention-deficit hyperactivity disorder and control boys in the absence of performance differences. *Psychophysiology*, 37(3), 319-33.
- Kastner, S., Pinsk, M.A., Weerd, P.D., Desimone, R. & Ungerleider, L.G. (1999). Increased activity in human visual cortex during directed attention in the absence of visual stimulation. *Neuron*, 22, 751-761.
- Keil, A. (2004). The role of human prefrontal cortex in motivated perception and behavior: Evidence from macroscopic electrocortical signals. In: S. Otani. *Prefrontal cortex: From synaptic plasticity to cognition*. New York: Kluwer.
- Keil, A. & Ihssen, N. (2004). Identification facilitation for emotionally arousing verbs during the attentional blink. *Emotion*, 4(1), 23-35.
- Keil, A., Ihssen, N. & Heim, S. (2006). Early cortical facilitation for emotionally arousing targets during the attentional blink. *BMC Biology*, 4, 23.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P.J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlstrom, K., Gillberg, C.G., Forssberg, H. & Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD--a randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44(2), 177-86.
- Klingberg, T., Forssberg, H. & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), 781-91.
- Kopp, B., Rist, F. & Mattler, U. (1996). N200 in the flanker task as a neurobehavioral tool for investigating executive control. *Psychophysiology*, 33(3), 282-94.
- Kordon, A. & Kahl, K.G. (2004). Attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHS) in adulthood. *Psychotherapie, Psychosomatik, Medizinische Psychologie*, 54(3-4), 124-36.
- Kwon, H., Reiss, A.L. & Menon, V. (2002). Neural basis of protracted developmental changes in visuo-spatial working memory. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 99(20), 13336-41.
- Lavric, A., Pizzagalli, D.A. & Forstmeier, S. (2004). When 'go' and 'nogo' are equally frequent: ERP components and cortical tomography. *Eur J Neurosci*, 20(9), 2483-8.

- Lévesque, J., Beauregard, M. & Mensour, B. (2006). Effect of neurofeedback training on the neural substrates of selective attention in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: A functional magnetic resonance imaging study *Neuroscience Letters*, *394*, 216-221.
- Luck, S.J., Heinze, H.J., Mangun, G.R. & Hillyard, S.A. (1990). Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. II. Functional dissociation of P1 and N1 components. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, *75*(6), 528-42.
- Luu, P., Tucker, D.M., Derryberry, D., Reed, M. & Poulsen, C. (2003). Electrophysiological responses to errors and feedback in the process of action regulation. *Psychological Science*, *14*, 47-53.
- Marois, R., Yi, D.J. & Chun, M.M. (2004). The neural fate of consciously perceived and missed events in the attentional blink. *Neuron*, *41*(3), 465-72.
- Martin, F., Delpont, E., Suisse, G., Richelme, C. & Dolisi, C. (1993). Long latency event-related potentials (P300) in gifted children. *Brain Dev*, *15*(3), 173-7.
- McLaughlin, E.N., Shore, D.I. & Klein, R.M. (2001). The attentional blink is immune to masking-induced data limits. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human experimental psychology*, *54*(1), 169-96.
- McLoughlin, G., Albrecht, B., Banaschewski, T., Rothenberger, A., Brandeis, D., Asherson, P. & Kuntsi, J. (2009). Performance monitoring is altered in adult ADHD: a familial event-related potential investigation. *Neuropsychologia*, *47*(14), 3134-42.
- Miltner, W.H.R., Braum, C.H. & Coles, M.G.H. (1997). Event-related brain potentials following incorrect feedback in a time-estimation task: Evidence for a „generic“ neural system for error detection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*, 788-798.
- Mullane, J.C., Corkum, P.V., Klein, R.M. & McLaughlin, E.N. (2009). Interference control in children with and without ADHD: a systematic review of flanker and simon task performance. *Child Neuropsychology*, *15*, 321 - 342.
- Näätänen, R. & Picton, T.W. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, *24*, 375-425.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Nieuwenhuis, S., Gilzenrat, M.S., Holmes, B.D. & Cohen, J.D. (2005). The role of the locus coeruleus in mediating the attentional blink: a neurocomputational theory. *Journal of Experimental Psychology*, *134*(3), 291-307.

- Oades, R.D., Dittmann-Balcar, A. & Zerbin, D. (1997). Development and topography of auditory event-related potentials (ERPs): mismatch and processing negativity in individuals 8-22 years of age. *Psychophysiology*, 34(6), 677-93.
- Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97 - 113.
- Olesen, P.J., Westerberg, H. & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7(1), 75-9.
- Polanczyk, G., de Lima, M.S., Horta, B.L., Biederman, J. & Rohde, L.A. (2007). The worldwide prevalence of ADHD: a systematic review and metaregression analysis. *Am J Psychiatry*, 164(6), 942-8.
- Posner, M.I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M.I. & Boies, S.J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78, 391-408.
- Posner, M.I. & Dehaene, S. (1994). Attentional networks. *Trends Neurosci*, 17(2), 75-9.
- Posner, M.I., Rueda, M.R. & Kanske, P. (2007). Probing the mechanisms of attention. In J.T. Cacioppo, J.G. Tassinari & G. Bernston (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 410-432). Cambridge: Cambridge University Press.
- Potter, M.C., Chun, M.M., Banks, B.S. & Muckenhoupt, M. (1998). Two attentional deficits in serial target search: the visual attentional blink and an amodal task-switch deficit. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 24(4), 979-92.
- Ptito, A., Arnell, K., Jolicoeur, P. & Macleod, J. (2008). Intramodal and crossmodal processing delays in the attentional blink paradigm revealed by event-related potentials. *Psychophysiology*, 45(5), 794-803.
- Raven, J.C., Raven, J. & Court, J.H. (2002). *Raven's Progressive Matrices (CPM) and Vocabulary Scales*. Frankfurt: Swets & Zeitlinger B.V.
- Raymond, J.E., Shapiro, K.L. & Arnell, K.M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(3), 849-60.
- Raz, A. & Buhle, J. (2006). Typologies of attentional networks. *Nat Rev Neurosci*, 7(5), 367-79.
- Ridderinkhof, K.R., Scheres, A., Oosterlaan, J. & Sergeant, J.A. (2005). Delta plots in the study of individual differences: new tools reveal response inhibition deficits in AD/Hd that are eliminated by methylphenidate treatment. *J Abnorm Psychol*, 114(2), 197-215.

- Ridderinkhof, K.R. & van der Molen, M.W. (1995a). A psychophysiological analysis of developmental differences in the ability to resist interference. *Child Development*, 66, 1040-1056.
- Ridderinkhof, K.R. & van der Molen, M.W. (1995b). When global information and local information collide: a brain potential analysis of the locus of interference effects. *Biol Psychol*, 41(1), 29-53.
- Ridderinkhof, K.R., van der Molen, M.W. & Band, G.P.H. (1997). Sources of interference from irrelevant information: A developmental study. *J Exp Child Psychol*, 65, 315-341.
- Ridderinkhof, K.R. & van der Stelt, O. (2000). Attention and selection in the growing child: views derived from developmental psychophysiology. *Biological psychology*, 54(1-3), 55-106.
- Rothbart, M.K., Ellis, L.K., Rueda, M.R. & Posner, M.I. (2003). Developing mechanisms of temperamental effortful control. *J Pers*, 71(6), 1113-43.
- Rott, C. & Zielinski, W. (1985). Vergleich der Buchstaben- und Wortlesefertigkeit guter und schwacher Leser der 2. und 4. Grundschulklasse. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 17(2), 150-163.
- Rubia, K., Overmeyer, S., Taylor, E., Brammer, M., Williams, S.C., Simmons, A. & Bullmore, E.T. (1999). Hypofrontality in attention deficit hyperactivity disorder during higher-order motor control: a study with functional MRI. *Am J Psychiatry*, 156(6), 891-6.
- Rubia, K., Smith, A.B., Brammer, M.J., Toone, B. & Taylor, E. (2005). Abnormal brain activation during inhibition and error detection in medication-naive adolescents with ADHD. *Am J Psychiatry*, 162(6), 1067-75.
- Rueda, M.R., Fan, J., McCandliss, B.D., Halparin, J.D., Gruber, D.B., Lercari, L.P. & Posner, M.I. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, 42(8), 1029-40.
- Rueda, M.R., Posner, M.I. & Rothbart, M.K. (2005). The development of executive attention: contributions to the emergence of self-regulation. *Dev Neuropsychol*, 28(2), 573-94.
- Rueda, M.R., Posner, M.I., Rothbart, M.K. & Davis-Stober, C.P. (2004). Development of the time course for processing conflict: an event-related potentials study with 4 year olds and adults. *BMC Neurosci*, 5, 39.
- Saß, H., Wittchen, H.-U., Zaudig, M. & Houben, I. (1998). *Diagnostisches und Statistisches Manual Psychischer Störungen DSM-IV*. Göttingen: Hogrefe.

- Schlack, R., Hölling, H., Kurth, B.-M. & Huss, M. (2007). Die Prävalenz der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*, 50, 827-835.
- Schröger, E. (1996). A neural mechanism for involuntary attention shifts to changes in auditory stimulation. *Journal of Cognitive Neuroscience* 8, 527-539.
- Schröger, E. & Wolff, C. (1998). Attentional orienting and reorienting is indicated by human event-related brain potentials. *Neuroreport*, 9, 3355-3358.
- Segalowitz, S.J., Davies, P.L., Santesso, D., Gavin, W.J. & Schmidt, L.A. (2004). *The development of the error negativity in children and adolescents*. Leipzig: Max Planck Institute for Cognition and Neurosciences.
- Shapiro, K.L., Caldwell, J. & Sorensen, R.E. (1997). Personal names and the attentional blink: a visual "cocktail party" effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(2), 504-14.
- Shapiro, K.L., Raymond, J.E. & Arnell, K.M. (1994). Attention to visual pattern information produces the attentional blink in rapid serial visual presentation. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 20(2), 357-71.
- Shapiro, K.L., Schmitz, F., Martens, S., Hommel, B. & Schnitzler, A. (2006). Resource sharing in the attentional blink. *Neuroreport*, 17(2), 163-6.
- Shaw, P., Eckstrand, K., Sharp, W., Blumenthal, J., Lerch, J.P., Greenstein, D., Clasen, L., Evans, A., Giedd, J. & Rapoport, J.L. (2007). Attention-deficit/hyperactivity disorder is characterized by a delay in cortical maturation. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 104(49), 19649-54.
- Shaw, P., Lerch, J., Greenstein, D., Sharp, W., Clasen, L., Evans, A., Giedd, J., Castellanos, F.X. & Rapoport, J. (2006). Longitudinal mapping of cortical thickness and clinical outcome in children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Arch Gen Psychiatry*, 63(5), 540-9.
- Sherman, D.K., Iacono, W.G. & McGue, M.K. (1997). Attention-deficit hyperactivity disorder dimensions: a twin study of inattention and impulsivity-hyperactivity. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 36(6), 745-53.
- Smid, H.G., Mulder, G. & Mulder, L.J. (1990). Selective response activation can begin before stimulus recognition is complete: a psychophysiological and error analysis of continuous flow. *Acta Psychol (Amst)*, 74(2-3), 169-201.
- Soto-Faraco, S. & Spence, C. (2002). Modality-specific auditory and visual temporal processing deficits. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human experimental psychology*, 55(1), 23-40.

- Sprich, S., Biederman, J., Crawford, M.H., Mundy, E. & Faraone, S.V. (2000). Adoptive and biological families of children and adolescents with ADHD. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 39(11), 1432-7.
- Stroop, J. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Sturm, W., Schmenk, B., Fimm, B., Specht, K., Weis, S., Thron, A. & Willmes, K. (2006). Spatial attention: more than intrinsic alerting? *Exp Brain Res*, 171(1), 16-25.
- Sturm, W. & Willmes, K. (2001). On the functional neuroanatomy of intrinsic and phasic alertness. *Neuroimage*, 14(1 Pt 2), S76-84.
- Tannock, R. (1998). Attention deficit hyperactivity disorder: advances in cognitive, neurobiological, and genetic research. *J Child Psychol Psychiatry*, 39(1), 65-99.
- Taylor, E., Dopfner, 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. *Eur Child Adolesc Psychiatry*, 13 Suppl 1, 17-30.
- Taylor, E., Sergeant, J., Doepfner, M., Gunning, B., Overmeyer, S., Mobius, H.J. & Eisert, H.G. (1998). Clinical guidelines for hyperkinetic disorder. European Society for Child and Adolescent Psychiatry. *Eur Child Adolesc Psychiatry*, 7(4), 184-200.
- Tewes, U., Rossmann, P. & Schallberger, U. (Eds.). (1999). *Der Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Kinder Dritte Version, HAWIK-III*. Bern: Hans Huber.
- Tipper, S.P., Bourque, T.A., Anderson, S.H. & Brehaut, J.C. (1989). Mechanisms of attention: A developmental study. *J Exp Child Psychol*, 48, 353-378.
- Van Veen, V., Cohen, J.D., Botvinick, M.M., Stenger, V.A. & Carter, C.S. (2001). Anterior cingulate cortex, conflict monitoring, and levels of processing. *Neuroimage*, 14, 1302-1308.
- Visser, T.A., Bischof, W.F. & Di Lollo, V. (1999). Attentional switching in spatial and non-spatial domains: Evidence from the attentional blink. *Psychological Bulletin*, 125(4), 458-469.
- Visser, T.A., Boden, C. & Giaschi, D.E. (2004). Children with dyslexia: evidence for visual attention deficits in perception of rapid sequences of objects. *Vision Research*, 44(21), 2521-35.
- Vogel, E.K. & Luck, S.J. (2002). Delayed working memory consolidation during the attentional blink. *Psychon Bull Rev*, 9(4), 739-43.
- Walter, W.G., Cooper, R., Aldridge, V.J., McCallum, W.C. & Winter, A.L. (1964). Contingent negative variation: An electrical sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature*, 203, 380-384.
- Weiß, R.H. (2006). *CFT 20-R Grundintelligenztest Skala 2 - Revision*. Göttingen: Hogrefe.

Zilbovicius, M., Garreau, B., Samson, Y., Remy, P., Barthelemy, C., Syrota, A. & Lelord, G. (1995). Delayed maturation of the frontal cortex in childhood autism. *Am J Psychiatry*, 152, 249-252.