

Aus dem  
Institut und Poliklinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Komm. Vorstand: Prof. Dr. med H.-J. Möller

Computergestützte Untersuchungen zur Entwicklung  
von Aufmerksamkeitsleistungen im Jugendalter

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Stefanie Vera Tina Gaupp  
aus München  
2007

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Frau Priv. Doz. Dr/RU Gent M. Noterdaeme

Mitberichterstatter: Prof. Dr. R. von Kries

Dekan: Prof. Dr.med. D. Reinhard

Tag der mündlichen Prüfung: 22.03.2007

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Aufmerksamkeit als Hirnleistung .....</b>	<b>4</b>
2.1	Entwicklung und Definition des Begriffs Aufmerksamkeit.....	4
2.2	Teilaspekte der Aufmerksamkeitsleistungen .....	5
2.2.1	Alertness .....	5
2.2.2	Selektive Aufmerksamkeit.....	5
2.2.3	Geteilte Aufmerksamkeit.....	6
2.2.4	Längerfristige Aufmerksamkeit und Vigilanz .....	6
2.3	Modelle der Aufmerksamkeitsverarbeitung.....	8
2.3.1	Modell der neuronalen Netzwerke .....	8
2.3.2	Informationsverarbeitungstheorie .....	8
2.4	Lokalisation von Aufmerksamkeit anhand von anatomischen und neurophysiologischen Befunden .....	10
2.4.1	Lateralisierung von Aufmerksamkeitsleistungen.....	11
2.4.2	Kortikale Korrelate zu Aufmerksamkeitsprozessen durch bildgebende Verfahren .....	11
2.4.3	Subkortikale Areale und Hinweise auf zeitliche Zusammenhänge durch Messungen ereigniskorrelierter Potentiale.....	13
2.4.4	Zusammenfassung.....	16
2.5	Entwicklung von Aufmerksamkeitsfunktionen.....	18
2.5.1	Erfassung von Aufmerksamkeitsleistungen.....	18
2.5.1.1	Erfassung von Aufmerksamkeitsleistungen auf Verhaltensebenen .....	19
2.5.1.2	Erfassung von Aufmerksamkeitsleistungen auf neuropsychologischer Ebene anhand standardisierter Testverfahren.....	21
2.5.2	Differenzierung von Aufmerksamkeitsfunktionen im Kindes- und Jugendalter .....	26
2.5.3	Entwicklung von Aufmerksamkeitsfunktionen im Jugendalter.....	27
2.5.4	Zusammenhänge zwischen struktureller Hirnentwicklung und Entwicklung kognitiver Funktionen.....	32
<b>3</b>	<b>Eigene Untersuchung.....</b>	<b>36</b>
3.1	Fragestellung und Hypothesen .....	36
3.2	Methodik .....	37
3.2.1	Stichprobenbeschreibung.....	37
3.2.2	Beschreibung der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP).....	39
3.2.3	Statistische Auswertung.....	46
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>47</b>
4.1	Altersvergleich .....	47
4.2	Geschlechtsvergleich .....	54
4.3	Intelligenzkorrelation.....	58
4.4	Korrelation mit dem Fragebogen CBCL.....	59

4.5	Korrelationen der Testergebnisse zwischen den einzelnen Aufmerksamkeitsfunktionen .....	59
4.6	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	62
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>70</b>
<b>7</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>72</b>
7.1.	TAP-Vergleichswerte .....	73

## **1 Einleitung**

Die Fähigkeit des Gehirns zur Reizaufnahme und Reizverarbeitung stellt eine grundlegende Bedingung für die kognitive Entwicklung des Menschen dar. Kinder und Jugendliche, die unter Aufmerksamkeitsstörungen leiden, werden verstärkt von Umweltreizen abgelenkt und haben Schwierigkeiten, sich gezielt und über einen längeren Zeitraum zu konzentrieren. Ist die Reizaufnahme durch Störungen der Aufmerksamkeit nicht möglich, können bei Kindern entscheidende Entwicklungsdefizite auftreten (Lösslein und Deike-Beth 1997).

Ein Schwerpunkt der Heckscher-Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie in München liegt in der Untersuchung und Behandlung von jungen Patienten mit Aufmerksamkeitsstörungen. Durch Studien mit Gesunden können wichtige Erkenntnisse über die Entwicklung von Aufmerksamkeitsleistungen gewonnen werden, um die Diagnostik und Therapie für betroffene Kinder und Jugendliche zu verbessern.

Eine wichtige Grundlage dieser Arbeit beruht auf modernen Aufmerksamkeitstheorien die übereingekommen sind, dass Aufmerksamkeit keine Einzelleistung darstellt, sondern dass man sowohl hirnmorphologisch, als auch testpsychologisch mehrere Unterfunktionen unterscheiden kann. Eine aktuell gültige Einteilung erfolgt in die Bereiche Alertness (Wachheit), selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz (Keller und Grömminger 1993, Sturm 1997). Komplexere Leistungen, wie so genannte exekutive Funktionen werden getrennt davon betrachtet. Die Theorien besagen, dass die Teilfunktionen voneinander unabhängig sind, wodurch zum einen teilleistungsspezifische Entwicklungsverläufe erwartet werden können, und sich zum anderen auch die Möglichkeit von Teilleistungsstörungen ergibt.

Es ist daher sinnvoll, die Entwicklungsverläufe der einzelnen Aufmerksamkeitsleistungen getrennt zu betrachten und herauszufinden, ab welchem Alter das Entwicklungspotential ausgeschöpft ist. So lassen bisherige Untersuchungen nur vermuten, dass im Jugendalter ein Entwicklungsmaximum und damit Erwachseneniveau erreicht wird (Kunert et al. 1996, Rebok et al. 1997, Kail 1991, 1993). Die meisten Studien befassen sich jedoch nur mit der Entwicklung bei Kindern. Gerade über die kritische Entwicklungsphase bei Jugendlichen liegen kaum Untersuchungen vor.

In der vorliegenden Arbeit wird daher schwerpunktmäßig die neuropsychologische Erfassung und Entwicklung von einzelnen Aufmerksamkeitsleistungen bei Jugendlichen betrachtet.

Die Arbeit möchte nun gesunde Jugendliche im Alter von 13 und 15 Jahren anhand der computergestützten Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) auf ihre Kapazitäten in den Aufmerksamkeitsbereichen Alertness, selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz untersuchen. Es soll damit die bisher nur unzureichende Datenlage über den

Entwicklungsverlauf der einzelnen Aufmerksamkeitsaspekte im Jugendalter ergänzt werden. Die Daten sollen schließlich genutzt werden um das Modell der Unabhängigkeit der Teilleistungen auch bei Jugendlichen zu untermauern. Des Weiteren wird nach Geschlechtsunterschieden in den Aufmerksamkeitsfähigkeiten bei 13 und 15 Jährigen Jungen und Mädchen gesucht und zusätzlich Hinweisen über einen möglichen Zusammenhang von Intelligenz und Aufmerksamkeitsleistungen im Jugendalter nachgegangen.

Die theoretischen Aspekte der Arbeit werden im zweiten Kapitel behandelt. Kapitel 3 legt die Fragestellungen und Methodik der eigenen Untersuchung dar, gefolgt von der Darstellung der Ergebnisse in Kapitel 4. Die Diskussion schließt sich in Kapitel 5 an und eine abschließende Zusammenfassung der Arbeit findet sich in Kapitel 6.

## **2 Aufmerksamkeit als Hirnleistung**

### **2.1 Entwicklung und Definition des Begriffs Aufmerksamkeit**

Alle Definitionen von Aufmerksamkeit befassen sich mit dem Begriff der Reizselektion. So wird Aufmerksamkeit als ein Prozess angesehen, der es auf der einen Seite ermöglicht aus mehreren gleichzeitig auftretenden Reizen oder Ereignissen gezielt eines davon zu erfassen, und auf der anderen Seite die nicht erforderlichen Informationen gleichsam als irrelevant zu erkennen und zu löschen. Neue Situationen erfordern daher eine hohe Flexibilität und rasche Verschiebung des Reizfokus und damit der Aufmerksamkeit. So postulierte bereits Broadbent 1964, dass zwei gleichzeitig auftretende Reize nicht gemeinsam verarbeitet werden können, da Aufmerksamkeitskapazitäten begrenzt sind. Selektive Reaktionen folgen nur auf wichtige Reize, während andere, unwichtigere Reize abgeblockt werden. Um eine derart ökonomische Kapazitätsverteilung zu gewährleisten, sprach er von einem vorhandenen Filtersystem, welches nur die relevanten Reize zur weiteren Informationsverarbeitung durchlässt. Während Broadbent noch von einem Filter spricht, gehen neuere Theorien davon aus, dass jeder sensorische Kanal (visuell, auditiv, somatosensorisch, usw.) seinen eigenen Filter besitzt (Birbaumer und Schmidt 1996, Posner und Petersen 1990). Shiffrin und Schneider (1977) teilten den Aufmerksamkeitsprozess in zwei weitere Kategorien ein, die automatisierte und die kontrollierte Informationsverarbeitung. Automatische Verarbeitung setzt voraus, dass ein Inhalt gelernt und ins Langzeitgedächtnis übernommen wird. Eine automatisierte Reaktion läuft ohne bewusste Aufmerksamkeit ab und belastet nicht das begrenzte Kapazitätssystem. Kontrollierte Informationsverarbeitung dagegen benötigt bewusste Aufmerksamkeit und wird durch die Ressourcen begrenzt.

Ungeachtet einer Ressourcenverteilung stellen unterschiedliche Situationen auch verschiedene Anforderungen an das Attribut Aufmerksamkeit. Es haben sich so im Verlauf der Forschung Modelle entwickelt, die Aufmerksamkeit nicht mehr als eine einheitliche Funktion ansehen, sondern von mehreren Teilfunktionen ausgehen (Mirsky et al. 1991, Mirsky 1996, Van der Meere 1996, Sanders 1983, Posner und Peterson 1990). Dazu zählen nach einer aktuellen Einteilung die „Aufmerksamkeitsaktivierung“ (alertness), „Daueraufmerksamkeit“ (sustained attention), „selektive Aufmerksamkeit“ (selective, focussed attention) und „geteilte Aufmerksamkeit“ (divided attention) (Van Zomeren und Brouwer 1994, Keller und Grömminger 1993, Sturm 1997).

## **2.2 Teilaspekte der Aufmerksamkeitsleistungen**

### **2.2.1 Alertness**

Der Begriff Alertness umschreibt eine allgemeine Wachheit unseres Gehirns. Diese ist verantwortlich für eine angepasste und eventuell lebenswichtige Reaktion auf Umweltreize. Ist der Aktivierungsprozess vermindert, resultiert eine Verlangsamung der Reaktionsgeschwindigkeit auf den Reiz (Wahrnehmung, Aufnahme, Verarbeitung, Speicherung, Abruf und Ausgabe). Ein reduziertes Wachheitsniveau kann im Alltag ein großes Handicap für schulische und berufliche Anforderungen darstellen, und sich in Müdigkeit, schnellerer Erschöpfbarkeit, Reaktionsverlangsamung oder mit kurzzeitigen Aufmerksamkeitsaussetzern ("lapses of attention") äußern (Lösslein und Deike-Beth 1997).

Der Begriff der Alertness lässt sich in eine tonische und in eine phasische Aktiviertheit unterteilen. Unter tonischer Alertness versteht man ein allgemeines Wachheitsniveau, das sich nur langsam ändert und relativ stabil bleibt. Eine Änderung der tonischen Alertness erfolgt am ehesten in Zusammenhang mit dem physiologischen circadianen Rhythmus. Phasische Alertness dagegen bezeichnet die Fähigkeit, Aufmerksamkeit kurzfristig und schnell zu erhöhen. Dies geschieht besonders nach einem Warnsignal, welches auf den Reiz vorbereitet (Sturm und Willmes 2001).

### **2.2.2 Selektive Aufmerksamkeit**

Ein Aspekt der selektiven Aufmerksamkeit beschreibt die Fähigkeit, sich auf bestimmte Reize zu fokussieren und gleichzeitig unwichtige Reize zu unterdrücken. Die Zuwendung der Aufmerksamkeit zu einem Reiz hin kann unbewusst automatisiert oder bewusst kontrolliert erfolgen (Shiffrin und Schneider 1977). Ist die Fähigkeit, unwichtige Reize auszublenden, bei hirngeschädigten Patienten gestört, wird dies subjektiv als erhöhte Ablenkbarkeit empfunden (Keller und Grömminger 1993). Durch die verminderte Toleranz von Störreizen kann es zu erheblichen Leistungsminderungen kommen, die einen entscheidenden Faktor für

Entwicklungsverzögerungen darstellen können (Lösslein und Deike-Beth 1997). Andere Aspekte der selektiven Aufmerksamkeit beschreiben komplexere Vorgänge die in den Bereich der so genannten exekutiven Funktionen hineinragen und im Ausführlichen nicht Inhalt dieser Arbeit sind.

### **2.2.3 Geteilte Aufmerksamkeit**

Die Fähigkeit, seine Aufmerksamkeit auf mehrere Reize gleichzeitig zu richten oder mehrere Tätigkeiten gleichzeitig auszuführen, wird als geteilte Aufmerksamkeit bezeichnet. Diese Situation tritt im Alltag sehr häufig auf. Die Teilung der Aufmerksamkeitsressourcen auf mehr als eine aktuell wichtige Situation, ist nur in einem engen Rahmen möglich, da die Aufmerksamkeitskapazitäten begrenzt sind (Broadbent 1964, Sturm et al. 1997, Keller und Grömminger 1993). Die Geschwindigkeit des Erreichens der Kapazitätsgrenzen ist abhängig von dem Maß an bewusster und unbewusster Informationsverarbeitung. Eine automatisierte und damit unbewusst ablaufende Reaktion verbraucht weniger Ressourcen, wodurch mehr Kapazität für andere Funktionen übrig bleibt. Auch die verschiedenen Sinnesmodalitäten (visuell, auditiv, somatosensorisch, etc.) auf die Reize einwirken, verbrauchen situationsabhängig unterschiedliche Mengen an Kapazität und spielen in der Begrenzung der Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit eine Rolle.

### **2.2.4 Längerfristige Aufmerksamkeit und Vigilanz**

Innerhalb psychologischer Tests unterscheidet man zwischen Aufgaben zur Daueraufmerksamkeit und zur Vigilanz. Daueraufmerksamkeit beschreibt eine längerfristige Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit bei hoher Reizfrequenz, während Vigilanz die Fähigkeit zur längerfristigen Aufmerksamkeit bei sehr eingeschränkter und eintöniger Reizfrequenz beansprucht. Beide Bedingungen beinhalten die Aufgabe, Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum aufrechtzuerhalten. Dazu gehört auch die Fähigkeit, sich den ganzen Tag über wach zu halten. Patienten mit beeinträchtigter Daueraufmerksamkeit sind sich dessen meist bewusst und können Alltagssituationen gut beurteilen. Bei längerfristiger Aufmerksamkeit und Vigilanz spielt verständlicherweise die motivationale Komponente eine entscheidende Rolle (Sturm et al. 1997, Lösslein und Deike-Beth 1997).

Probleme mit der längerfristigen Aufmerksamkeit treten besonders häufig in der Frühphase nach Schädel-Hirn Traumata auf. Diese Defizite werden auch mit Abstand am häufigsten von den Patienten selbst angegeben. Besondere Bedeutung erlangt dabei das so genannte postkontusionelle

Syndrom (PKS), bei dem die nachhaltig reduzierte kognitive Daueraufmerksamkeit häufig über mehrere Jahre hohe Alltagsrelevanz zeigt (Keller und Grömminger 1993).

Tabelle 1 gibt einen Überblick über einige Alltagssituationen, die Anforderungen an die genannten Aufmerksamkeitsaspekte stellen:

<b>Aufmerksamkeitsaspekt</b>	<b>Anforderung</b>
tonische Alertness	Benötigte Zeit eine Frage zu beantworten, einen Gedanken zu fassen
phasische Alertness	An einer Verkehrsampel stellt das gelbe Licht einen Warnreiz für das grüne Licht dar, wodurch sich unsere Anfahrtsreaktion (Wachheit) erhöht
Selektive Aufmerksamkeit	Gezielte Konzentration auf nur eine Person in einer größeren Gesprächsrunde; Lesen bei laufendem Radio oder Fernseher
Geteilte Aufmerksamkeit	Telefonieren und gleichzeitig Notizen machen; Autofahren und Radio hören, umfangreiches Kochen
Daueraufmerksamkeit	Lesen oder einem Vortrag zuhören über einen längeren Zeitraum;

Tabelle 1: Beispiele für Alltagsanforderungen, die unterschiedliche Aufmerksamkeitsleistungen fordern (nach Keller und Grömminger 1993).

## 2.3 Modelle der Aufmerksamkeitsverarbeitung

### 2.3.1 Modell der neuronalen Netzwerke

Betrachtet man nun die einzelnen Aufmerksamkeitsleistungen in ihrer jeweiligen komplexen neurokognitiven Funktion, ist eine strukturelle Vorstellung über ein weitreichendes Zusammenspiel verschiedener Hirnstrukturen nahe liegend.

Entsprechend dem Modell der neuronalen Netzwerke sind die an Neurokognition beteiligten Hirnstrukturen in unterschiedlichen kortikalen und subkortikalen Bereichen lokalisiert. Diese stehen wiederum mit Hilfe neurochemischer Substanzen durch ein weit verbreitetes Netzwerk untereinander in Verbindung (Mesulam 1990, Posner und Peterson 1990, Gitelman et al 1999, Recanzone und Wurz 2000).

In seiner Arbeit beschreibt Mesulam 1990 den komplexen Zusammenhang zwischen den weit verbreiteten neuronalen Strukturen kortikaler und subkortikaler Bereiche der kognitiven Funktionen wie Aufmerksamkeit, Sprache und Gedächtnis. So existieren zwar auch kleinere Bereiche, die speziellen Funktionskomponenten gezielt zugeordnet werden können, wie zum Beispiel räumliche Vorstellung, für das komplexe Konstrukt der Aufmerksamkeit ist jedoch keine eigene Lokalisationszuordnung möglich. Vielmehr ist ein Zusammenspiel kortikaler und subkortikaler Strukturen erforderlich um den willkürlichen Prozess der Aufmerksamkeit zu ermöglichen (s.2.4.2).

### 2.3.2 Informationsverarbeitungstheorie

Wie bei allen höheren kognitiven Funktionen, impliziert nicht nur das Modell der komplexen neuronalen Netzwerke, dass der Prozess der Aufmerksamkeitsleistungen mehr ist, als eine einfache Reiz-Reaktions-Verarbeitung.

Die Theorie der Informationsverarbeitung ordnet dem linearen Prozess der Reiz-Reaktionskette (Reizaufnahme, Reizanalyse, Antwortselektion, motorische Reaktion) ein energetisches System über. Dieses wird als *state* (Zustand) bezeichnet und beschreibt den Wachheitszustand des zentralen Nervensystems (Mulder 1983, van der Meere 1996). Sanders (1983) unterteilt *state* zusätzlich in *arousal* und *aktiviation*. *Arousal* bezeichnet eine phasische, d.h. auf einen Stimulus gerichtete Reaktion, wohingegen *aktiviation* den tonischen, d.h. gleich bleibenden und nicht von einem Stimulus abhängigen Wachheitszustand beschreibt. Sanders nennt ferner noch eine dritte, dem *state* übergeordnete Stufe, das *effort*-System. Dieses impliziert die motivationale Komponente, die wiederum die Aktivierungsniveaus von *arousal* und *aktiviation* beeinflusst.

Auf der sog. Evaluationsebene werden schließlich sowohl die energetischen Wachheitszustände, als auch die motorischen Antwortreaktionen überprüft und bewertet. Abbildung 1 zeigt ein schematisches Modell zur Informationsverarbeitungstheorie nach van der Meere (1996).

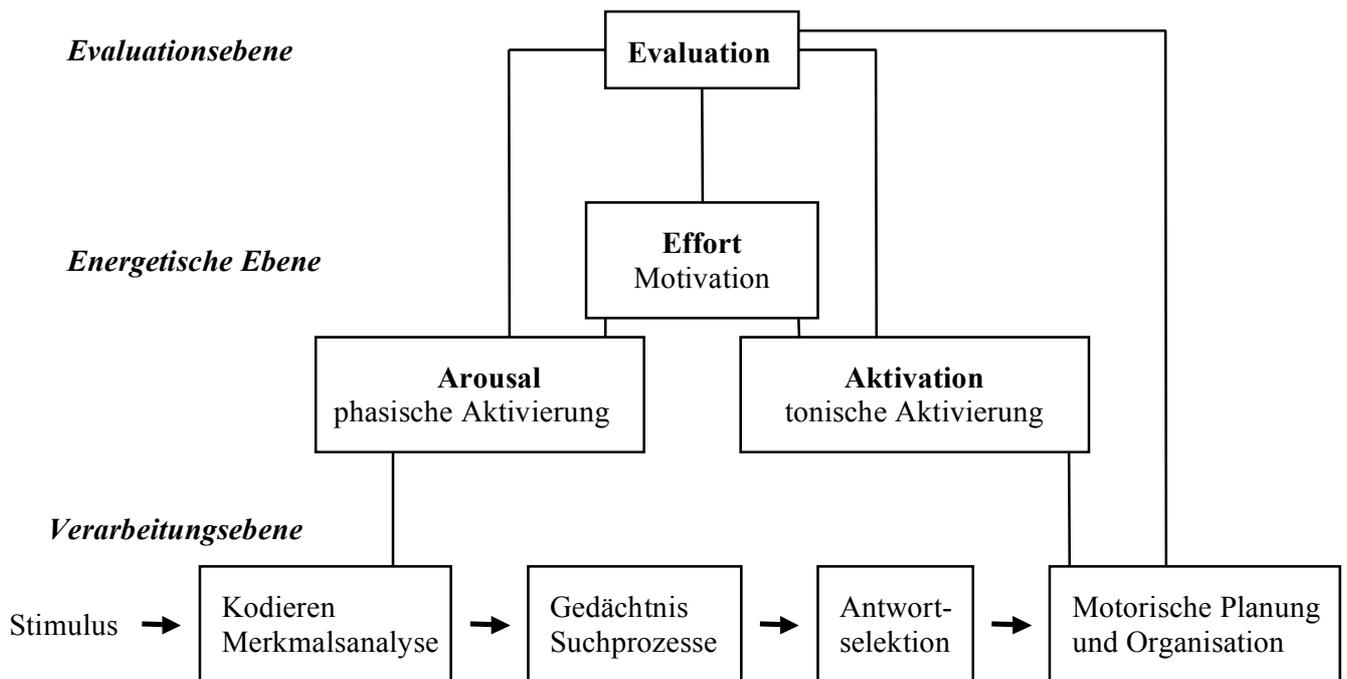


Abbildung 1: Informationsverarbeitungsmodell (nach van der Meere 1996):

In den linearen Prozess der Reizverarbeitung (Verarbeitungsebene) greifen zusätzlich höhere Faktoren wie die Aktivierung des Wachheitszustandes, Motivation und deren Kontrolle (Evaluation) ein.

## **2.4 Lokalisation von Aufmerksamkeit anhand von anatomischen und neurophysiologischen Befunden**

Klinische Beobachtungen an Patienten mit unterschiedlich lokalisierter Hirnschädigung unterstützen das Aufmerksamkeitsmodell getrennter Teilleistungen sowie das Modell der neuronalen Netzwerke mit Beteiligung kortikaler und subkortikaler Strukturen. So können Läsionen verschiedener Lokalisationen zu Defiziten einer oder mehrerer Aufmerksamkeitsfunktionen mit unterschiedlichen Ausprägungen führen.

Neuere Analysen geben nun insbesondere mit der Positron-Emissions-Tomographie (PET) und der funktionellen Kernspintomographie (fMRI) durch neuropsychologische Untersuchungen bei gesunden Versuchspersonen Hinweise auf die Beteiligung spezieller kortikaler und subkortikaler Hirnstrukturen (u.a. Sturm und Willmes 2001, Sturm et al. 1997, Keller und Grömminger 1993, Fernandez-Duque und Posner 2001). Gemeinsame Untersuchungen mit PET und ereigniskorrelierten Potentialen (EKP), können zusätzlich zeitliche und lokalisatorische Zusammenhänge der an Aufmerksamkeitsleistungen beteiligten Hirnstrukturen zeigen.

Neben den genannten häufigsten Untersuchungsverfahren, können zur Erfassung lokaler elektrischer Aktivität von Neuronenverbänden auch das Elektroenzephalogramm (EEG) und die Magnetenzephalographie (MEG) herangezogen werden. Bildliche Darstellung kann neben der PET und der fMRI auch mit der Desoxyglukose-Technik (DOG) erfolgen.

Exakte Aussagen darüber, welche Hirnstrukturen für welche Aufmerksamkeitsfunktionen verantwortlich sind, müssen dennoch mit Vorsicht betrachtet werden, da erst die netzwerkartige Verbindung kortikaler und subkortikaler Gebiete Aufmerksamkeitsleistungen ermöglicht (Mesulam 1990). Aktuell konnte z.B. eine Arbeit von Fan et al (2005) in einer fMRI-Untersuchung den direkten Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitstests zur Alertness, Orientierung und exekutiven Funktion mit den jeweils unterschiedlich aktivierten Hirnregionen nachweisen.

Im Folgenden soll erst auf Lateralisierungshinweise eingegangen werden. Im Anschluss werden Untersuchungsergebnisse sowohl kortikaler als auch subkortikaler Areale erörtert. Zuletzt soll ein Modell über das komplexe Zusammenspiel der an Aufmerksamkeit beteiligten kortikalen und subkortikalen Hirnareale vorgestellt werden.

### 2.4.1 Lateralisierung von Aufmerksamkeitsleistungen

Hinweise auf eine Lateralisierung von Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsprozessen in eine Hemisphäre zeigten bereits frühe Untersuchungen an Patienten, die nach einer Hirnschädigung eine Halbseitenwahrnehmungsstörung aufwiesen. Dieses Phänomen des Neglects, welches bei rechtshemisphärischen Läsionen stärker auftritt und länger anhält (Pardo et al. 1991, Sturm et al. 1997), gab erste Hinweise auf eine rechtsbetonte Funktionalität der u.a. an Aufmerksamkeit beteiligten Hirnstrukturen. Es zeigte sich auch, dass bei gleichzeitiger Stimulation beider Körperhälften der Neglect mit einer wesentlich stärkeren Auslöschung des Reizes auf der kontralateralen Seite einhergeht, als bei einseitiger Stimulation der betroffenen Seite (Fernandez-Duque und Posner 2001, Springer und Deutsch 1998).

Higetag et al. (2001) gaben einen wichtigen Hinweis auf die Möglichkeit einer verstärkten Kapazitätsaktivierung der gesunden Seite bei einseitigen Hirnschädigungen. Sie stimulierten elektrisch die rechte oder linke Gehirnhälfte bei gesunden Probanden, wodurch die Erregbarkeit dieser Hemisphäre blockiert wurde. Nach Reizpräsentation auf der ipsilateralen, also der blockierten Seite, zeigte sich eine signifikant stärkere Aktivität der nicht ausgeschalteten kontralateralen Hemisphäre als bei beidseits normaler Gehirnfunktion.

### 2.4.2 Kortikale Korrelate zu Aufmerksamkeitsprozessen durch bildgebende Verfahren

Zahlreiche PET und fMRI -Untersuchungen geben Hinweise darauf, dass zu den kortikalen Assoziationsarealen, die bei komplexen kognitiven Leistungen wie Aufmerksamkeit aktiviert werden, im Wesentlichen der präfrontale und der parietale Kortex zählen (Dudel et al. 1996).

**Präfrontaler Kortex.** Der präfrontale Kortex setzt sich anatomisch aus mehreren Anteilen zusammen. Diese sind zwar nicht unabhängig voneinander zu sehen, dennoch scheint der dorsolaterale präfrontale Kortex (DLPFC) an Aufmerksamkeitsprozessen am meisten beteiligt zu sein (Prosiegel und Paulig, 2002). Zu den Funktionen des DLPFC zählen komplexere Aufmerksamkeitsfunktionen, Arbeitsgedächtnis (Ortuno et al. 2002), Ausbildung von Erwartungshaltungen (Birbaumer und Schmidt 1996), sowie die Kontrolle planvoll und angemessen zu handeln und Verhalten zu bewerten (Dudel et al. 1996). Höhere kognitive Funktionen, die zur internen Programmerstellung für Handlungen nötig sind, werden besonders dem DLPFC zugeschrieben und als sog. „exekutive Funktion“ bezeichnet (Lösslein und Deike-Beth, 1997, Konrad et al., 2005).

Neben komplexeren Aufmerksamkeitsfunktionen des DLPFC zeigte sich in Studien, dass präfrontale Bereiche auch bei einfacheren Funktionen, wie selektiver Aufmerksamkeit (Kolb und Whishaw, 1996, Baas et al., 2002, Corbetta et al., 1993, Konrad et al., 2005), geteilter Aufmerksamkeit (Kolb und Whishaw, 1996, Dannhauser et al., 2005) und Vigilanz (Pardo et al., 1991; Ortuno et al., 2002) beteiligt sind. Die Funktion der geteilten Aufmerksamkeit wird zusätzlich vom Gyrus cinguli getragen (Kolb und Whishaw, 1996).

**Parietalkortex.** Bekannte Leistungen des Parietalkortex sind im Besonderen für die linke Hemisphäre das Erkennen und der Umgang mit Symbolen wie Sprache und Rechnen, und für die rechte Hemisphäre das Erkennen und Behalten visuell-räumlicher Strukturen (Birbaumer und Schmidt 1996, Dudel et al. 1996). Die Aufmerksamkeitsfunktionen scheinen im rechten parietalen Kortex lokalisiert zu sein. Bei Aufgaben zur räumlichen Aufmerksamkeitsverschiebung zeigte sich, dass selektive Aufmerksamkeit eine stärkere Aktivitätserhöhung im rechten Parietallappen erzeugt als im linken, unabhängig davon, welchem Gesichtsfeld der Reiz präsentiert wurde (Corbetta et al. 1993). Bei einer Wahrnehmung von mehr als fünf Reizen findet zusätzlich eine räumliche Verschiebung der Aufmerksamkeit statt, die zu einer bilateralen Aktivierung des oberen Parietalkortex führt (Sathian et al. 1999). Die Autoren erklärten die seitengleiche parietale Erregung dadurch, dass das Zählen als präattentiver Mechanismus eine Funktion des linken parietalen Kortex darstellt, wohingegen die Funktion der Aufmerksamkeitsverschiebung von der rechten Hemisphäre übernommen wird.

Der Parietallappen kann im Ablauf der Informationsverarbeitung mehrere Funktionen übernehmen. Die präattentive Erwartungshaltung auf einen Reiz führt zur Erregung des infraparietalen Sulcus, wohingegen die Ausführung der Aufmerksamkeitsfunktion selbst zu Aktivität in temporoparietalen Bereichen führt (Corbetta et al., 2000).

Eine Beteiligung des parietalen Kortex an einfachen Aufmerksamkeitsprozessen fand sich bei Aufgaben zur selektiven Aufmerksamkeit (Beauchamp et al., 2001) und zur Vigilanz (Pardo et al., 1991). Bei Aufgaben zur visuell-räumlich selektiven Aufmerksamkeit werden jedoch mehrere Rindenareale aktiviert: Parietalkortex, Sulcus präcentralis, Sulcus intraparietalis, okzipitolateraler Kortex. Interessanterweise wurde dieses kortikale Netzwerk sowohl bei Aufgaben aktiviert, die mit Blicksakkaden einhergehen (sog. overt shift of attention), als auch bei solchen Aufgaben, die ohne Augenbewegungen auskommen (sog. covert shift of attention). Ein Unterschied fand sich lediglich in der Quantität, da die Aktivität im Fall des *overt shift of attention* ein stärkeres Maß an Erregung zeigte (Beauchamp et al., 2001).

### **2.4.3 Subkortikale Areale und Hinweise auf zeitliche Zusammenhänge durch Messungen ereigniskorrelierter Potentiale**

Neurophysiologische Untersuchungen haben eine Vorstellung entwickelt über die zeitlichen und lokalisatorischen Zusammenhänge kortikaler und subkortikaler Strukturen, die bei Aufmerksamkeitsprozessen beteiligt sind (siehe Abbildung 2). Subkortikale Gebiete, die für unterschiedliche Aufmerksamkeitsfunktionen eine wichtige Rolle spielen, sind das limbische System, Teile der Basalkerne, thalamische Kerngebiete und Bereiche der Formatio retikularis (Dudel et al. 1996, Sturm und Willmes 2001). Die mediale Formatio retikularis im Hirnstammbereich stellt mit ihren Fasern das aufsteigende retikuläre aktivierende System (ARAS) dar (Dudel et al. 1996, Birbaumer und Schmidt 1996). Damit übernimmt sie eine der wichtigsten Aufgaben der subkortikalen Zentren für die Kognition, die Regulation der neokortikalen Aktivierung. Erst wenn der Kortex eine bestimmte „Wachheit“ erlangt hat, kann Bewusstsein und damit bewusste Aufmerksamkeit entstehen. So konnten für die Aufmerksamkeitsleistung Alertness rechtshemisphärisch betonte Erregungen nicht nur im frontalen und parietalen Kortex nachgewiesen werden, sondern besonders im Thalamus und im pontomesencephalen Tegmentum (Sturm und Willmes 2001).

Die tonische Aufmerksamkeitsaktivierung wird durch die Formatio retikularis des Mittelhirns aufrechterhalten. Dagegen konnten unter Bedingungen der phasischen Aktivierung zusätzlich Erregungen linkshemisphärischer frontaler und parietaler Strukturen gefunden werden. Diese zusätzliche kortikale Aktivierung könnte ein Hinweis dafür sein, dass die phasische Alertness eine stärkere funktionale Nähe zur Leistung der selektiven Aufmerksamkeit zeigt, als dass sie eine zusätzliche Funktion der tonischen Alertness darstellt (Sturm und Willmes 2001).

Da unsere Aufmerksamkeitskapazitäten begrenzt sind, muss eine Verteilungsstelle vorhanden sein, die eine Hemmung oder Weiterleitung von Informationen gewährleistet. Eine derartige Schleusenfunktion, die auch als „Gating“ bezeichnet wird, besitzt der Nukleus retikularis des Thalamus. Durch seine somato-, visuo-, und audiotopische Gliederung öffnet der Nukleus retikularis thalami nur jenes Tor, welches der entsprechenden Afferenz (Sinnesmodalität) zugeordnet ist.

Die Entscheidungsinstanz, welche Tore geöffnet werden um den Erregungsfluss entsprechend weiterzulenken, besteht wiederum aus dem präfrontalen Kortex und dem Gyrus cinguli. Diese Entscheidungsinstanz erhält ihrerseits die Informationen aus den Assoziationsarealen und dem limbischen System, welches für die Motivation verantwortlich ist (Birbaumer und Schmidt 1996). So wird jeder Reiz, auch wenn er nicht bewusst wahrgenommen wird, vor der Zuteilung von Aufmerksamkeitsressourcen, also noch vor einem aktiven Gating durch den Thalamus, vom Neokortex analysiert. Die frühe Aktivität im Neokortex im Sinne einer unbewussten Reizanalyse ist primär nicht lateralisiert (Heinze et al. 1998). In einer Untersuchung zur visuellen räumlichen

Aufmerksamkeit wurden die zentralen Aktivitäten simultan mit PET und dem zeitlichen Auftreten ereigniskorrelierter Potentiale (EKP) ermittelt. Es zeigte sich, dass zu einem sehr frühen Zeitpunkt, etwa 100 msec nach Auftreten eines Reizes (diese frühen, bei etwa 100 msec auftretenden EKP-Komponenten werden als P1 (Positivierung), bzw. N1 (Negativierung) bezeichnet) noch keine Asymmetrie in der Aktivität der Hemisphären nachgewiesen werden kann. Für die späteren N2-Komponenten (Negativierung bei 260-360 msec Latenz) konnte dagegen eine Lateralisierung festgestellt werden. Diese entspricht der Aufmerksamkeitsverteilung in die teilweise modalitätsspezifischen Assoziationsareale im späteren Stadium der Informationsverarbeitung.

Für eine negative Rückkopplung auf den Thalamus sorgen die Basalganglien. Sie erhalten die Informationen am Ende der Informationsverarbeitung aus den entsprechenden Assoziationsarealen und wirken hemmend auf den Thalamus. Je höher die neokortikale Erregung ist, desto stärker hemmen die Basalganglien und schließen damit die thalamischen Tore (Birbaumer und Schmidt 1995, 1996).

Aufgrund dieses komplexen Netzwerkes aus kortikalen und subkortikalen Strukturen scheint es logisch, dass jede Läsion in einem der an der Entstehung bewusster Aufmerksamkeit beteiligten Gebiete, zu Bewusstseins- und Aufmerksamkeitsstörungen führen kann.

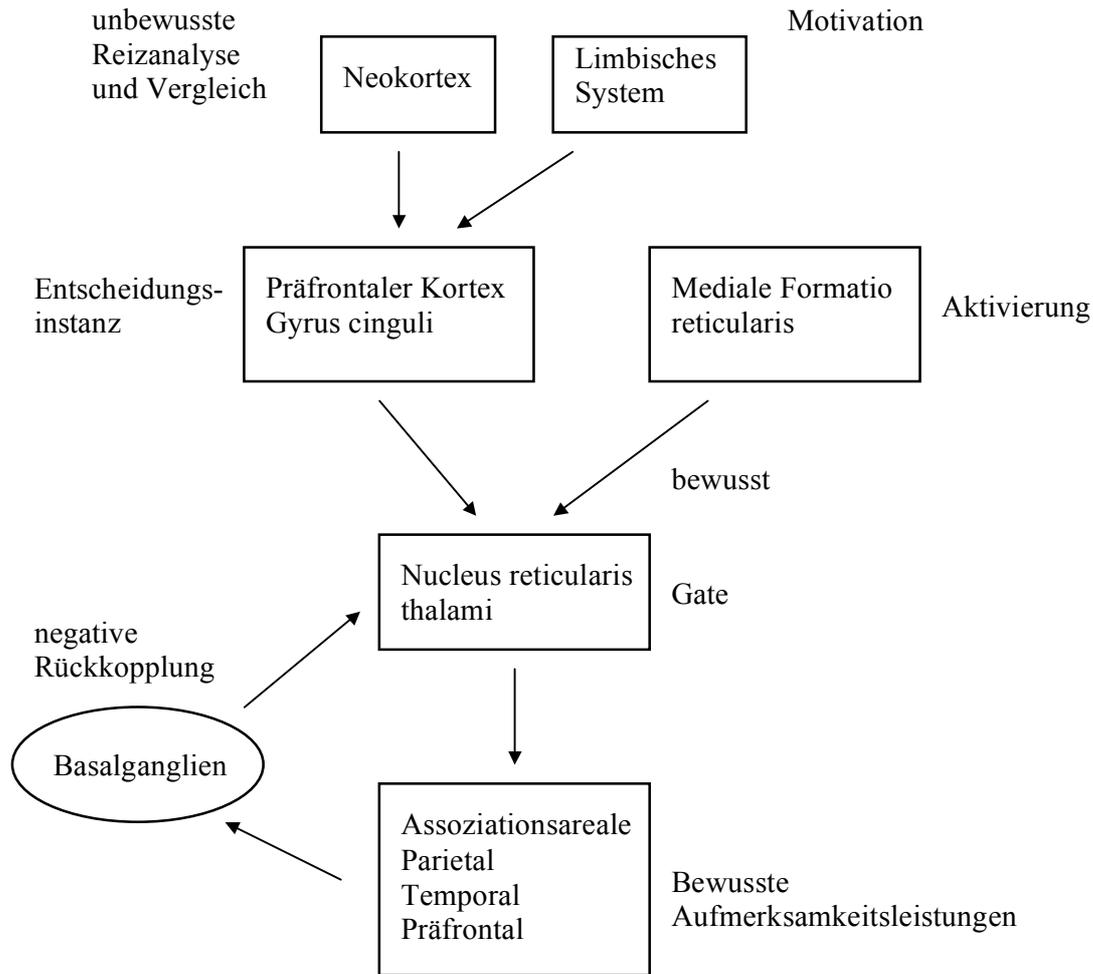


Abbildung 2: Schematische Übersicht über die Zusammenhänge kortikaler und subkortikaler Strukturen die an der Entstehung bewusster Aufmerksamkeitsleistungen beteiligt sind. Bei ausreichender Motivation findet zuerst eine unbewusste Reizanalyse im Neokortex statt. In Abhängigkeit des Wachheitszustandes, geregelt durch die mediale Formatio Retikularis, kommt es zu einer Reizfilterung im Thalamus, indem nur bestimmte Reize durchgelassen werden. Für die selektierten Reize kann dann in den primären Assoziationsarealen eine bewusste Aufmerksamkeit stattfinden. Von dort geben die Basalganglien die Informationen im Sinne einer negativen Rückkopplung an den Thalamus zurück.

#### **2.4.4 Zusammenfassung**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Prozess der bewussten Aufmerksamkeit, aus einem Netzwerk von kortikalen und subkortikalen Strukturen besteht. Für bestimmte Teilleistungen konnten dominierende Lokalisationen gefunden werden. PET-Untersuchungen an gesunden Probanden zeigen, dass zu den Assoziationsarealen, in denen Aufmerksamkeitsleistungen stattfinden, insbesondere der präfrontale und der parietale Kortex zählen. Der präfrontale Kortex ist an Aufmerksamkeitsprozessen für phasische Alertness, selektive und geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz beteiligt. Sein dorsolateraler Anteil zeigt vermehrte Aktivität bei sog. exekutiven Funktionen, die Planen und zielorientiertes Handeln voraussetzen. Insbesondere der rechte Parietalkortex spielt eine wichtige Rolle sowohl für visuell-räumlich selektive Aufmerksamkeit, als auch für Vigilanz. Neben den kortikalen Strukturen scheinen die subkortikalen Gebiete verantwortlich zu sein für das Aktivierungsniveau von Aufmerksamkeitsprozessen (tonische Alertness), für die Ressourcenverteilung und die motivationale Komponente.

Untersuchungen mit ereigniskorrelierten Potentialen geben Hinweise darauf, dass unbewusste Reizverarbeitung zu einem sehr frühen Zeitpunkt im Neokortex stattfindet noch bevor subkortikale Systeme die Weiterleitung oder Hemmung der Informationen in die Assoziationsareale zur bewussten und damit kontrollierten Aufmerksamkeit regeln.

Tabelle 2 teilt anatomischen Bereichen entsprechende Aufmerksamkeitsleistungen zu.

<b>Aufmerksamkeitsaspekt</b>	<b>Kritischer Läsionsort</b>
Aufmerksamkeitsaktivierung	Hirnstammanteile der Formatio reticularis
Phasische Alertness	zusätzlich präfrontaler und parietaler Kortex
Daueraufmerksamkeit, Vigilanz	präfrontaler Kortex, rechter Parietalkortex
selektive und gerichtete Aufmerksamkeit	Nukleus reticularis des Thalamus, rechter Parietalkortex präfrontaler Kortex
Geteilte Aufmerksamkeit	Gyrus cinguli, präfrontaler Kortex
Exekutive Funktionen	dorsolateraler präfrontaler Kortex

Tabelle 2: Lokalisationshinweise spezifischer Aufmerksamkeitsfunktionen (nach Sturm 1997, Birbaumer und Schmidt 1995, 1996, Prosiegel und Paulig 2002, Ortuno et al. 2002, Kolb und Whishaw 1996, Baas et al. 2002, Corbetta et al. 1993, Pardo et al. 1991, Beauchamp et al. 2001, Konrad et al., 2005, Dannhauser et al. 2005).

## **2.5 Entwicklung von Aufmerksamkeitsfunktionen**

Will man die altersabhängige Entwicklung von Aufmerksamkeitsleistungen im Jugendalter betrachten, muss man beachten, dass nach den modernen Theorien des Mehrkomponentenmodells, jede Teilleistung eine eigene komplexe neurokognitive Funktion darstellt, und somit einen eigenen Entwicklungsverlauf vermuten lässt. So ist es nur eine logische Folge, jede Teilfunktion getrennt nach ihrer Entwicklung zu analysieren.

Versucht man nun Daten verschiedener Studien zu vergleichen um Hinweise über den Entwicklungsverlauf von Aufmerksamkeitsleistungen bei Jugendlichen zu gewinnen, treten einige Probleme auf. Untersuchungen, die sich bisher mit der Entwicklung von Aufmerksamkeitsfunktionen beschäftigt haben, beruhen oft auf verschiedenen Untersuchungsverfahren und Versuchsanordnungen. Es wird oft zu wenig beachtet, dass bestimmte Testanordnungen altersgerecht konfiguriert und angewendet werden müssen. Nicht nachweisbare Entwicklungsverläufe bei älteren Kindern und Jugendlichen könnten so zum Teil durch zu einfache Testanordnungen bedingt sein und zu möglichen Fehlinterpretationen führen.

Des Weiteren wird zumeist nur eine begrenzte Altersspanne untersucht, die dadurch entstehenden Lücken schränken die Beurteilung des gesamten Entwicklungsverlaufes wesentlich ein. Da insbesondere häufig nur Kinder oder Erwachsene untersucht werden, gibt es kaum Daten über Jugendliche. Dies bedarf jedoch besonderer Beachtung, da Hinweise auf ein noch vorhandenes Entwicklungspotential in der Jugend große Bedeutung für die Untersuchung gesunder und die Behandlung erkrankter Jugendlicher erlangt.

Bevor auf die eigentliche Entwicklung von Aufmerksamkeitsleistungen eingegangen wird, ist es sinnvoll, zunächst einen Überblick über die unterschiedlichen Möglichkeiten der Erfassung von Aufmerksamkeitsleistungen zu geben.

Im Anschluss soll zum einen, im Sinne des Mehrkomponentenmodells, eine Differenzierung der einzelnen Aufmerksamkeitsfunktionen im Kindes- und Jugendalter vorgenommen werden. Zum anderen wird, anhand der Datenlage von Untersuchungen an Kindern und Erwachsenen, versucht, an Hinweise über Entwicklungsverläufe bei Jugendlichen zu gelangen.

Schließlich erfolgt die Betrachtung struktureller Hirnentwicklung bei Kindern und Jugendlichen, sowie deren Zusammenhang mit der Entwicklung kognitiver Funktionen.

### **2.5.1 Erfassung von Aufmerksamkeitsleistungen**

Um Aufmerksamkeitsleistungen möglichst objektiv zu erfassen, haben sich im Laufe der Zeit unterschiedliche Verfahren etabliert. Mit der Entwicklung des Mehrkomponentenmodells wurden

auch die Testverfahren so gestaltet, dass die einzelnen Teilfunktionen getrennt voneinander erfasst werden können.

Zu den neuropsychologischen Testverfahren zählen neben der Anwendung von Computergestützten Verfahren so genannte Papier-Bleistift Aufgaben.

Vor der Durchführung neuropsychologischer Tests empfiehlt es sich Verhalten zu beobachten und Verhaltensweisen mit standardisierten Fragebögen zu erfassen.

Für eine testpsychologische Untersuchung von Jugendlichen ist es sinnvoll, eine Befragung der Eltern über eventuelle Verhaltensauffälligkeiten mit einem standardisierten Fragebogen (z.B. Child Behavior Check-List) durchzuführen und anschließend mit computergestützten Testbatterien die Aufmerksamkeitsfunktionen zu untersuchen. Da viele Testbatterien ihre Schwerpunkte in der Kinder- oder Erwachsenenendiagnostik haben und es kein spezielles Programm für das Jugendalter gibt, kann die richtige Auswahl für die Untersuchung Jugendlicher Probleme bereiten.

Im Folgenden sollen relevante Untersuchungsverfahren ausführlicher dargestellt werden.

#### **2.5.1.1 Erfassung von Aufmerksamkeitsleistungen auf Verhaltensebenen**

Für die Erfassung von Aufmerksamkeitsleistungen auf Verhaltensebenen gibt es verschiedene Techniken. Dazu gehören die Beobachtung und die Befragung, die sich ergänzen und jeweils bestimmte Vor- und Nachteile aufweisen.

**Beobachtung.** Um die zu beobachtende Situation zu strukturieren, werden einfache, altersgerechte und ansprechende Spielaufgaben ausgewählt. Die Beobachtung von Aufmerksamkeitsverhalten kann in mehrere Kategorien eingeteilt werden, die helfen, die spezifischen Leistungen von Aufmerksamkeitsprozessen zu beurteilen. Nach Lösslein, Deike-Beth (1997) gehören dazu:

- Aufgabenverständnis: genaues Hinhören, Nachfragen
- Arbeitstempo
- Arbeitsgenauigkeit
- Ermüdbarkeit im Verlauf
- Bearbeitungsdauer für eine Aufgabe
- Verhältnis Fehler zu Tempo
- Leistungsschwankungen
- Ablenkbarkeit (Geräusche, Gegenstände im Raum).

Probleme, die im Rahmen einer Beobachtung von Aufmerksamkeitsleistungen auftreten können, müssen bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt werden. Dazu gehört im Wesentlichen, dass eine Beobachtung zum einen oft mit emotionaler Angst verbunden ist, und zum anderen die motivationale Komponente einen erheblichen Einfluss auf die Untersuchung zeigen kann. Zur genaueren Diagnostik und zur Absicherung des Beobachteten empfiehlt es sich zusätzlich eine Befragung durchzuführen. Diese kann frei oder standardisiert erfolgen.

**Freie Befragung.** Probleme bei freier Befragung liegen meist in der Schwierigkeit, von sich aus über isolierte Aufmerksamkeitsaspekte aus dem Alltag zu sprechen. Daher kann es sinnvoll sein, die Fragen gezielter zu stellen, z.B. nach typischen Alltagssituationen. Die Befragung Dritter (z.B. Angehörige, Lehrer) ist besonders dann wichtig, wenn der Befragte selbst nicht in der Lage ist, spontan Aussagen zu treffen (z.B. aufgrund einer veränderten Selbstwahrnehmung seine Leistungsfähigkeit nicht oder nur ungenügend beurteilen kann, oder sich durch assoziierte Störungen wie Aphasie nicht ausreichend mitteilen kann) (Keller und Grömminger, 1993).

**Standardisierte Befragung.** Insbesondere Jugendliche neigen gerne dazu, sich selbst zu überschätzen. Daher kann es vor allem bei Kindern und Jugendlichen sinnvoll sein, genaue Informationen von den Eltern oder den Lehrern durch standardisierte Fragebögen zu erheben.

Speziell für Kinder und Jugendliche sind die Fragebögen CBCL und CTRS zu nennen. Der Elternfragebogen CBCL (Child Behavior Checklist) von Achenbach (1997) bewertet verschiedene Verhaltensaspekte, darunter auch Aufmerksamkeitsleistungen von Kindern und Jugendlichen. Zu den anderen Verhaltensaspekten zählen sozialer Rückzug, körperliche Beschwerden, Angst und Depressivität, soziale Probleme, schizoid-zwanghaftes Denken, delinquentes Verhalten und aggressives Verhalten.

Der Lehrer-Fragebogen CTRS (Conners Teacher Rating Skale) untersucht in seiner revidierten Auflage von 1998, CTRS-R, die sechs Faktoren Hyperaktivität bzw. Impulsivität,

Perfektionismus, Unaufmerksamkeit bzw. kognitive Probleme, soziale Probleme, Oppositionshaltung und Angst bzw. Schüchternheit.

Von Zimmermann und Fimm (1989) ist der Aufmerksamkeitsfragebogen FEDA (Fragebogen erlebter Defizite der Aufmerksamkeit) entwickelt worden. Hier geht es hauptsächlich um Häufigkeiten aufmerksamkeitspezifischer Ereignisse im Alltag. Dazu gehören z.B. Fragen nach Daueraufmerksamkeit, kognitiver Verarbeitungsgeschwindigkeit, Ablenkbarkeit, Ermüdbarkeit und Antrieb.

### **2.5.1.2 Erfassung von Aufmerksamkeitsleistungen auf neuropsychologischer Ebene anhand standardisierter Testverfahren**

Auf neuropsychologischer Ebene stehen primär standardisierte Testverfahren zur Verfügung.

Dazu gehören die so genannten Papier-Bleistift-Aufgaben und computergestützte Untersuchungen. Letztere gewinnen immer mehr an Bedeutung, da sie den Papier-Bleistift-Tests gegenüber einige Vorteile haben (Keller und Grömminger 1993):

- höhere zeitliche Auflösung, exaktere Bestimmung von Entscheidungs- und Reaktionszeiten,
- repetitive Reize können in großer Zahl repräsentiert werden (z.B. zur Messung der Vigilanz),
- Zeitersparnis der Untersuchung und damit auch Entlastung des Patienten,
- große Akzeptanz der Testgeräte, Erhöhung der Motivation und Verringerung von Prüfungsangst.

Auch die Testdurchführung selbst kann dazu beitragen, homogene Ergebnisse zu liefern. So sollte es die Regel sein, dass während jeder Untersuchung die räumlichen Bedingungen möglichst wenig Möglichkeiten zur Ablenkung bieten (z.B. Telefon abschalten, nicht mehr als zwei Personen im Raum, Arbeitsplatz vom Fenster abgewandt, freier Arbeitstisch, etc.) (Lösslein und Deike-Beth, 1997).

Im Folgenden sollen derzeit übliche Verfahren besprochen werden, die Aufmerksamkeitsleistungen der Alertness, der selektiven Aufmerksamkeit, der geteilten Aufmerksamkeit und der längerfristigen Aufmerksamkeit, bzw. Vigilanz prüfen.

**Testverfahren zur Erfassung der Alertness.** Zur Untersuchung der Alertness eignen sich einfache visuelle oder auditive Reiz-Reaktionsaufgaben, die bevorzugt mit apparativen Testverfahren durchgeführt werden.

### Computergestützte Diagnostik:

-Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) von Zimmermann u. Fimm (1989);

Dieses Testverfahren wird in der Aufmerksamkeitsdiagnostik am häufigsten eingesetzt. Es wurde wissenschaftlich entwickelt und wird vor allem bei Erwachsenen angewandt. Je nach Aufmerksamkeitsaspekt werden verschiedene Reiz-Reaktionsaufgaben gestellt, mit denen mittlere Reaktionszeiten, Fehlerhäufigkeiten und Standardabweichungen ermittelt werden können (siehe Kapitel 3.2.2).

Der Untertest Alertness erlaubt die Unterscheidung zwischen tonischer und phasischer Alertness. Auf einen einfachen visuellen Reiz (siehe Abbildung in Kapitel 3.2.2) muss so schnell wie möglich mit Tastendruck reagiert werden. Der Reiz wird in einem Durchgang mit Warnton (phasisch) und in einem ohne (tonisch) angeboten.

-KARLI von Kirchner und Krampe (1995);

Das Programm KARLI wurde im Rahmen einer Magisterarbeit entwickelt. Ziel war es, ein Testverfahren zu erstellen, mit dem eine einfachere und schnellere Durchführung von Aufmerksamkeitsdiagnostik vor allem für Kinder möglich ist. Zusätzlich sind Aufgaben sowohl visuell, als auch akustisch durchführbar, sodass ein direkter Vergleich visueller und akustischer Leistungen möglich ist.

Der Test zur Alertness stellt die Aufgabe, auf einfache visuelle (bunte Kreise) oder akustische Signale mit Tastendruck so schnell wie möglich zu reagieren. Im Vergleich zur TAP kann auch die akustische Aktiviertheit gemessen werden.

-Wiener Determinationsgerät (WDG) aus dem Wiener Testsystem (Fa. Schuhfried 1994);

Einfache Reaktionsaufgaben erfordern einen Tastendruck auf einen Licht- oder Tonreiz, auf weitere Lichtsignale soll mit dem Fußpedal reagiert werden. Der Test kann wahlweise reiz- oder reaktionsgesteuert durchgeführt werden. Normwerte liegen für Kinder ab 7 Jahren vor.

**Testverfahren zur Erfassung der selektiven Aufmerksamkeit.** Aufgaben zur selektiven Aufmerksamkeit erfordern die fokussierte Aufmerksamkeit auf einen speziellen Reiz, wobei Reaktionen auf unwichtige Störreize bewusst unterdrückt werden müssen. Derartige Verfahren werden auch als Wahlreaktionsaufgaben bezeichnet. Je nach Testverfahren kann das Arbeitsgedächtnis hier eine wichtige Rolle spielen.

Papier-Bleistift-Test:

-Aufmerksamkeitsbelastungstest, Test d2 von Brickenkamp (1994),

Dieser Test findet auch in vielen anderen Bereichen (Berufsberatung, Mediziner-test, Pharmakopsychologie) Verwendung. Das Aufgabenblatt ist mit 14 Testzeilen bedruckt. Insgesamt gibt es 16 Varianten aus den Buchstaben „d“ und „b“. Die Varianten ergeben sich durch eine unterschiedliche Anzahl von Strichen über oder unter den Buchstaben. Aus diesen 16 verschiedenen Zeichen muss immer der Buchstabe „d“ durchgestrichen werden, der mit zwei Strichen versehen ist. In einer vorgegebenen Zeit müssen alle Zielreize gefunden sein, die Auswertung erfolgt anhand der Anzahl richtiger und falscher Markierungen. Die Anzahl der richtig angestrichenen Zeichen pro Reihe ist ein Maß für die Verarbeitungsgeschwindigkeit, die Anzahl der Fehler ist ein Maß für die Fähigkeit der Reizselektivität. Normwerte liegen für 9 bis 60 Jährige vor.

-Differentieller Leistungstest - von Kleber und Kleber (1974),

Dieser Test ist ein Figurendurchstreichetest für Kinder. Aus einem Testbogen mit 21 Zeichnungen sollen zwei vorgegebene Gegenstände herausgesucht und durchgestrichen werden. Die Gegenstände, die nicht übereinstimmen, sollen mit einem Punkt markiert werden. Der Test liegt in zwei Versionen vor: KE (DL-KE) ist für Kinder im Alter von 5-7 Jahren und KG (DL-KG) für Kinder von 7-10 Jahre normiert.

Computergestützte Diagnostik:

-Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) von Zimmermann u. Fimm (1989);

Der Untertest „Go-/ No-go“ zählt zu den Wahlreaktionsaufgaben. Unter verschiedenen visuellen Reizen sollen nur bestimmte Reize ausgewählt werden, eine Reaktion auf die unwichtigen Reize soll unterdrückt werden. Eine weitere visuelle Wahlreaktionsaufgabe kann zur Erfassung der selektiven Aufmerksamkeit herangezogen werden. Dieser Test besteht aus einem Feld mit vier mal vier Punkten (siehe Abbildung in Kapitel 3.2.2.), in welchem abwechselnd mehrere Kreuze erscheinen. Bilden vier dieser Kreuze ein Quadrat, muss der Proband auf eine Taste drücken.

Ein Test zur Erfassung der akustischen selektiven Aufmerksamkeit besteht aus dem abwechselnden Auftreten eines hohen und tiefen Tons. Tritt eine Unregelmäßigkeit in der Abfolge hoch/tief auf, muss auf die Taste gedrückt werden.

-KARLI von Kirchner und Krampe (1995):

Die Untertests zur visuell und akustisch selektiven Aufmerksamkeit, sowie zur Automatisierung sind Wahlreaktionsaufgaben. Bei Präsentation unterschiedlicher Farbkreise soll jeweils nur bei einer bestimmten Farbe mit Tastendruck reagiert werden.

**Testverfahren zur Erfassung der geteilten Aufmerksamkeit.** Eine Teilung oder Verteilung der Aufmerksamkeit wird mit so genannten Dual-Task-Aufgaben getestet. Solche Aufgaben untersuchen die Kapazitätsgrenzen der Aufmerksamkeit (Keller und Grömminger 1993). Hierzu eignen sich besonders apparative Testverfahren.

Computergestützte Diagnostik:

-Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) von Zimmermann u. Fimm (1989);

Der Untertest "geteilte Aufmerksamkeit" prüft gleichzeitig die visuelle und die akustische Aufmerksamkeit. Der visuelle Test besteht aus einem Feld mit vier mal vier Punkten (Abbildung, siehe Kapitel 3.2.2.), in welchem abwechselnd mehrere Kreuze erscheinen. Bilden vier dieser Kreuze ein Quadrat, muss der Proband auf eine Taste drücken. Gleichzeitig ertönen im Wechsel ein hoher und ein tiefer Ton. Tritt eine Unregelmäßigkeit in der Abfolge hoch/tief auf, muss ebenfalls auf die Taste gedrückt werden.

-Wiener Determinationsgerät (WDG) aus dem Wiener Testsystem (Fa. Schuhfried 1994);

Das WDG bietet mit mehreren Tests die Möglichkeit zur Erfassung der geteilten Aufmerksamkeit. Der Untertest zur Messung peripherer Wahrnehmungsleistung fordert eine geteilte visuelle Aufmerksamkeit, indem der Proband einerseits mit einem Lichtpunkt eine Spur auf dem Monitor verfolgen muss, und andererseits auf Lichtbänder achten soll, auf die er mit Druck auf ein Fußpedal reagieren muss, wenn sie sich von der Peripherie nach innen bewegen. Ein anderer Test erfordert die Teilung der Aufmerksamkeit für visuelle und akustische Reize, die gleichzeitig dargeboten werden.

**Testverfahren zur Erfassung der längerfristigen Aufmerksamkeit und Vigilanz.** Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass bei Tests zur Daueraufmerksamkeit und Vigilanz die motivationale Komponente eine entscheidende Rolle spielt.

Papier-Bleistift-Test:

-Konzentrationsleistungstest (KLT) nach Düker (1959),

In diesem Test müssen einfache Rechenaufgaben gelöst werden. Das Ergebnis der ersten Aufgabe muss jeweils im Gedächtnis behalten werden, um es dann, je nach dem ob das Ergebnis der zweiten Aufgabe höher oder niedriger ist, mit dem Ergebnis der zweiten Aufgabe zu addieren oder zu subtrahieren. Der Test kann über 20 oder 30 Minuten laufen. Er ist für Kinder ab 11 Jahren geeignet. Normwerte liegen vor.

-Pauli-Test von Pauli und Arnold (1975),

Der Pauli-Test besteht aus einfachen Rechenaufgaben und kann für Kinder ab dem 7. Lebensjahr eingesetzt werden. Eine Computerversion liegt ebenfalls vor. Altersnormen gibt es für Kinder, Jugendliche und Erwachsene.

Computergestützte Diagnostik:

-Continuous Performance Test (CPT) von Lauth et al. (1993);

Die Computerversion (Rossvold et al. entwickelten den Test 1956 mit Diapositiven), die für Kinder ab 7 Jahren vorliegt, stellt die Aufgabe, über eine Dauer von etwa 25 Minuten immer nur dann auf ein „X“ zu reagieren, wenn ihm ein „O“ vorausgeht.

-Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) von Zimmermann u. Fimm (1989);

Der Untertest "Vigilanz" bietet die Wahl zwischen visuellen und akustischen Aufgaben. Über eine gewisse Zeit sollen aus einer eintönig regelmäßigen Reizabfolge Abweichungen erkannt und auf eine Taste gedrückt werden. Sowohl die Zeitdauer als auch die Reizintervalle können variiert werden, wodurch der Schwerpunkt auf die Vigilanz oder Daueraufmerksamkeit gelegt werden kann.

## 2.5.2 Differenzierung von Aufmerksamkeitsfunktionen im Kindes- und Jugendalter

Studien, die sich mit Aufmerksamkeitsfunktionen bei Kindern und Jugendlichen beschäftigen, untersuchen häufig nur einzelne Teilleistungen. Dabei ist gerade im Kontext der Vorstellung voneinander unabhängiger Aufmerksamkeitsfunktionen interessant, wieweit sich die einzelnen Teilfunktionen bereits im Kindes- und Jugendalter differenzieren lassen.

Bisher konnten anhand von Faktorenanalysen insbesondere durch die Studien von Mirsky und Mitarbeitern (1991), Kunert und Mitarbeitern (1996) sowie Földenyi und Mitarbeitern (1999) einzelne Funktionen identifiziert werden.

In der Arbeit von Mirsky et al. wurden sowohl 435 Grundschul Kinder im Durchschnittsalter von 6 Jahren als auch 203 Erwachsene mit unterschiedlichen Subtests eines Testverfahrens untersucht um anhand von zehn Scores für die Bewertung der Aufmerksamkeit einzelne Faktoren zu bestimmen. In beiden Altersgruppen stellten sich dieselben vier Faktoren dar: „Daueraufmerksamkeit“, „Fokussierung und Exekution“, „Kodieren und Gedächtnis“ sowie „Reaktionswechsel“.

187 ältere Grundschul Kinder (9 bis 12 Jahre) wurden von Kunert et al untersucht. Es wurde anhand der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung TAP von Zimmermann und Fimm (1993 und 1994) eine Faktorenanalyse bei neun Subtests durchgeführt. Dadurch konnten die Faktoren „Daueraufmerksamkeit“, „Inkompatibilität“, „Reaktionswechsel“, sowie in einer zweiten Analyse der Faktor „Aktivierung“ identifiziert werden.

Mit der gleichen Testbatterie wurden 1999 von Földenyi et al. 150 Kinder im Alter von 6-10 Jahren untersucht. Dabei wurden jedoch im Vergleich zu der Untersuchung von Kunert et al. andere Subtests untersucht. Eine Faktorenanalyse der Aufmerksamkeitskomponenten Wachheit (Alertness), selektive Aufmerksamkeit und geteilte Aufmerksamkeit zeigte, dass bereits bei Kindern eine Differenzierung dieser Aufmerksamkeitsaspekte möglich ist.

Obwohl Kunert et al. und Földenyi et al. die gleiche Testbatterie verwendeten, ergaben sich durch unterschiedliche Subtests und eingebrachte Variablen unterschiedliche Komponenten in der Faktorenanalyse. Auf der anderen Seite wurden trotz unterschiedlicher Testverfahren von Kunert et al. und Mirsky et al. ähnliche Faktoren bestimmt. So fand sich der Faktor „Daueraufmerksamkeit“ und der Faktor Inkompatibilität (entsprechend „Fokussierung – Exekution“) in beiden Studien.

Insgesamt zeigt sich die Schwierigkeit des Vergleichs durch unterschiedliche Altersgruppen, verschiedene Testverfahren und selbst bei gleichen Verfahren durch unterschiedliche Subtests. Es war jedoch sowohl bei Kindern, als auch bei Erwachsenen eine Identifizierung von den Faktoren Daueraufmerksamkeit und selektive Aufmerksamkeit möglich.

Das nächste Kapitel versucht anhand aktueller Literatur den Entwicklungsverlauf einzelner Aufmerksamkeitskomponenten zu beschreiben.

### **2.5.3 Entwicklung von Aufmerksamkeitsfunktionen im Jugendalter**

Während über die Entwicklung aufmerksamkeitspezifischer Funktionen bei Kindern einige Untersuchungen vorliegen, bleiben Fragen über die Entwicklung bei Jugendlichen meist unbeantwortet.

Auch muss der Vergleich der vorhandenen Studien kritisch betrachtet werden. Zum einen fehlen Untersuchungen, die Aufmerksamkeitsfunktionen durchgehend für alle Altersstufen getestet haben, sodass eine genaue Aussage über das Alter, ab dem eine maximale Aufmerksamkeitsleistung erreicht wird, nur ungenau getroffen werden kann. Zum anderen werden meist keine einheitlichen Testverfahren verwendet. Selbst wenn gleiche Testverfahren in verschiedenen Studien angewandt wurden, muss beachtet werden, dass diese in vielen Faktoren moduliert werden können. Die Vielfalt der Verfahren spiegelt sich daher oft in inhomogenen Untersuchungsergebnissen wider.

#### **Alterseffekte.**

Untersuchungen über die Aufmerksamkeitsleistungen durch verschiedene Altersklassen hindurch, sollen Hinweise geben über den Entwicklungsverlauf der einzelnen Funktionen und damit der Frage nachgehen, ab welchem Alter ein Leistungsmaximum und damit ein Entwicklungsstopp erwartet werden kann. Orientierend an den modernen Theorien des Mehrkomponentenmodells (s.2.2.) und der komplexen neuronalen Verschaltung (s.2.3.) ist davon auszugehen, dass die jeweiligen Aufmerksamkeitsfunktionen getrennte Entwicklungsverläufe zeigen. Anhand existierender Analysen ist auch zu erwarten, dass Entwicklungsplateaus im Jugendalter liegen.

Insgesamt existieren jedoch nur wenige und uneinheitliche Untersuchungen darüber.

Wichtige Daten über altersabhängige Leistungen in einzelnen Aufmerksamkeitsfunktionen bei Kindern und Jugendlichen liefern zum Beispiel die Untersuchungen von Kunert et al. (1996) und Rebok et al. (1997). Kunert führte mit seinen Mitarbeitern eine Arbeit über die Entwicklung von Aufmerksamkeit im Kindesalter durch. Wie in der vorliegenden Studie wurden mithilfe der Testbatterie für Aufmerksamkeitsprüfung TAP Ergebnisse über die altersabhängigen Leistungen

unterschiedlicher Aufmerksamkeitsaspekte gewonnen. Getestet wurden insgesamt 187 gesunde Kinder vom 9.-12. Lebensjahr. Um eine erweiterte Altersanalyse durchführen zu können, verglichen sie die Ergebnisse der Kinder mit denen einer Gruppe Jugendlicher im Alter 15-20 und einer Gruppe Erwachsener im Alter 18-25 Jahre. Untersucht wurden die Untertests Alertness, Arbeitsgedächtnis, Augenbewegung, Geteilte Aufmerksamkeit, Go-Nogo, Inkompatibilität, Intermodaler Vergleich, Reaktionswechsel, Verdeckte Aufmerksamkeitsverschiebung, Vigilanz und Visuelles Scanning. Die statistischen Analysen bezogen sich ausschließlich auf die Parameter der Reaktionsgeschwindigkeit. Neben der Aufmerksamkeitsdiagnostik wurde eine Intelligenzdiagnostik mit dem Mannheimer Intelligenztest für Kinder und Jugendliche bestehend aus sechs Untertests durchgeführt.

Die Aussagen waren unter anderem dadurch limitiert, dass der Subtest Vigilanz nur bei 12-Jährigen Kindern durchgeführt wurde, sodass keine Aussage über einen Entwicklungsprozess für diese Funktion getroffen werden konnte. Des Weiteren ist der Bereich der Jugendlichen zwischen 12 und 15 Jahren nicht getestet worden und die Gruppe der 15-20-Jährigen bestand aus lediglich 5 männlichen und 7 weiblichen Gymnasiasten/innen mit einem mittleren Alter von 17,2 Jahren und einer Spannbreite von 15-20 Jahren.

Während Kunert und Mitarbeiter in ihrer Arbeit den Altersvergleich mit einer, wenn auch kleinen und weit gestreuten Gruppe Jugendlicher und einer Gruppe Erwachsener erweiterte, wurden in der Untersuchung von Rebok et al. nur Kinder von acht, zehn und dreizehn Jahren untersucht. Eine Leistungsanalyse von Jugendlichen fehlte. Es wurden, in Anlehnung an die von Mirsky und Mitarbeitern 1991 dargestellten vier Aufmerksamkeitsfunktionen (siehe 2.5.2) die Leistungen bezüglich „Daueraufmerksamkeit“, „Fokussierung“, „Kodieren und Gedächtnis“ sowie „Reaktionswechsel“ geprüft. Bezogen auf die in der vorliegenden Arbeit verwendete Aufmerksamkeitsenteilung in Alertness, selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz (Daueraufmerksamkeit), können entsprechend aus der Arbeit von Rebok et al. die Ergebnisse bezüglich Daueraufmerksamkeit und Fokussierung (selektive Aufmerksamkeit) herangezogen werden. Während ein so genannter Continuous-Performance-Test zur Überprüfung der Daueraufmerksamkeit sowohl für die 8, 10 und 13-Jährigen durchgeführt wurde, sind die Tests zur selektiven Aufmerksamkeit nur bei 8 und 10-jährigen Schülern untersucht worden.

Neben den Untersuchungen von Kunert et al. und Rebok et al. konnten weitere Studien ergänzend Hinweise auf altersabhängige Leistungen erbringen.

Unter der Annahme, dass die einzelnen Aufmerksamkeitsfunktionen getrennte Entwicklungsverläufe zeigen, werden im Folgenden die Alterseffekte in den Komponenten Alertness, selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz getrennt voneinander betrachtet.

**Alertness.** Untersuchungen zur Aufmerksamkeitsaktivierung prüfen die Reaktionszeit auf einfache visuelle oder akustische Reize. Wird ein Reiz durch einen Warnton angekündigt, spricht man von phasischer Alertness. Erfolgt ein Reiz ohne Vorwarnung, wird die tonische Alertness oder Wachheit gefordert. Man geht davon aus, dass unter phasischen Bedingungen schnellere Reaktionszeiten erzielt werden.

Ähnlich der vorliegenden Arbeit und der von Kunert et al. (1996) wurde die phasische Alertness auch von Földenyi et al. (1999) mit der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung TAP untersucht. Die Arbeit von Földenyi et al. konnte zeigen, dass sich die Leistungen mit abnehmenden Reaktionszeiten vom 6.-10. Lebensjahr signifikant steigerten. Kunert et al. (1996) konnten im Vergleich der 9-10, 11 und 12 Jährigen ebenfalls eine stetige Abnahme der Reaktionszeiten nachweisen. Der Vergleich zwischen den 12 Jährigen und einer kleinen Gruppe von Jugendlichen mit 15-20 Jahren (mittleres Alter 17,2 Jahre) ergab noch mal eine deutliche Leistungssteigerung. Die Verbesserung der Reaktionszeiten zwischen der Gruppe der Jugendlichen und der der Erwachsenen (20-25 Jahre) war letztlich geringer. Auch andere Autoren sprechen von einem exponentiellen Verlauf der Aufmerksamkeitsleistung Alertness im Jugendalter (Kail 1991, Kail 1993).

**Selektive Aufmerksamkeit.** Aufgaben zur selektiven Aufmerksamkeit testen die Fähigkeit, wichtige Reize von unwichtigen zu unterscheiden. Eine Reaktion soll nur bei relevanten Reizen erfolgen, andere Reaktionen müssen unterdrückt werden. Sowohl die Testverfahren als auch ihre Schwierigkeitsgrade können sehr unterschiedlich sein. Deshalb ist ein Vergleich von Studien zur Entwicklung der selektiven Aufmerksamkeit mit Vorsicht zu betrachten.

Arbeiten zur Entwicklung selektiver Aufmerksamkeitsleistungen führten zu der Annahme, dass bei Aufgaben zur Reiz-Selektion die Reaktionsgeschwindigkeit mit dem Alter abnimmt. Rebok et al. (1997) untersuchten Kinder im Alter von 8 und 10 Jahren auf die Fähigkeit zur selektiven, bzw. fokussierten Aufmerksamkeit. Ein Alterseffekt wurde durch schnellere Reaktionszeiten der älteren Kinder deutlich. Zu den gleichen Ergebnissen kamen auch Földenyi et al. bei Kindern im Alter von 6-10 Jahren. Kunert et al. (1996) stellten eine Regressionsanalyse für den Test zur selektiven Aufmerksamkeit für den Altersbereich von 9 bis 25 Jahren auf. Es zeigte sich durchgehend für alle Altersstufen eine signifikante Altersabhängigkeit in einer Abnahme der Reaktionszeiten mit zunehmendem Alter. Es fiel jedoch auf, dass die Unterschiede zwischen 9-10, 11 und 12 Jährigen nur geringe Verbesserungen zwischen 9/10 und 11 Jährigen und sogar eine leichte Verschlechterung bei den 12 Jährigen zeigte, aber die Leistungssteigerung zwischen den 9-10 Jahre alten Kindern und denen der Gruppe der Jugendlichen (mittleres Alter 17,2 Jahre) eine deutliche Verbesserung zeigte. Zwischen den Jugendlichen und den Erwachsenen war schließlich

kein Unterschied mehr in den mittleren Reaktionszeiten nachweisbar. Dies spricht deutlich für eine entscheidende Entwicklung im Bereich der 12 bis 15 Jährigen, die bisher jedoch nicht explizit untersucht wurde.

**Geteilte Aufmerksamkeit.** Testverfahren zur geteilten Aufmerksamkeit prüfen die Fähigkeit mindestens auf zwei Reize gleichzeitig reagieren zu können. Bei diagnostischen Testverfahren werden die Reaktionsgeschwindigkeiten auf zwei unterschiedliche Reize getestet, die gleichzeitig auftreten. Während die Arbeit von Földenyi et al. für Kinder von 6-10 Jahren eine signifikante Abnahme der Reaktionszeiten mit dem Alter feststellen konnten, zeigten Kunert et al. (1996) für die Altersspanne 9-25 Jahre ebenfalls eine durchgehende Verbesserung für die mittleren Reaktionsgeschwindigkeiten. Es zeigten sich auch bei der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit dass die 9/10 Jährigen etwas schlechtere Reaktionszeiten aufweisen als die ein Jahr älteren Probanden, dagegen die 12 Jahre alten Kinder wieder etwas schlechtere Ergebnisse erbrachten. Ähnlich dem Alterseffekt bei dem TAP-Test zur selektiven Aufmerksamkeit fällt eine deutliche Leistungsverbesserung zwischen den 9-12 Jährigen und der Gruppe der 15-20 Jährigen auf. Da sich die Reaktionszeiten der Erwachsenen (20-25 Jahre) kaum von denen der älteren Jugendlichen (15-20 Jahre) unterscheidet, ist anzunehmen, dass auch bei der Funktion zur geteilten Aufmerksamkeit ein Leistungsmaximum zwischen dem 12. und 15. Lebensjahr erwartet werden kann. Für dieses damit scheinbar entscheidende Alter liegen bisher keine genauen Untersuchungen vor.

**Vigilanz.** Untersuchungen zur Vigilanz werden meist mit so genannten Continuous-Performance-Tests (CPT) durchgeführt. Über einen längeren Zeitraum wird untersucht, in welchem Maß die Aufmerksamkeit bei eintönigen Reizen und langsamer Reizfrequenz abnimmt. Beim Continuous-Performance-Test besteht ein wichtiges Problem darin, dass sehr viele verschiedene Versionen dieses Verfahrens existieren, sodass Studienergebnisse zu der Aufmerksamkeitsfunktion Vigilanz nicht ohne weiteres verallgemeinert werden können (Földenyi et al. 1999).

So konnten zum Beispiel Rebok et al. (1997) in einem auditiven Continuous-Performance-Test Leistungssteigerungen zwischen 10 und 13 Jährigen Schülern und in einem visuellen Test Verbesserungen der mittleren Reaktionsgeschwindigkeiten bei Kindern vom 8.-13. Lebensjahr nachweisen. In der Arbeit von Földenyi et al. war der Continuous-Performance-Test zur optischen Vigilanz der einzige TAP-Subtest, der im Altersvergleich 6-10 Jahre keine signifikante Leistungssteigerung zeigen konnte. Im Gegensatz dazu fiel der akustische Vigilanztest mit signifikant kürzerer mittlerer Reaktionszeit für die älteren Kinder aus. Andere Untersuchungen zur Entwicklung der Vigilanz zeigten ebenfalls einen Alterseinfluss auf die Leistungsgeschwindigkeit bei Kindern (Greenberg und Waldman 1993).

Die Studie von Kunert et al. (1996) führten den TAP-Subtest Vigilanz nur bei 12 Jährigen durch, sodass hier keine Aussage über den Entwicklungsprozess im Jugendalter getroffen werden konnte. Lin et al. (1999) testeten die Daueraufmerksamkeit bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 6 bis 15 Jahren. Ihre Ergebnisse wiesen darauf hin, dass die Leistungsgeschwindigkeit im Jugendalter ein Plateau erreicht. Darüber hinaus zeigte sich aber bis zum 15. Lebensjahr eine weitere Abnahme der Fehleranzahl.

**Zusammenfassung.** Sowohl Kunert et al., als auch Rebok et al. und Földenyi et al. gehen davon aus, dass in den früheren Jahren bis etwa zum 10. Lebensjahr eine schnellere Entwicklung in den kognitiven Funktionen stattfindet, die zu besseren Fortschritten bezüglich Reaktionstempo und Fehlerhäufigkeit führt als zwischen dem 10. und 13. Lebensjahr. Darüber hinaus konnten insbesondere Kunert et al. zeigen, dass zu einem späteren Zeitpunkt erneut eine deutliche Leistungssteigerung stattfindet, nämlich etwa ab dem 13. Lebensjahr. Die Autoren erklären dies vor allem durch unterschiedliche Entwicklungsschübe und Entwicklungsstadien neuronaler Strukturen (s. 2.5.4).

### **Geschlechtsunterschiede.**

Mehrere Studien haben sich dem Thema der Geschlechtsunterschiede bei Aufmerksamkeitsfunktionen gewidmet. Unterschiedliche Testverfahren und verschiedene Ergebnisse erschweren konkrete Aussagen zur Entwicklung sexueller Unterschiede. Die Schwierigkeit scheint unter anderem darin zu bestehen, dass sich die Entstehung von Geschlechtsunterschieden nicht auf einen Faktor begrenzen lässt, sondern eher das Zusammenspiel einer Vielzahl von Faktoren (genetische, hormonelle, psychologische, soziokulturelle) dafür verantwortlich zu sein scheint (Spree, Risser, Edgell 1995). Da die Entwicklung des Gehirns schon während der Geburt hormonellen Einflüssen unterliegt, wirkt die Umwelt bei Mädchen und Jungen auf verschieden verschaltete Gehirne ein.

In bisherigen Untersuchungen konnten Földenyi et al. (1999) in ihrer Untersuchung Hinweise darauf geben, dass Jungen im Alter von 6-10 Jahren, wenn auch nicht immer signifikant, für die Funktionen Alertness, selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz schnellere Reaktionszeiten zeigten als die Mädchen. Durch zu vorschnelles Handeln unterliefen den Jungen aber auch mehr Fehler. Die Tatsache der schnelleren Reaktionen bei den Jungen konnten für das Alter 9-12 Jahre auch bei Kunert et al. (1996) festgestellt werden, jedoch waren die mittleren Reaktionszeiten nur für den Untertest Alertness signifikant schneller, bei der Aufgabe zur selektiven Aufmerksamkeit konnten sogar die Mädchen tendenziell kürzere Reaktionszeiten aufweisen. Für die Aufmerksamkeitsleistung der Vigilanz fanden Rebok et al. (1997) einen durchgehend signifikanten Geschlechtsunterschied bis zum 13. Lebensjahr. Auch Pascualvaca et al. (1997) konnten beim Continuous-Performance-Test zur Prüfung der Vigilanz

schnellere Reaktionszeiten bei Jungen feststellen. Im Gegensatz dazu waren die Mädchen, sowohl bezogen auf die Reaktionsgeschwindigkeit als auch auf die Fehlerhäufigkeit, in einem Test zur selektiven Aufmerksamkeit den Jungen überlegen. Jedoch wurden in dieser Studie nur Kinder von 7 bis 8 Jahren untersucht.

Földenyi et al. äußerten die Vermutung, dass die Geschlechtsunterschiede mit zunehmendem Alter weniger auftreten. Dies konnte durch die Arbeit von Rebok et al. zum Teil unterstützt werden, da der Geschlechtsunterschied sowohl mit schnelleren Reaktionszeiten als auch mit mehr Fehlern bei den Jungen im Alter von 8 Jahren noch signifikant war, im Alter von 10 und 13 Jahren jedoch keine eindeutige Fehlerhäufigkeit mehr auffiel. Der Unterschied in der mittleren Reaktionszeit war jedoch weiterhin nachweisbar. In der Arbeit von Kunert et al. fiel ein Vergleich mit der Gruppe der Jugendlichen (15-20 Jahre) und der der Erwachsenen (20-25 Jahre) bezüglich der Geschlechtsunterschiede aus.

Über die Geschlechtsunterschiede in kognitiven Funktionen wird aktuell angenommen, dass Männer und Frauen in einigen Funktionen wesentlich differieren, die Gesamtintelligenz aber davon nicht beeinflusst ist. Zu bekannten unterschiedlichen Funktionen zählen zum Beispiel ein besseres räumliches Vorstellungsvermögen und eine bessere räumliche Orientierung des männlichen Geschlechts, wohingegen Frauen eine allgemein höhere Wahrnehmungsgeschwindigkeit und verbale Gewandtheit besitzen. Allerdings müssen Aufgaben zur räumlichen Wahrnehmung differenziert betrachtet werden. Während Männer z.B. eine bessere Orientierung hinsichtlich eines Streckenverlaufs haben und sich eine bessere Vorstellung darüber machen können, wie Gegenstände gedreht aussehen, haben Frauen z.B. eine bessere Erinnerung markanter Punkte entlang eines Weges (Kimura 1992).

Eine Überlegenheit von Jungen für räumliche Aufgaben findet sich bereits ab dem 4. und 5. Lebensjahr und besteht bis zum Erwachsenenalter (Spren, Risser und Edgell 1995). Dreijährige Jungen können bereits beim Werfen ein Ziel besser treffen als Mädchen und die Fähigkeit, sich eine räumliche Drehung von Gegenständen vorzustellen, weist auch deutlich vor der Pubertät Geschlechtsunterschiede auf (Kimura, 1992).

#### **2.5.4 Zusammenhänge zwischen struktureller Hirnentwicklung und Entwicklung kognitiver Funktionen**

Dass sich mit dem Alter die kognitiven Leistungen auch im Bereich der Aufmerksamkeitsfunktionen noch bis ins Jugendalter und eventuell auch darüber hinaus steigern, konnte gezeigt werden. Auf die damit in Verbindung stehende strukturelle Entwicklung des Gehirns wird im Folgenden eingegangen.

**Hirnentwicklung.** Wachstum und Differenzierung des Gehirns treten in einer relativ festen Reihenfolge auf: Migration der Zellen, Ausbildung von Axonen und Dendriten, Abnahme der Synapsendichte und Reifung durch Myelinisierung. Durch die ständige Bildung neuer neuronaler Kontakte während der Entwicklung besteht die Möglichkeit der Modifikation und Feinabstimmung innerhalb bestimmter Grenzen, was eine gewisse Anpassungsfähigkeit des Gehirns ermöglicht (Shatz 1992). Andererseits können die Umweltbedingungen, unter denen eine Entwicklung abläuft, das Verhalten tief greifend beeinflussen. So braucht ein neuronales System in bestimmten Phasen seiner Entwicklung vermehrte Reizkonfrontationen um sich voll entwickeln zu können. Ein Reizentzug (Deprivation) innerhalb der Entwicklungsphasen führt zu einer Verarmung des Verhaltens der Kinder. Je nach Altersabschnitt und Dauer der Deprivation kann es zu unterschiedlich starken Entwicklungsverzögerungen und Schäden kommen (Lösslein und Deike-Beth 1997). Durch seine Anpassungsfähigkeit kann das Gehirn Läsionen, die in der Entwicklungsphase auftreten teilweise kompensieren, was nach einer Läsion im Erwachsenenalter nicht oder kaum mehr möglich ist (Kolb und Whishaw 1996). Ergebnisse über Entwicklungsreserven im Jugendalter sind deshalb von besonderer Bedeutung.

Zu Beginn der Entwicklung steht die Migration der Zellen während der embryonalen Phase. Ist der Zielort erreicht, beginnen die Zellen sich zu differenzieren. Das folgende Wachstum der Axone und zahlreicher Dendriten bildet zunächst ein Übermaß an Verzweigungen, welches sich erst in späteren Phasen der Entwicklung wieder zurückbildet (Shatz 1992, Kolb und Whishaw 1996). Die Entwicklung von Synapsen nehmen beim Menschen etwa bis zum zweiten Lebensjahr zu. Danach kommt es zu einer Abnahme der Synapsendichte. Bis zum sechzehnten Lebensjahr gehen etwa 50 % der Synapsen verloren, eine weitere Abnahme lässt sich bis zum Lebensende verfolgen (Kolb und Whishaw 1996).

Der paradoxe Mechanismus der Reduktion neuronaler Verbindungen während entscheidender kognitiver Entwicklungszeiten, insbesondere in der Jugend, scheint für Problemlösung, Organisation und Differenzierungsfähigkeit von besonderer Bedeutung zu sein (Feinberg 1988). Feinberg (1988) und Chugani et al. (1988) sprechen von einer globalen Reorganisation des menschlichen Gehirns während der Jugend, die für die kognitive Stärke des Erwachsenen notwendig ist.

Anokhin et al. (2000) konnten eine mit dem Alter zunehmende strukturelle und funktionelle Differenzierung nachweisen. Mittels spezieller EEG-Untersuchungen (DCx = Dimensional complexity) wurden Kinder im Alter von etwa 7, 14 und 16 Jahren in Ruhe und während spezieller kognitiver Aufgaben untersucht. Es zeigte sich eine Zunahme der Spezialisierung der kortikalen Gehirntopographie, der Geschlechtsunterschiede und der Lateralisierung des Gehirns bis zum 16. Lebensjahr. In einer Arbeit von Konrad et al. (2005) fand sich in einer fMRI-Studie zur Entwicklung von Aufmerksamkeitsnetzwerken ebenfalls eine kortikale Spezialisierung im

Erwachsenenalter im Vergleich zu Kindern im Alter von 8-12 Jahren. Die Aktivierungen bei den Kindern zeigten hier zum einen eine geringere, zum anderen aber auch eine weiter verstreute Aktivierung der jeweiligen kortikalen Zielregion. Dies zeigte sich sowohl für die Funktion der Alertness rechts frontomesencephal, als auch für die Funktion der Reorientierung rechts temporoparietal und der exekutiven Funktionen im dorsolateralen präfrontalen Kortex.

Die weitere Reifung der Nervenzellen erfolgt durch Myelinisierung. Es wird angenommen, dass Neurone erst nach Abschluss der Myelinisierung das funktionale Niveau des Erwachsenen erreicht haben. So bildet die Myelinisierung einen Index für den Reifegrad der Entwicklung von Hirnstrukturen. Die Ausprägung der Myelinisierung beträgt im Alter von drei Jahren 90% des Erwachsenengehirns (Thatcher et al. 1987 sowie Chugani et al. 1987, Paus et al. 1999). Der Subcortex ist mit drei Jahren komplett entwickelt, wohingegen die Kommissuren erst im Alter von neun Jahren voll entwickelt sind und die Myelinisierung der intrakortikalen weißen Substanz bis ins sechzigste Lebensjahr hineinreicht.

Paus et al. (1999) konnten in einer MRT-Untersuchung von Kindern im Alter von 4-17 Jahren eine bis ins Jugendalter hinausgezögerte Myelinisierung neuronaler Bahnen nachweisen, die für die motorische (bilateral kortikospinale Bahnen) und die sprachliche (linke frontotemporale Bahnen) Entwicklung von Bedeutung sind. Die Reifung der grauen Substanz zeigt, sowohl kortikal als auch subkortikal, ihre höchste Stoffwechselrate mit drei bis vier Jahren (den stärksten Anstieg in den ersten Lebensjahren zeigen die kortikalen Strukturen), ab etwa dem neunten Lebensjahr bis zum Ende der zweiten Lebensdekade findet eine deutlichen Abnahme statt (Chugani et al. 1987).

Wichtige Erkenntnisse zur quantitativen Hirnentwicklung brachte eine Untersuchung von Reiss et al. (1996). Die Hirnmassenentwicklung wurde beobachtet in Bezug auf Geschlecht, Alter und Intelligenz. Die Analyse zur Volumenentwicklung bezogen auf das Alter (4 bis 18 Jahre) ergab keine Veränderung im totalen Volumen. Doch stellte sich bei genauerer Betrachtung heraus, dass es zu einer regelmäßigen altersbezogenen Zunahme der weißen Hirnsubstanz kommt und parallel zu einer Abnahme der grauen kortikalen Strukturen. Die Abnahme der grauen Substanz zeigte keinen Unterschied zwischen den einzelnen kortikalen Gebieten.

Auch diese Ergebnisse sprechen für eine Abnahme und Reorganisation von Neuronen, Dendriten und Synapsen innerhalb der grauen Substanz und eine Zunahme der Myelinisierung der weißen Substanz während der gesamten Kindheit und Jugend als eine Folge der Entwicklung höherer kognitiver Funktionen. Bis zum Alter von 18 Jahren war kein Stagnieren der Volumenzunahme und Volumenabnahme zu erkennen.

Die Untersuchung von Reiss et al. (1996) zeigte auch einen Hirnvolumenunterschied von etwa 10% mehr bei den Jungen. Den Hauptteil des Volumenunterschiedes trägt demnach der Kortex. Für den untersuchten Altersbereich von 4 bis 18 Jahren blieb dieser Unterschied relativ konstant,

was für einen sich bereits sehr früh entwickelnden Geschlechtsunterschied in der cerebralen Entwicklung und Organisation spricht.

**Intelligenz** Wenn auch immer wieder kontrovers diskutiert, kamen Reiss et al. (1996) zu positiven Ergebnissen bei der Analyse nach Assoziation von Hirnvolumen mit Ergebnissen von Intelligenztests. Es zeigte sich eine Volumenzunahme insbesondere der kortikalen präfrontalen Strukturen mit steigendem Intelligenzquotienten. Diesen Strukturen werden auch höhere kognitive Funktionen zugesprochen, wie selektive Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis, Inhibition und andere so genannte exekutive Funktionen (siehe 2.3.1). Ein Vergleich von Aufmerksamkeitsfunktionen und Intelligenzleistung bei Kindern zwischen 10 und 12 Jahren ergab, dass für die Funktionen selektive Aufmerksamkeit und Vigilanz eine Korrelation mit allgemeiner Intelligenz bestand, nicht aber für geteilte Aufmerksamkeit (Kunert et al. 1996).

**Wachstumsperioden.** Auch wenn die Studie von Reiss et al. keine Hinweise darauf gibt, geht man allgemein davon aus, dass die Massenzunahme des Gehirns in bestimmten Perioden, sog. Wachstumsspurts verläuft (Kolb und Whishaw 1996, Epstein 1986, Thatcher et al. 1987). Epstein fasste zahlreiche Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Gehirngröße und Alter zusammen. Es zeigten sich deutliche Spitzen im Alter von 7, 11-12 und 15 Jahren. Eine EEG-Untersuchung zur Hemisphärenentwicklung zeigte fünf dominierende Wachstumsperioden: bis zum 3. Lebensjahr, im Alter von 4-6, 8-10, 11-14 und von 15 Jahren bis ins Erwachsenenalter (Thatcher et al. 1987). Eine Studie von Klimkeit et al (2004) fand bei einer Untersuchung zur Entwicklung von Aufmerksamkeitsfunktionen bei 7-12 Jährigen einen Höhepunkt zwischen 8 und 10 Jahren und stellte den Zusammenhang zur anatomisch funktionellen Wachstumsperiode in diesem Alter dar. Viele Autoren stellen hier eine mögliche Verbindung zwischen den klinischen Erkenntnissen der Wachstumsperioden und dem entwicklungspsychologisch kognitiven Modell von Piaget her (Thatcher et al. 1987, Epstein 1986, Kolb und Whishaw 1996).

Bezogen auf die Jugend scheint die Entwicklung insbesondere zwischen 13 und 15 Jahren eine wichtige Wachstumsphase zu durchlaufen. Es gibt jedoch auch genügend Hinweise darauf, dass Entwicklungspotential bis in die späte Jugend und ins frühe Erwachsenenalter vorhanden ist. Dennoch existieren bislang keine ausreichenden Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen der periodischen strukturellen Hirnentwicklung und der Entwicklung spezifischer Aufmerksamkeitsfunktionen im Jugendalter.

### **3 Eigene Untersuchung**

#### **3.1 Fragestellung und Hypothesen**

Anhand moderner Aufmerksamkeitstheorien wird Aufmerksamkeit nicht als eine Funktion angesehen, sondern als Mehrkomponentenmodell betrachtet. Aufmerksamkeitsleistungen können in die Aspekte Alertness, selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und längerfristige Aufmerksamkeit, bzw. Vigilanz aufgeteilt werden (Keller und Grömminger 1993, Sturm 1997). Es muss auf der Grundlage komplexer neuronaler Strukturverbände für einzelne kognitive Funktionen auch von einem getrennten Entwicklungsverlauf der Aufmerksamkeitsleistungen ausgegangen werden. Aufgabe der Testverfahren muss es daher sein, die Tests so zu konzipieren, dass verschiedene Funktionen getrennt erfasst werden können und altersgerecht durchführbar sind.

Viele Studien über die Entwicklung von Aufmerksamkeitsleistungen vernachlässigen das jugendliche Alter. Insbesondere für das Alter zwischen 13 und 15 Jahren fehlen Daten, die zeigen, wieweit sich die Aufmerksamkeitsfunktionen entwickelt haben. Bisherige Studien geben Hinweise darauf, dass Jugendliche ein Entwicklungsplateau und damit Erwachseneniveau erreichen (Kunert et al. 1996, Rebok et al. 1997). Ergebnisse über Entwicklungsreserven im Jugendalter sind von besonderer Bedeutung, da das Gehirn durch seine Anpassungsfähigkeit Läsionen, die in der Entwicklungsphase auftreten, teilweise kompensieren kann, was nach einer Läsion im Erwachsenenalter nicht oder kaum mehr möglich ist (Kolb und Wishaw 1996).

In Anlehnung an die aktuelle Literatur ist außerdem davon auszugehen, dass es in der Jugend keine eindeutigen Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen gibt (Kunert et al. 1996, Rebok et al. 1997). Es sind zwar kognitive Unterschiede zwischen Männern und Frauen bekannt, wie bessere verbale Gewandtheit und schnellere Wahrnehmungsgeschwindigkeit bei Frauen und bessere räumliche Vorstellungskraft und Orientierung bei Männern (Kimura 1992, Spreen, Risser und Edgell 1995), jedoch gibt es bisher keine einheitlichen Aussagen über eine, möglicherweise sogar in der Pubertät verstärkte Geschlechtsdifferenz für Aufmerksamkeitsleistungen.

Ein Zusammenhang zwischen Intelligenz und einfachen Aufmerksamkeitsleistungen wird nicht erwartet. Zwar konnten Kunert et al. (1996) für bestimmte Teilfunktionen eine Korrelation mit Intelligenzfunktionen darstellen, es ist jedoch auch durch die Neuroanatomie nicht erklärt, warum gewisse Teilfunktionen mehr Intelligenzkorrelation zeigen sollen als andere. Eine Ausnahme bilden die so genannten, überwiegend frontal lokalisierbaren, exekutiven Funktionen.

Aus den genannten Fragestellungen ergibt sich nun die Notwendigkeit eine Untersuchung über die Entwicklungsverläufe einzelner Aufmerksamkeitsleistungen an Jugendlichen durchzuführen und eine Differenzierung der einzelnen Teilleistungen vorzunehmen.

In der Arbeit werden nun die Aufmerksamkeitsaspekte Alertness, selektive und geteilte Aufmerksamkeit sowie Vigilanz bei gesunden Jugendlichen im Alter von 13 und 15 Jahren getestet. Dadurch sollen die Teilleistungen auf ihre Unabhängigkeit hin untersucht werden, weitere Informationen über die Entwicklungsfähigkeit in der Jugend gefunden werden, ein Geschlechtervergleich gezogen und nach einer Verbindung mit allgemeiner Intelligenz gesucht werden.

Die Auswahl gesunder und durchschnittlich intelligenter Jugendlicher wurde gewährleistet durch einen Fragebogen an die Eltern, um eventuelle Verhaltensauffälligkeiten auszuschließen (Child Behavior Check List, CBCL) und durch den Intelligenztest CFT 20, Teil 1, für die Probanden selbst. Zur Erfassung der Aufmerksamkeitsleistungen wurde die Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung TAP verwendet, da computergestützte Verfahren im Vergleich zu Papier- und Bleistift- Aufgaben wesentliche Vorteile aufweisen (siehe Kapitel 2.5.2).

Folgende Hypothesen wurden aufgestellt:

- Innerhalb der zwei Altersgruppen 13 und 15 Jahre liegt kein auffälliger Altersunterschied in den einzelnen Aufmerksamkeitsleistungen vor,
- Es sind keine Geschlechtsunterschiede nachweisbar,
- Es gibt keine Korrelation einfacher Aufmerksamkeitsaspekte mit allgemeiner Intelligenz.

## **3.2 Methodik**

### **3.2.1 Stichprobenbeschreibung**

Für die Studie wurden gesunde Jugendliche aus Schulen und Sportvereinen ausgewählt. Zum Ausschluss schwerer Verhaltensauffälligkeiten wurde der Elternfragebogen CBCL (Child Behavior Check-List) herangezogen. Dieser Fragebogen beinhaltet 120 Fragen an die Eltern zur Beurteilung des Verhaltens und häufig auftretender Probleme ihrer Kinder. Die Fragen sind in acht Bereiche eingeteilt, dadurch können einzelne Verhaltensaspekte genauer betrachtet werden. Dazu gehören: Skala I: sozialer Rückzug, Skala II: körperliche Beschwerden, Skala III: Angst und Depressivität, Skala IV: soziale Probleme, Skala V: schizoid-zwanghaftes Denken, Skala VI: Aufmerksamkeitsprobleme, Skala VII: delinquentes Verhalten, Skala VIII: aggressives Verhalten. Je höher die Punktezahl in der Auswertung liegt, umso auffälliger ist das Kind. Für die Studie wurde der obere Grenzwert von 60 Punkten im Gesamtverhalten, und für den Teilbereich Aufmerksamkeitsprobleme, Gruppe VI, der obere Grenzwert von 67 Punkten übernommen.

Durch den Intelligenztest CFT 20, Teil 1, wurden Probanden mit einem Intelligenzkoeffizienten höher oder gleich 85 Punkten für die Studie eingeschlossen. Die Beschreibung des Stichprobengutes ist in Tabelle 3 aufgeführt. Um optimale Testbedingungen herzustellen, wurde dafür gesorgt, dass die Testpersonen nicht übermüdet waren. Die Untersuchung wurde in einem ruhigen, hellen Raum durchgeführt und eventuelle Störquellen (Telefon, Fernseher, etc.) wurden beseitigt. Alle Aufgaben wurden zu Beginn ausreichend erklärt. Probedurchläufe wurden nicht durchgeführt. Die Reihenfolge der einzelnen Testparadigmen war bei jedem Probanden die gleiche.

Untersucht wurden vierzig Jugendliche, davon zwanzig im Alter von 13.0 bis 13.12 Jahren und zwanzig im Alter von 15.0 bis 15.12 Jahren. Es wurden jeweils zur Hälfte Mädchen und Jungen getestet (Tabelle 3). Von den 40 getesteten Personen wurden aufgrund der Einschlusskriterien vier Probanden von der Auswertung ausgeschlossen.

		<b>Gesamt: N = 36</b>	<b>Durchschnittlicher Intelligenzquotient (SD)</b>	<b>Durchschnittlicher CBCL-Wert Gesamt (SD)</b>	<b>Durchschnittlicher CBCL-Wert „Aufmerksamkeit“ (SD)</b>
<b>13 Jahre</b>	<b>Jungen</b>	N= 10	109 (13,4)	48 (9,8)	53 (4,6)
	<b>Mädchen</b>	N= 10	104 (5,4)	44 (6,6)	52 (2,6)
<b>15 Jahre</b>	<b>Jungen</b>	N= 7	106 (8,4)	40 (10,2)	50 (0,5)
	<b>Mädchen</b>	N= 9	102 (3,7)	41 (4,6)	50 (0,0)

Tabelle 3: Stichprobenverteilung der Untersuchung. Die Zahlen in Klammern (x) entsprechen den jeweiligen Standardabweichungen. Die CBCL-Werte (Child-Behavior Check-List, Elternfragebogen über mögliche Verhaltensauffälligkeiten ihrer Kinder) stehen einmal für die Gesamtpunktzahl aller erfassten Bereiche (oberer Grenzwert 60) und im speziellen für den Teilbereich Aufmerksamkeit (oberer Grenzwert 67). Eine Punktezahl > 85 wurde für den Intelligenztest CFT 20, Teil 1, als Einschlusskriterium vorausgesetzt.

### 3.2.2 Beschreibung der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP)

Diese computergestützte Testbatterie wurde entwickelt, um gezielt Teilfunktionen der Aufmerksamkeit zu prüfen. Sie wird hauptsächlich in der Erwachsenenendiagnostik eingesetzt. Den Teilaspekten sind einzelne Verfahren zugeordnet, in denen einfache oder komplexere Reize mit einem Tastendruck zu beantworten sind. Die Reize sind visueller und/oder akustischer Art. Die Ermittlung der faktoriellen Validität erfolgte durch Faktorenanalyse.

Vor jeder Testreihe erscheint eine Abbildung, die den Test genau erklärt und den entsprechenden Reiz abbildet.

Kriterien für die Leistungsfähigkeit sind:

- **Reaktionszeit** (Schnelligkeit) in Millisekunden (msec)
- **Standardabweichung** der mittleren Reaktionszeit als Maß für die Regelmäßigkeit
- **Fehlerhäufigkeit.**

Bei der Fehlerangabe unterscheidet man Fehler 1.Ordnung und Fehler 2.Ordnung.

Fehler 1.Ordnung sind die Fehler, die sich auf den Zielreiz beziehen: jede ausgelassene Reaktion auf den Zielreiz wird als Fehler1 angegeben und als Omissionsfehler bezeichnet. Als Fehler 2.Ordnung sind diejenigen zu werten, die außerhalb des Zielreizes auftreten: erfolgt eine unangemessene Reaktion auf einen falschen Reiz, wird dies als Fehler2 aufgezeichnet. Fehler2 können als Impulsivitätsfehler gedeutet werden und werden als Kommissionsfehler bezeichnet.

Für die vorliegende Studie zur Untersuchung einfacher Aufmerksamkeitsstrukturen wurden die Probanden hinsichtlich folgender Testvariablen untersucht:

- Alertness**
- geteilte Aufmerksamkeit**
- selektive Aufmerksamkeit**
- Vigilanz**

**Alertness.** Der Test „Alertness“ bietet die Möglichkeit, die tonische und phasische Komponente zu untersuchen. Für die tonische Alertness erscheint auf dem Bildschirm ein einfacher visueller Reiz (Kreuz, siehe Abbildung 4), auf den so schnell wie möglich mit Tastendruck reagiert werden soll. Um die phasische Alertness zu untersuchen, wird der Reiz durch einen Warnton angekündigt. Der Test besteht aus vier Serien nach einem ABBA-Schema (A = ohne Warnton; B = mit Warnton: das Zeitintervall zwischen Warnton und Reiz ist zufällig). Pro Serie werden 20 Reize angeboten.

Wird die Differenz der Reaktionszeiten und Standardabweichungen von Durchgängen mit Warnton ( $mrt_2$  und  $sd_2$ ) und ohne Warnton ( $mrt_1$  und  $sd_1$ ) errechnet, können sich daraus Hinweise für das Verhältnis von tonischer zu phasischer Alertness, als ein Maß für die Leistungssteigerung ergeben. Bei normal entwickelter Aufmerksamkeitsaktivierung geht man davon aus, dass die phasische Reaktion mit Warnton etwas schneller erfolgt als die tonische ohne Warnton.

Für die vorliegende Arbeit wurde als Messparameter angegeben:

- die Differenz der mittleren Reaktionszeit ( $mrt_1 - mrt_2$ ) in „**Alertness Reaktionszeit-Differenz**“.

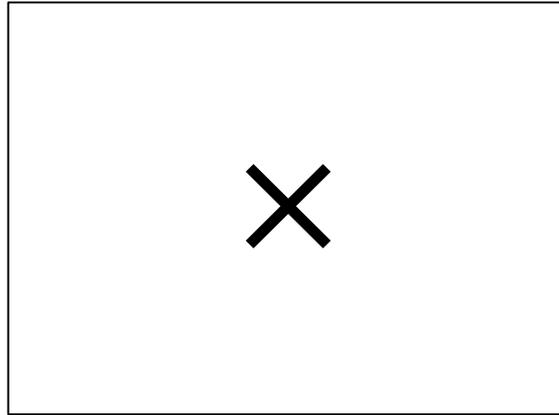


Abbildung 4: Test Alertness; Zielreiz: Erscheinen des Kreuzes mit und ohne Warnton auf den bei Erscheinen mit Tastendruck zu reagieren ist.

**Geteilte Aufmerksamkeit.** Das Richten der Aufmerksamkeit auf mehrere Reize gleichzeitig wird durch sog. „dual-task“ Aufgaben geprüft. Der Test für geteilte Aufmerksamkeit der TAP prüft die Reaktion auf zwei gleichzeitig auftretende Reize. Ein Reiz ist akustischer, der zweite visueller Art. Der akustische Teil besteht aus einem Wechsel von hohen und tiefen Tönen. Aufgabe ist es, auf die Taste zu drücken, wenn ein hoher oder tiefer Ton zweimal hintereinander erfolgt. Die visuelle Aufgabe besteht darin, in einem Feld von vier mal vier Punkten kleine Quadrate zu entdecken, die durch abwechselnd aufleuchtende Kreuze gebildet werden (siehe Abbildung 6). Sobald vier dieser Kreuze ein kleines Quadrat bilden, muss so schnell wie möglich auf die Taste gedrückt werden. Zuerst werden der visuelle und der akustische Teil einzeln durchgeführt. Dadurch wird die Fähigkeit zur selektiven Aufmerksamkeit getestet (siehe unten). Im Anschluss werden beide Tests gleichzeitig geprüft, wobei auf zwei Reize gleichzeitig zu achten ist: auf die Quadrate und auf die Töne. Es werden 100 optische Reize und 200 akustische Reize dargeboten. Zur Untersuchung der Aufmerksamkeitsleistung für geteilte Aufmerksamkeit wurden die Reaktionszeiten (mrt alleine) und die Fehlerhäufigkeiten (Fehler alleine) der Einzeldurchgänge (visuell und akustisch) von den Reaktionszeiten (mrt geteilt) und Fehlerhäufigkeiten (Fehler geteilt) der Durchgänge mit beiden Reizen abgezogen. Dadurch kann man ein Maß für die verminderte Leistung bei geteilter Aufmerksamkeit erhalten. Es ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass ein Fehler, der unter geteilten Bedingungen auftritt, nicht immer sicher als Fehler 1. oder 2. Ordnung dem akustischen oder dem visuellen Reiz zugeordnet werden kann. Daher wurden an dieser Stelle die Gesamtfehlerzahlen angegeben.

Messvariablen für geteilte Aufmerksamkeit akustisch:

-Differenz der Reaktionszeiten in msec (mrt geteilt - mrt alleine) in

„**Geteilte Aufmerksamkeit akustisch Reaktionszeit-Differenz**“

-Differenz der Fehlerhäufigkeit (Fehler geteilt - Fehler alleine) in

„**Geteilte Aufmerksamkeit akustisch Fehler-Differenz**“

Geteilte Aufmerksamkeit visuell:

- Differenz der Reaktionszeiten in msec (mrt geteilt - mrt alleine) in

„**Geteilte Aufmerksamkeit optisch Reaktionszeit-Differenz**“

-Differenz der Fehlerhäufigkeit (Fehler geteilt - Fehler alleine) in

„**Geteilte Aufmerksamkeit optisch Fehler-Differenz**“

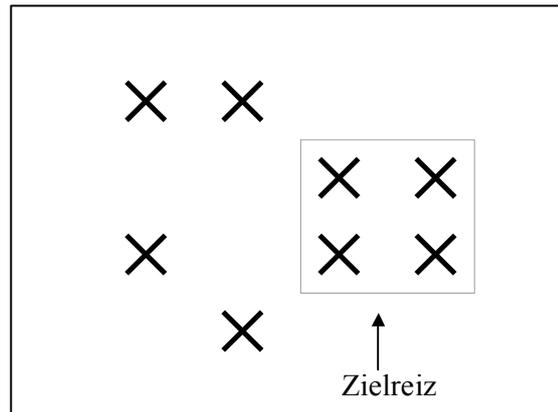


Abbildung 6: Test Geteilte Aufmerksamkeit optisch; Zielreiz: Ein Tastendruck muss erfolgen, sobald sich aus den umherspringenden Kreuzen ein Quadrat bildet.

**Selektive Aufmerksamkeit.** Der akustische Teil und der visuelle Teil der Variablen zur geteilten Aufmerksamkeit sind jeweils Wahlreaktionsaufgaben. Unwichtige Reize müssen unterdrückt werden, und nur auf die Zielreize darf eine Reaktion erfolgen (siehe geteilte Aufmerksamkeit). Daher können sie einzeln (visueller oder akustischer Teil) als Test zur Untersuchung der selektiven Aufmerksamkeit herangezogen werden.

Messvariablen sind die folgenden:

- „**selektive Aufmerksamkeit optisch Reaktionszeit**“ (in msec)

- „**selektive Aufmerksamkeit optisch Fehler 1**“

- „**selektive Aufmerksamkeit optisch Fehler 2**“

- „**selektive Aufmerksamkeit akustisch Reaktionszeit**“ (in msec)

- „**selektive Aufmerksamkeit akustisch Fehler 1**“

- „**selektive Aufmerksamkeit akustisch Fehler 2**“

**Vigilanztest.** Dieser Test dient zur Erfassung der Aufrechterhaltung längerfristiger Aufmerksamkeit bei eingeschränkter und eintöniger Reizfrequenz. Die akustische und visuelle Vigilanz wurden getrennt untersucht. Im akustischen Vigilanztest werden über einen Zeitraum von zehn Minuten abwechselnd ein hoher (1000 Hz) und ein tiefer Ton (440 Hz) angeboten. Das Intervall zwischen den Tönen wurde für die Studie mit 1 sec festgelegt. Aufgabe ist es, auf die Taste zu drücken, sobald ein hoher oder tiefer Ton zweimal hintereinander ertönt, die Reihenfolge also unterbrochen wird.

Der visuelle Vigilanztest wurde ebenfalls über zehn Minuten durchgeführt. Auf der Bildschirmmitte erscheint ein Quadrat (siehe Abbildung 5), das horizontal in zwei Rechtecke geteilt ist. Ein Muster springt zwischen dem oberen und dem unteren Rechteck hin und her. Aufgabe ist es, Änderungen in der Abfolge zu erkennen und auf die Taste zu drücken, sobald das Muster zweimal hintereinander oben oder unten erscheint.

Zur Analyse der längerfristigen Aufmerksamkeit wurden Reaktionszeit in msec und Fehlerhäufigkeiten der ersten 5 Minuten (mrt1, sd1, fel1/1, fel1/2) von der Reaktionszeit, der Standardabweichung und der Fehleranzahl der letzten fünf Minuten (mrt2, sd2, fel2/1, fel2/2) subtrahiert. Dadurch kann die mit der Zeit abnehmende Aufmerksamkeitsleistung nach ihrem Maß untersucht werden.

Messparameter zur akustischen Vigilanz:

- Differenz der Reaktionszeiten (mrt2 - mrt1) in „**Vigilanz akustisch Reaktionszeit-Differenz**“
- Differenz der Fehler 1.Ordnung (fel1/2 - fel1/1) in „**Vigilanz akustisch Fehler1-Differenz**“
- Differenz der Fehler 2.Ordnung (fel2/2 - fel2/1) in "**Vigilanz akustisch Fehler2-Differenz**“

Messparameter zur visuellen Vigilanz:

- Differenz der Reaktionszeiten ( $mrt_2 - mrt_1$ ) in „**Vigilanz optisch Reaktionszeit-Differenz**“
- Differenz der Fehler 1.Ordnung ( $fel_1/2 - fel_1/1$ ) in „**Vigilanz optisch Fehler1-Differenz**“
- Differenz der Fehler 2.Ordnung ( $fel_2/2 - fel_2/1$ ) in „**Vigilanz optisch Fehler2-Differenz**“

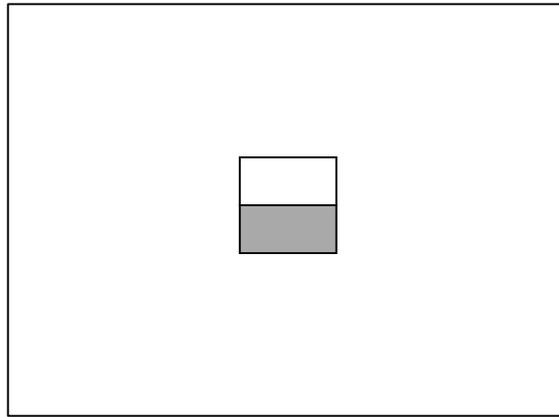


Abbildung 5: Vigilanztest optisch; Zielreiz für den Tastendruck: Abweichung des regelmäßigen Wechsels des dunklen Quadrats zwischen oben und unten.

### **3.2.3 Statistische Auswertung**

Für die statistische Auswertung wurde die Software SPSS Version 9.0 für Windows verwendet. Die normalverteilten mittleren Reaktionszeiten und Standardabweichungen wurden mit dem T-Test Verfahren für unabhängige Stichproben berechnet. Für die nichtnormalverteilten Fehlerhäufigkeiten wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Die Korrelationen zwischen den Aufmerksamkeitsleistungen und dem Wert für allgemeine Intelligenz, bzw. den Ergebniswerten der CBCL-Fragebögen, sowie zwischen den Aufmerksamkeitsvariablen selbst, wurden mit dem Korrelationstest nach Spearman für normalverteilte Variablen errechnet. Das Signifikanzniveau der ermittelten p-Werte liegt bei .050 und eine Tendenz wird bei .051 bis .100 beschrieben.

## 4 Ergebnisse

Mit der Testbatterie TAP wurden 40 gesunde Jugendliche auf ihre Aufmerksamkeitskapazitäten getestet. Es wurden anhand von Untertests die Aufmerksamkeitsfunktionen Alertness (anhand visueller Tests mit den Testbedingungen phasische und tonische Alertness), selektive Aufmerksamkeit akustisch und visuell, geteilte Aufmerksamkeit akustisch und visuell, sowie Vigilanz akustisch und visuell untersucht. Die gemittelten Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten wurden in Bezug auf das Alter, die Geschlechtsunterschiede, sowie die Intelligenz- und CBCL-Korrelation berechnet. Zusätzlich wurden die Aufmerksamkeitsfunktionen untereinander korreliert, um die Unabhängigkeit der verschiedenen Teilbereiche zu überprüfen. Zuletzt wurde nach einer Abhängigkeit visueller und akustischer Aufmerksamkeitsleistungen von den Variablen, die mit beiden Modalitäten untersucht werden konnten, gesucht.

**Erstellen von Vergleichswerten.** Die gemittelten Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten stellen Vergleichswerte normal entwickelter Jugendlicher im Alter von 13 und 15 Jahren dar, die zur Diagnostik von Patienten mit Aufmerksamkeitsdefiziten behilflich sein können. Im Anhang befinden sich Tabellen, die für jede Testvariable die Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten mit den entsprechenden Standardabweichungen aufführt.

### 4.1 Altersvergleich

Die Ergebnisse der durchgeführten Testvariablen der 13 und 15 Jahre alten Jugendlichen wurden miteinander verglichen.

Die folgenden Tabellen geben die gemittelten Messparameter der einzelnen Testvariablen mit den errechneten p-Werten an. Die ersten zwei Spalten enthalten die Werte für den Gesamaltersvergleich, die folgenden Spalten für den Altersvergleich nach Geschlechtern getrennt. Die einzelnen Testvariablen wurden unter Kapitel 3.2.2 beschrieben.

**Alertness**

Tabelle 4 zeigt die Messdaten und p-Werte der Testvariablen zur Alertness im Altersvergleich.

	JAHRE		p	MÄNNLICH		p	WEIBLICH		p
	13	15		13	15		13	15	
Alertness optisch	9,7	13,9	n.s.	3,4	5,5	n.s.	16,7	25,8	n.s.
Reaktionszeit-Differenz									

\* = Signifikanz < .050; \*\* = Tendenz > .050 und < .100; n.s. = nicht signifikant

Die „Reaktionszeit-Differenz“ ist der Wert, der durch die Differenz der Reaktionszeiten von Durchgängen mit Warnton und ohne Warnton errechnet wurde. Er dient so als Hinweis für das Verhältnis von tonischer zu phasischer Alertness und damit als ein Maß für die Leistungssteigerung.

Im Altersvergleich 13 Jahre gegen 15 Jahre ergab sich hierfür kein signifikanter Unterschied.

### Selektive Aufmerksamkeit

Tabelle 5 zeigt die Messdaten und p-Werte der Testvariablen zur selektiven Aufmerksamkeit im Altersvergleich.

	ALTER		p =	MÄNNLICH		p =	WEIBLICH		p =
	13	15		13	15		13	15	
selektive Aufm. optisch	997	866	0,001*	1001	845	0,007*	993	894	n.s.
Reaktionszeit									
selektive Aufm. optisch	1,5	1,3	n.s.	1,6	1,3	n.s.	1,3	1,3	n.s.
Fehler1									
selektive Aufm. optisch	1,2	0,7	n.s.	1,1	0,9	n.s.	1,2	0,4	n.s.
Fehler2									
Selektive Aufm. akustisch	526	524	n.s.	510	514	n.s.	544	539	n.s.
Reaktionszeit									
selektive Aufm. akustisch	0,3	0,5	n.s.	0,3	0,8	n.s.	0,3	0,1	n.s.
Fehler1									
selektive Aufm. akustisch	0,7	0,6	n.s.	0,6	0,9	n.s.	0,8	0,1	n.s.
Fehler2									

\* = Signifikanz < .050; \*\* = Tendenz > .050 und < .100; n.s. = nicht signifikant

Im visuellen Test zur selektiven Aufmerksamkeit lässt sich ein signifikanter Altersunterschied ( $p=0,001$ ) der mittleren Reaktionszeit nachweisen, die 15 Jährigen zeigen hier deutlich kürzere Reaktionszeiten (866ms) als die 13 Jährigen (997ms). Betrachtet man die Reaktionszeiten nach Geschlechtern getrennt, ist ein signifikanter Altersunterschied ( $p=0,007$ ) nur zwischen den 13 und 15-jährigen Jungen nachzuweisen (15 Jahre: 845ms, 13 Jahre: 1001ms). Sowohl die Fehlerhäufigkeiten im visuellen und akustischen Teil, als auch die mittleren Reaktionszeiten des akustischen Teils ergeben keinen altersabhängigen Unterschied.

### Geteilte Aufmerksamkeit

Tabelle 7 zeigt die Messdaten und p-Werte der Testvariablen zur geteilten Aufmerksamkeit im Altersvergleich 13 und 15 Jahre.

	JAHRE		p	MÄNNLICH		p	WEIBLICH		p
	13	15		13	15		13	15	
geteilte Aufm. optisch Reaktionszeit-Differenz	-73,8	-13,2	n.s.	-79,4	-14,6	n.s.	-67,5	-11,1	n.s.
geteilte Aufm. optisch Fehler-Differenz	0,05	-0,05	n.s.	-0,1	-0,3	n.s.	0,2	0,6	n.s.
geteilte Aufm. akustisch Reaktionszeit-Differenz	44,8	68,0	n.s.	26,0	82,5	*0,021	65,7	47,3	n.s.
geteilte Aufm. akustisch Fehler-Differenz	0,3	-0,2	n.s.	0,4	-0,4	n.s.	0,2	0,1	n.s.

\* = Signifikanz < .050; \*\* = Tendenz > .050 und < .100; n.s. = nicht signifikant

Die Untersuchung im Altersvergleich für die Aufmerksamkeitsleistung der geteilten Aufmerksamkeit ergab keinen signifikanten Altersunterschied im Vergleich aller 13- und 15-jährigen Probanden. Im Vergleich der nur männlichen Jugendlichen zeigte sich ein signifikanter Altersunterschied für die Differenz der akustischen mittleren Reaktionszeit. Die größere Differenz der 15-jährigen Jungen spricht für eine langsamere Reaktionszeit auf den akustischen Reiz unter der Bedingung geteilte Aufmerksamkeit (akustischer Durchgang alleine, also nicht geteilte Bedingung: 514 msec; geteilte Bedingung mit akustischem und visuellem Reiz gleichzeitig: 596 msec). In der nicht geteilten Bedingung für den akustischen Reiz zeigten die Reaktionszeiten für die 13 und 15-jährigen Jungen keinen Unterschied (13 Jahre 510 msec, 15 Jahre 514 msec). Erst bei der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit zeigten die 15-jährigen Jungen langsamere Reaktionszeiten (13 Jahre: 536 msec, 15 Jahre: 596 msec).

## Vigilanz

Tabelle 6 zeigt die Messdaten und p-Werte der Testvariablen zur Vigilanz im Altersvergleich.

	JAHRE		p	MÄNNLICH		p	WEIBLICH		p
	13	15		13	15		13	15	
Vigilanz optisch	50,7	18,9	*0,032	64,8	8,0	*0,010	35,0	34,4	n.s.
Reaktionszeit-Differenz									
Vigilanz optisch	0,6	0,5	n.s.	0,9	0,7	n.s.	0,3	0,3	n.s.
Fehler1-Differenz									
Vigilanz optisch	-1,3	0,0	*0,015	-1,7	-0,2	*0,031	-0,8	0,3	n.s.
Fehler2-Differenz									
Vigilanz akustisch	36,0	33,2	n.s.	44,8	32,7	n.s.	26,2	34,0	n.s.
Reaktionszeit-Differenz									
Vigilanz akustisch	0,7	-0,1	**0,067	0,9	0,0	n.s.	0,5	-0,3	n.s.
Fehler1-Differenz									
Vigilanz akustisch	-0,05	-0,1	n.s.	0,0	-0,3	n.s.	-0,1	0,0	n.s.
Fehler2-Differenz									

\* = Signifikanz < .050; \*\* = Tendenz > .050 und < .100; n.s. = nicht signifikant

Zur Analyse der längerfristigen Aufmerksamkeit wurden die Reaktionszeiten (in msec) und Fehlerhäufigkeiten der ersten 5 Minuten von den Reaktionszeiten und der Fehleranzahl der letzten fünf Minuten subtrahiert. Dadurch kann die mit der Zeit abnehmende Aufmerksamkeitsleistung nach ihrem Maß untersucht werden (Reaktionszeit-Differenz, Fehler-Differenz). Treten in der zweiten Hälfte (Minuten 6-10) weniger Fehler auf als in der ersten Hälfte, können negative Werte entstehen.

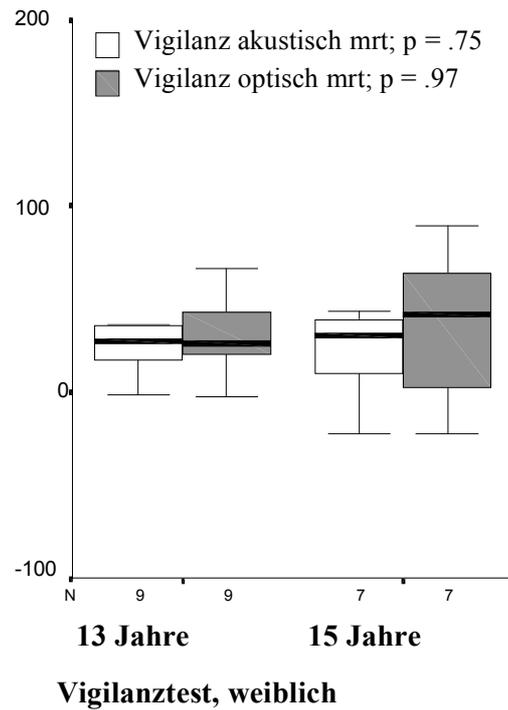
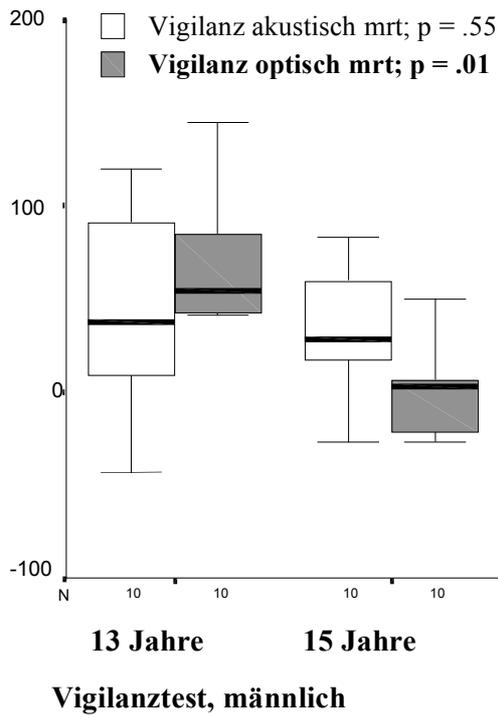
Die Differenz der mittleren Reaktionszeiten für den visuellen Vigilanztest liegt nun bei den 15 Jährigen mit 18,9msec signifikant ( $p=0,032$ ) niedriger als bei den 13 Jahre alten Jugendlichen (50,7msec). Die niedrigere Differenz spricht somit für eine bessere Fähigkeit Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum (in diesem Fall 10min) aufrechtzuerhalten ohne dass die Leistung dabei deutlich abnimmt. Die Reaktionszeiten der 13 Jährigen zeigten zusätzlich in beiden gemessenen Zeitbereichen (Minuten 1-5: 626 msec, Minuten 6-10: 676 msec) längere Reaktionszeiten als die 15 Jährigen (Minuten 1-5: 580 msec und Minuten 6-10: 601 msec).

Im Altersvergleich getrennt nach Mädchen und Jungen war der signifikante Altersunterschied nur bei den Jungen ( $p=0,01$ ) und nicht bei den Mädchen nachweisbar ( $p=n.s.$ ).

Signifikante Werte ergaben sich auch bei der Berechnung der „Fehler 2-Differenz“ (Differenz der Fehlerhäufigkeit der Minuten 1-5 und 6-10) im visuellen Vigilanztests. Auch hier zeigen sich die signifikanten ( $p=0,031$ ) altersabhängigen Unterschiede nur bei den Jungen (Fehleranzahl 13 Jahre: Minuten 1-5: 2,5, Minuten 6-10: 0,8; und 15 Jahre: Minuten 1-5: 0,7 und Minuten 6-10: 0,5) und nicht bei den Mädchen ( $p=n.s.$ ).

Der Test zur akustischen Vigilanz ergab eine Tendenz im Altersvergleich für die Differenz der Fehler 1.Ordnung, die 13-jährigen wiesen tendenziell mehr Fehler im Testverlauf auf.

Die Abbildungen 8a und 8b zeigen die Ergebnisse der mittleren Reaktionszeiten anhand einer grafischen Darstellung. Es soll der Unterschied zwischen den Altersstufen im optischen Vigilanztest bei den Jungen (signifikant) im Gegensatz zu den Mädchen (nicht signifikant) verdeutlicht werden. Im Vergleich zum optischen Test war im akustischen Teil kein signifikanter Altersunterschied nachweisbar. Zur Verdeutlichung wurde er graphisch mit einbezogen.



X-Achse: Anzahl der Probanden

Y-Achse: Differenz der Reaktionszeiten von Minute 6-10 und Minute 1-5

**Abbildung 8a:** Boxplots der mittleren Reaktionszeiten der Testvariablen akustische und optische Vigilanz. Der Altersvergleich männlich 13 Jahre gegen männlich 15 Jahre zeigt für den visuellen Vigilanztest eine Signifikanz mit  $p = .01$

**Abbildung 8b:** Boxplots der mittleren Reaktionszeiten der Testvariablen akustische und optische Vigilanz. Der Altersvergleich weiblich 13 Jahre gegen weiblich 15 Jahre zeigt im Gegensatz zur Abbildung 8a keinen signifikanten Altersunterschied für den visuellen Vigilanztest.

## 4.2 Geschlechtsvergleich

Die folgenden Tabellen geben die gemittelten Messparameter der einzelnen Testvariablen mit den errechneten p-Werten an. Die ersten zwei Spalten enthalten die Werte für den altersunabhängigen Vergleich zwischen Mädchen und Jungen.

### Alertness

Tabelle 9 zeigt die Messdaten und p-Werte der Testvariablen zur Alertness im Vergleich männlich (M) gegen weiblich (W).

	GESCHLECHT		p =
	M	W	
Alertness optisch	4,4	20,7	**0,068
Reaktionszeit-Differenz			

\* = Signifikanz < .050; \*\* = Tendenz > .050 und < .100; n.s. = nicht signifikant

Der Vergleich von Jungen und Mädchen ergab für die Aufmerksamkeitsleistung der Alertness unter dem Parameter der Reaktionszeit-Differenz (Differenz tonischer zur phasischer Alertness als Maß für die Leistungssteigerung unter physischen Bedingungen) eine tendenziell stärkere Leistungsverbesserung der Mädchen unter der Testbedingung mit Warnton (phasisch). Allerdings waren die Reaktionszeiten sowohl der 13- als auch der 15 Jährigen Mädchen unter der Bedingung ohne Warnton langsamer als die der Jungen (männlich 13 Jahre 264,2msec, 15 Jahre 266,0msec, weiblich 13 Jahre: 286,5msec und 15 Jahre 284,3msec), unter der Bedingung mit Warnton näherten sich die Reaktionszeiten von Mädchen und Jungen weitgehend einander an (männlich 13 Jahre 260,8msec, 15 Jahre 260,5msec, weiblich 13 Jahre 269,9msec und 15 Jahre 258,4msec).

### Selektive Aufmerksamkeit

Tabelle 10 zeigt die Messdaten und p-Werte der Testvariablen zur selektiven Aufmerksamkeit im Vergleich männlich (M) gegen weiblich (W).

	GESCHLECHT		p =	13 JAHRE		p =	15 JAHRE		p =
	M	W		M	W		M	W	
Selektive Aufm. optisch Reaktionszeit	923	950	n.s.	1001	993	n.s.	845	894	n.s.
Selektive Aufm. Optisch Fehler1	1,5	1,3	n.s.	1,6	1,3	n.s.	1,3	1,3	n.s.
Selektive Aufm. Optisch Fehler2	1,0	0,9	n.s.	1,1	1,2	n.s.	0,9	0,4	n.s.
Selektive Aufm. akustisch Reaktionszeit	512	542	n.s.	510	544	n.s.	514	539	n.s.
Selektive Aufm. akustisch Fehler1	0,6	0,3	n.s.	0,3	0,3	n.s.	0,8	0,1	n.s.
Selektive Aufm. akustisch Fehler2	0,8	0,5	n.s.	0,6	0,8	n.s.	0,9	0,1	n.s.

\* = Signifikanz < .050; \*\* = Tendenz > .050 und < .100; n.s. = nicht signifikant

Der Vergleich für die Aufgabe zur selektiven Aufmerksamkeit zeigte keine signifikanten oder tendenziellen Geschlechtsunterschiede. Bis auf die Reaktionszeit der 13-jährigen Jungen im visuellen Test zur selektiven Aufmerksamkeit zeigen sich schnellere Reaktionszeiten bei den Jungen als bei den Mädchen.

### Geteilte Aufmerksamkeit

Tabelle 12 zeigt die Messdaten und p-Werte der Testvariablen zur geteilten Aufmerksamkeit im Vergleich männlich (M) gegen weiblich (W).

	GESCHLECHT		p =
	M	W	
geteilte Aufm. optisch Reaktionszeit-Differenz	-47,0	-42,9	n.s.
geteilte Aufm. optisch Fehler-Differenz	-0,2	0,4	n.s.
geteilte Aufm. akustisch Reaktionszeit-Differenz	54,2	57,6	n.s.
geteilte Aufm. akustisch Fehler-Differenz	0,0	0,2	n.s.

\* = Signifikanz < .050; \*\* = Tendenz > .050 und < .100; n.s. = nicht signifikant

Zur Untersuchung der Aufmerksamkeitsleistung für geteilte Aufmerksamkeit wurden die Reaktionszeiten und die Fehlerhäufigkeiten der Einzeldurchgänge (visuell oder akustisch) von den Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten der Durchgänge mit beiden Reizen abgezogen. Die so entstandenen Differenzen (Reaktionszeit-Differenz und Fehler-Differenz) stehen für ein Maß für die Leistung bei geteilter Aufmerksamkeit.

Die Untersuchung zum Geschlechtervergleich bei der Testvariable zur geteilten Aufmerksamkeit ergab keinen signifikanten Geschlechtsunterschied.

## Vigilanz

Tabelle 11 zeigt die Messdaten und p-Werte der Testvariablen zur Vigilanz im Vergleich männlich (M) gegen weiblich (W).

	GESCHLECHT		p =
	M	W	
Vigilanz optisch	36,4	34,7	n.s.
Reaktionszeit-Differenz			
Vigilanz optisch	0,8	0,3	n.s.
Fehler1-Differenz			
Vigilanz optisch	-0,9	-0,3	n.s.
Fehler2-Differenz			
Vigilanz akustisch	38,7	29,6	n.s.
Reaktionszeit-Differenz			
Vigilanz akustisch	0,4	0,2	n.s.
Fehler1-Differenz			
Vigilanz akustisch	-0,1	-0,1	n.s.
Fehler2-Differenz			

\* = Signifikanz < .050; \*\* = Tendenz > .050 und < .100; n.s. = nicht signifikant

Zur Analyse der längerfristigen Aufmerksamkeit wurden die Reaktionszeiten (in msec) und Fehlerhäufigkeiten der ersten 5 Minuten von den Reaktionszeiten und der Fehleranzahl der letzten fünf Minuten subtrahiert. Dadurch kann die mit der Zeit abnehmende Aufmerksamkeitsleistung nach ihrem Maß untersucht werden (Reaktionszeit-Differenz, Fehler-Differenz). Treten in der zweiten Hälfte (Minuten 6-10) weniger Fehler auf als in der ersten Hälfte, können negative Werte entstehen.

Der Geschlechtervergleich für die Aufmerksamkeitsleistung der Vigilanz ergab keinen signifikanten oder tendenziellen Geschlechtsunterschied für die Werte der mittleren Reaktionszeiten und der Fehlerhäufigkeiten.

### 4.3 Intelligenzkorrelation

Tabelle 14 zeigt die Korrelationsberechnungen zwischen den einzelnen Messvariablen aller Untertests und den ermittelten IQ- Punkten der Probanden. Die Intelligenzwerte lagen insgesamt zwischen 88 und 124 Punkten.

	KORRELATION	p
<b>Alertness</b>		
Alertness optisch, Reaktionszeit-Differenz	-0,03	n.s.
<b>Selektive Aufmerksamkeit</b>		
Selektive Aufmerksamkeit optisch, Reaktionszeit	-0,10	n.s.
Selektive Aufmerksamkeit akustisch, Reaktionszeit	0,02	n.s.
<b>geteilte Aufmerksamkeit</b>		
geteilte Aufm. optisch Reaktionszeit-Differenz	0,25	n.s.
geteilte Aufm. akustisch Reaktionszeit-Differenz	-0,21	n.s.
<b>Vigilanz</b>		
Vigilanz optisch Reaktionszeit-Differenz	0,19	n.s.
Vigilanz akustisch, Reaktionszeit-Differenz	-0,26	n.s.

\* = Signifikanz < .050; \*\* = Tendenz > .050 und < .100; n.s. = nicht signifikant

Die Untersuchung zur Korrelation von Intelligenz und Aufmerksamkeitsleistungen hat für keinen der getesteten Aufmerksamkeitsaspekte signifikante Zusammenhänge ergeben. Auch die nicht aufgeführten Berechnungen der Fehlerhäufigkeiten (Fehler1, 2) waren unauffällig.

#### **4.4 Korrelation mit dem Fragebogen CBCL**

Es sind keine signifikanten oder tendenziellen Korrelationen der Testvariablen mit den Werten des Elternfragebogens CBCL aufgetreten. Weder der Gesamtwert des Fragebogens, noch der Verhaltensaspekt VI für Aufmerksamkeitsprobleme, ergaben für die einzelnen Aufmerksamkeitsleistungen entscheidende Zusammenhänge.

#### **4.5 Korrelationen der Testergebnisse zwischen den einzelnen Aufmerksamkeitsfunktionen**

Die Untersuchung der Korrelation zwischen den Einzelfunktionen gibt Hinweise darauf, wieweit einzelne Testparadigmen von einander unabhängige Aufmerksamkeitsfunktionen prüfen (an dieser Stelle sei noch einmal auf die faktorielle Validität der TAP-Ergebnisse hingewiesen, die durch Faktorenanalyse ermittelt wurde). Schneidet ein Kind in einem Test besonders gut ab, in einem anderen dagegen nicht, ist das ein Hinweis darauf, dass getrennte Funktionen getestet werden. Wenn Kinder aber in verschiedenen Tests im Verhältnis gleich gut oder gleich schlecht abschneiden, liegt der Verdacht nahe, dass die Funktionen nicht unabhängig voneinander arbeiten. Es wurden die Ergebnisse des Subtests tonische Alertness mit den Ergebnissen aus den Tests zur Vigilanz, geteilten und selektiven Aufmerksamkeit anhand der mittleren Reaktionszeiten aus der Testbatterie TAP korreliert. Durch den Vergleich der visuellen und akustischen Komponenten wurde zusätzlich die Unabhängigkeit dieser sensorischen Modalitäten untersucht.

### Korrelation zwischen den Aufmerksamkeitsfunktionen

Tabelle 15 zeigt die Korrelationen der mittleren Reaktionszeiten zwischen den Tests der verschiedenen Aufmerksamkeitsaspekte.

	Korrelation	p
<b>Variablen optisch</b>		
Alertness Reaktionszeit mit selektiver Aufmerksamkeit Reaktionszeit	0,33	n.s.
Alertness Reaktionszeit mit geteilter Aufmerksamkeit Reaktionszeit-Differenz	-0,10	n.s.
Alertness Reaktionszeit mit Vigilanz Reaktionszeit-Differenz	0,21	n.s.
<b>Variablen akustisch</b>		
Alertness Reaktionszeit mit selektiver Aufmerksamkeit Reaktionszeit	0,12	n.s.
Alertness Reaktionszeit mit geteilter Aufmerksamkeit Reaktionszeit-Differenz	0,08	n.s.
Alertness Reaktionszeit mit Vigilanz Reaktionszeit-Differenz	0,07	n.s.

\* = Signifikanz < .050; \*\* = Tendenz > .050 und < .100; n.s. = nicht signifikant

Es fanden sich keine signifikanten Korrelationen zwischen der Funktion tonische Alertness mit den Funktionen selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz.

### Korrelation der visuellen und akustischen Komponenten

Die Tabelle 16 zeigt die Korrelation zwischen den Modalitäten optisch und akustisch der einzelnen Testvariablen.

	Korrelation	p
Selektive Aufm. optisch mit selektiver Aufm. akustisch Reaktionszeit	-0,232	n.s.
geteilte Aufm. optisch mit geteilter Aufm. akustisch Reaktionszeit-Differenz	0,037	n.s.
Vigilanz optisch mit Vigilanz akustisch Reaktionszeit-Differenz	0,013	n.s.

= Signifikanz < .050; \*\* = Tendenz > .050 und < .100; n.s. = nicht signifikant

Sowohl für die Testvariable selektive Aufmerksamkeit, als auch für die Variablen geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz lässt sich keine relevante Korrelation zwischen den visuellen und akustischen Komponenten nachweisen.

#### 4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung TAP der untersuchten 13 und 15 Jährigen Jugendlichen wurden bezüglich Altersentwicklung, Geschlechtsunterschiede, einer möglichen Verbindung mit Intelligenz (gemessen mit einem IQ Teilttest), und mit einem Fragebogen über mögliche Verhaltensauffälligkeiten (Elternfragebogen CBCL) analysiert.

Im Altersvergleich 13 gegen 15 Jahre zeigten die 15-jährigen Jungen zum Teil bessere Leistungen für die Variablen selektive Aufmerksamkeit (schnellere Reaktionszeit im visuellen Teilttest) und Vigilanz (schnellere Reaktionszeiten und weniger Fehler 2.Ordnung im visuellen Teilttest), was sich auch im nicht geschlechtsgetrenntem Altersvergleich niederschlug.

Ferner fanden sich bei den 15 Jährigen Jugendlichen im akustischen Vigilanztest weniger Fehler 1.Ordnung als bei den Jüngeren. Bei nach Geschlechtern getrennter Altersuntersuchung fiel dieser Unterschied jedoch weder in der Gruppe der Mädchen, noch in der der Jungen auf.

Die 15 Jahre alten Mädchen waren in keinem Test besser als die 13 Jährigen.

Im Gegensatz zu den besseren Ergebnissen der Jungen in den genannten Variablen selektive Aufmerksamkeit und Vigilanz, lag die mittlere Reaktionszeit der 15 Jährigen männlichen Probanden im akustischen Teil des Tests zur geteilten Aufmerksamkeit unter der der 13 Jährigen.

Während die Variable Alertness im Altersvergleich 13 gegen 15 Jahre keinen relevanten Unterschied aufwies, fand sich für dieses Paradigma ein Geschlechtsunterschied, indem bei den Jungen eine schnellere Reaktionszeit in der Durchführung ohne Warnton (tonische Alertness) auffiel, wogegen sich die mittleren Reaktionszeiten unter phasischer Bedingung, in etwa entsprachen. Die Untertests selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz ergaben rechnerisch keinen Unterschied zwischen den Leistungen der Mädchen und der Jungen.

Die Suche nach einer Verbindung zwischen den Leistungen zur allgemeinen Intelligenz und den Funktionen der Aufmerksamkeit konnte keinen Zusammenhang aufzeigen. Ebenso wenig ergab sich eine Abhängigkeit zwischen den Werten des CBCL-Tests zur Erfassung von Verhaltensauffälligkeiten und den Ergebnissen der Aufmerksamkeitsprüfungen.

Im Modalitätsvergleich akustische gegen visuelle Funktionen war bei den Paradigmen Vigilanz und geteilte Aufmerksamkeit kein Unterschied nachweisbar.

Eine Unabhängigkeit zwischen den einzelnen Aufmerksamkeitsleistungen konnte zwischen allen getesteten Funktionen nachgewiesen werden.

## 5 Diskussion

**Einleitung.** Inhalt der Arbeit war es, den normalen Entwicklungsverlauf von Aufmerksamkeitsleistungen im Alter von 13 und 15 Jahren zu analysieren. Um einen ausführlichen Überblick über die Fähigkeiten der Jugendlichen zu gewinnen, wurden, beruhend auf modernen Aufmerksamkeitstheorien, verschiedene Aufmerksamkeitsleistungsteilleistungen (Alertness, selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz) untersucht.

Dafür wurden 40 gesunde 13 und 15 Jährige Jugendliche zum einen mit Hilfe des Elternfragebogens CBCL (Child Behavior Checklist) ausgewählt. Dieser dient zum Ausschluss eventueller Verhaltensauffälligkeiten und beinhaltet Fragen über sozialen Rückzug, körperliche Beschwerden, Angst und Depressivität, soziale Probleme, schizoid-zwanghaftes Denken, Aufmerksamkeitsprobleme, delinquentes und aggressives Verhalten. Zum anderen wurde ein Teil des Intelligenztests CFT 20 Teil 1 ausgewählt. Es wurden Probanden mit einem Intelligenzkoeffizienten höher oder gleich 85 Punkten für die Studie eingeschlossen.

Die Untersuchung der Aufmerksamkeitsleistungen der Probanden erfolgte mit der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung „TAP“. Durch unterschiedliche Reiz-Reaktionsaufgaben zu den vier Aufmerksamkeitsfunktionen konnte das jeweilige Leistungsniveau getestet werden.

Die Auswahl unterschiedlicher Paradigmen von Aufmerksamkeitsfunktionen beruht auf aktuell gültigen Theorien, die besagen, dass Aufmerksamkeit nicht eine einzelne Entität darstellt, sondern aus verschiedenen Teilleistungen besteht (Posner und Petersen 1990, van der Meere 1996). Dies konnte bereits mehrfach bei Erwachsenen und Kindern bestätigt werden (Zimmermann und Fimm 1989, Kunert et al. 1996, Földenyi et al. 1999, Rebok et al. 1997, Mirsky et al. 1991). Um festzustellen, ob dieses Modell auch bei Jugendlichen Gültigkeit hat, wurden die getesteten Variablen Alertness, selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz in dieser Arbeit auf ihre Unabhängigkeit überprüft.

Ein wesentliches Ziel der Untersuchung war es festzustellen, ob sich die Leistungen der 15 Jährigen im Vergleich zu der der 13 Jährigen noch steigern. In bisherigen Studien wurde häufig das Alter zwischen 13 und 15 Jahren vernachlässigt, es gibt jedoch Hinweise darauf, dass sich irgendwann im Jugendalter ein Entwicklungsplateau und damit Erwachseneniveau einstellt (Rebok et al. 1997, Kunert et al. 1996, Greenberg und Waldman 1993, Lin et al. 1999). Ferner sollte geklärt werden, ob das Geschlecht und die Intelligenz auf die getesteten Aufmerksamkeitsleistungen Einfluss nehmen. Bisher konnte noch kein eindeutiger Zusammenhang gezeigt werden, Ergebnisse unterschiedlicher Studien differierten zum Teil deutlich (Kunert et al. 1996, Rebok et al. 1997, Pascualvaca et al. 1997, Földenyi et al. 1999).

Schließlich konnte bei den Untertests zur Vigilanz und zur geteilten Aufmerksamkeit nach einem Modalitätsunterschied zwischen den Leistungen unter visuellen und akustischen Bedingungen gesucht werden.

Die Testergebnisse wurden in Tabellen übertragen, sodass sie als Vergleichswerte gesunder Jugendlicher mit 13 und 15 Jahren helfen können Aufmerksamkeitsdefizite bei Erkrankten zu identifizieren.

**Korrelation der Aufmerksamkeitsfunktionen untereinander.** Die Suche nach einer Korrelation zwischen den verschiedenen Aufmerksamkeitsteilfunktionen der TAP zeigte, dass die Untertests Alertness, selektive und geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz voneinander unabhängig sind. In Übereinstimmung mit diesem Befund, gehen Untersuchungen der letzten Jahre davon aus, dass Aufmerksamkeit nicht als eine einzige Funktion angesehen werden kann, sondern dass einzelne, sowohl anatomisch als auch neuropsychologisch getrennte Teilfunktionen nachweisbar sind.

Entsprechend der Vielfalt der Aufmerksamkeitsleistungen geht das Modell der neuronalen Netzwerke davon aus, dass die beteiligten Hirnstrukturen in unterschiedlichen kortikalen und subkortikalen Bereichen lokalisiert sind, die wiederum durch neurochemische Substanzen ein weit verbreitetes Netzwerk bilden (Mesulam 1990, Posner und Peterson 1990, Gitelman et al 1999, Recanzone und Wurz 2000). Ein weiteres Modell, das der Informationsverarbeitung, ordnet dem linearen Prozess der Reiz-Reaktionskette (Reizaufnahme, Reizanalyse, Antwortselektion, motorische Reaktion) ein energetisches System über. Dieses beinhaltet unterschiedliche Wachheitszustände, wie die phasische (stimulusabhängige) und tonische (stimulusunabhängige) Wachheit. Darüber stehend werden noch eine motivationale und eine, das gesamte System evaluierende Ebene beschrieben (Mulder 1983, van der Meere 1996, Sanders 1983).

Auf der anderen Seite konnten anhand von Faktorenanalysen insbesondere durch die Studien von Mirsky und Mitarbeitern (1991), Kunert und Mitarbeitern (1996) sowie Földenyi und Mitarbeitern (1999) voneinander unabhängige Aufmerksamkeitsteilleistungen identifiziert werden. Diese entsprechen zum Teil der praxisbezogenen Einteilung, die sich für die klinische Diagnostik etabliert hat. Sie unterscheidet die Aufmerksamkeitsleistungen Alertness, selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz (Keller und Grömminger 1993, Sturm 1997) und entspricht damit den Ergebnissen dieser Studie, wonach die Unabhängigkeit eben dieser Variablen auch bei Jugendlichen anhand der Testbatterie TAP bestätigt werden konnte.

**Alterseffekt.** Nachdem in dieser Arbeit auch für das Alter 13 und 15 Jahre die Unabhängigkeit der Teilleistungen Alertness, selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz

nachgewiesen werden konnte, muss die Frage nach der Altersentwicklung für jede Teilfunktion getrennt gestellt werden.

Während Untersuchungen zum Entwicklungsverlauf der Alertness bei Kindern eine Leistungssteigerung insbesondere bis zum 10. Lebensjahr nachweisen konnten (Földenyi et al. 1999), zeigten Kunert und Mitarbeiter zum einen eine geringe Verbesserung zwischen dem 9.-12. Lebensjahr und zum anderen eine deutlichere Leistungssteigerung zwischen der Gruppe der 9-12-jährigen und einer Gruppe Jugendlicher mit 15-20 Jahren. Da diese Leistungssteigerung zwischen den Jugendlichen und einer Gruppe Erwachsener (20-25 Jahre) kaum mehr nachweisbar war, gingen die Autoren von einem Entwicklungsplateau um das 13. bis 15. Lebensjahr für die Funktion der Alertness aus. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sprechen für ein im Jugendalter frühes Leistungsmaximum bei Aufgaben zur Alertness, da zwischen den Altersgruppen der 13 und 15 Jahre alten Jugendlichen kein signifikanter Unterschied mehr nachgewiesen werden konnte.

Untersuchungen, die Funktionen zur selektiven Aufmerksamkeit testen, können sich sehr voneinander unterscheiden. Dies muss bei dem Vergleich von unterschiedlichen Studien berücksichtigt werden. Ein Untertest zur selektiven Aufmerksamkeit ließ nach Kunert et al. (1996), ähnlich dem Test zur Alertness, erneut einen Entwicklungshöhepunkt zwischen 13 und 15 Jahren erwarten. Während sich die Leistungen der 9-12 Jährigen nur leicht verbesserten und die 12 Jährigen zum Teil sogar schlechtere Ergebnisse erzielten als die 11 Jährigen, war eine deutliche Steigerung der mittleren Reaktionszeiten im Vergleich mit der Gruppe Jugendlicher (15-20 Jahre) nachweisbar. Die Leistungen der Jugendlichen entsprachen in etwa denen der Erwachsenen (21-25 Jahre). Die vorliegende Untersuchung kann die Vermutung eines Entwicklungshöhepunktes für selektive Aufmerksamkeit im Jugendalter zum Teil unterstützen und die Lücke zwischen 13 und 15 Jahren ergänzen. Es konnte eine signifikante Leistungssteigerung von 13 bis 15 Jahren für den visuellen Test zur selektiven Aufmerksamkeit (mittlere Reaktionszeit) nachgewiesen werden. Sowohl Rebok et al. (1997), als auch Földenyi et al. (1999) fanden zwar zur Entwicklung der selektiven Aufmerksamkeit eine deutliche Leistungssteigerung bei Kindern im Bereich von 8-10, bzw. 6-10 Jahren, allerdings wurde das kritische Alter der Jugendlichen nicht getestet.

Über die Entwicklung von geteilter Aufmerksamkeit liegen kaum Ergebnisse vor. Bei Kindern konnten Földenyi et al. (1999) bis zum Alter von 10 Jahren eine Leistungssteigerung feststellen. Während wir in den Aufgaben zur geteilten Aufmerksamkeit keinen Altersunterschied zwischen den 13 und 15 Jährigen mehr feststellen konnten, kamen Kunert et al. (1996) zu dem Ergebnis, dass eine Verbesserung der Leistung noch bis in die Gruppe der 15 bis 20 Jährigen stattfindet, sich diese aber in der Gruppe der Erwachsenen nicht mehr zeigt. Hier widersprechen sich die wenigen Daten, sodass es weiterer Untersuchungen bedarf.

Auch für die Untersuchung von Vigilanz existieren viele unterschiedliche Testverfahren, die einen direkten Datenvergleich erschweren. Rebok et al. (1997) untersuchten die Vigilanz mit Probanden im Alter von 8, 10 und 13 Jahren. Im visuellen Vigilanztest wurden alle Altersstufen getestet, im akustischen Teil nur die 10 und 13 Jährigen. Es ergaben sich durchgehend für die älteren Kinder bessere Reaktionszeiten. An diese Studie konnten wir mit den Ergebnissen der 13 und 15 Jährigen direkt anschließen. Es fand sich eine weitere Leistungssteigerung bis zum 15. Lebensjahr. Sie zeigte sich jedoch modalitätsabhängig, da nur bei visueller Vigilanz ein deutlicher Alterseinfluss auf die Reaktionszeit und den Fehler 2.Ordnung vorlag, nicht jedoch in der akustischen Testung. Andere Studien fanden ebenfalls einen Unterschied zwischen visueller und akustischer Vigilanz. Földenyi et al. (1999) konnten bereits bei Kindern zwischen 6-10 Jahren im visuellen Vigilanztest keine signifikante Leistungssteigerung mehr nachweisen, wohingegen sich die Leistungen im akustischen Test bis zum 10. Lebensjahr verbesserten. Entgegen unseren Ergebnissen schreiben einige Autoren der Entwicklung der akustischen Vigilanz einen längeren Entwicklungsverlauf zu, als der visuellen (Cornblatt et al., 1988, Rebok et al., 1997). Eine fundierte Erklärung des Modalitätsunterschieds lässt sich in der aktuellen Literatur nicht finden. Eine Ursache für die widersprüchlichen Ergebnisse mag vielleicht auch in der verstärkten individuellen Variabilität von Jugendlichen liegen, die sich möglicherweise insbesondere bei Aufgaben zur Vigilanz zeigen, da diese ein hohes Maß an Motivation fordern.

Zusammenfassend lässt sich im Altersvergleich 13 gegen 15 Jahre vermuten, dass Jugendliche bei selektiver Aufmerksamkeit und Vigilanz erst später ihren Entwicklungshöhepunkt erreichen als bei den Teilleistungen Alertness und geteilte Aufmerksamkeit.

Untersuchungen zur Verbindung zwischen allgemeiner kognitiver Entwicklung und morphologischer Hirnentwicklung konnten so genannte Wachstumsperioden in der strukturellen Entwicklung des Gehirns nachweisen. Eine verstärkte morphologische Wandlung des Gehirns scheint demnach in den Alterstufen von 7, 11-12, und 15 Jahren nachweisbar zu sein. Viele Autoren stellen eine mögliche Verbindung zwischen den strukturellen Wachstumsperioden und dem kognitiven Entwicklungsmodell von Piaget her (Thatcher et al. 1987, Epstein 1986, Kolb und Whishaw 1996). Dies könnte einen Erklärungsansatz dafür bieten, dass Aufmerksamkeitsfunktionen teilweise im Kindesalter eine deutliche Entwicklung zeigen, diese dann etwas stagniert, und im Jugendalter erneut aktiv wird, um anschließend Erwachseneniveau zu erreichen. So können Aufmerksamkeitsfunktionen zum Teil noch eine Entwicklung bis zum 15. Lebensjahr und eventuell darüber hinaus durchlaufen. Warum jedoch einzelne Funktionen wie selektive Aufmerksamkeit und Vigilanz möglicherweise einen längeren Entwicklungsverlauf zeigen als Alertness und geteilte Aufmerksamkeit, kann dadurch nicht erklärt werden. Es bestätigen sich jedoch erste Hinweise auf teilleistungsabhängige Entwicklungsverläufe, sodass weitere prospektive Untersuchungen hieran anknüpfen könnten.

**Geschlechtervergleich.** Es konnte in dieser Arbeit bisher ein Altersunterschied für die Funktionen der selektiven Aufmerksamkeit und der Vigilanz beobachtet werden. Jedoch fiel bei genauerer Betrachtung die Leistungssteigerung der 15 Jährigen nur bei den Jungen signifikant aus. Die Ergebnisse sprechen somit dafür, dass bei Jungen zwischen 13 und 15 Jahren im Gegensatz zu den Mädchen teilweise noch eine Entwicklung stattfindet. Dieses Ergebnis wird durch EEG-Untersuchungen von Anokhin et al. (2000) unterstützt. Sie konnten in drei unterschiedlichen Altersgruppen (7 Jahre, 14 Jahre und 16 Jahre) bei räumlich-visuellen und bei sprachlichen Aufgaben feststellen, dass Jungen im Alter von 14 und 16 Jahren eine langsamere Entwicklung zeigen als gleichaltrige Mädchen.

Sowohl vom frühen Kindesalter, als auch von der weiteren Entwicklung sind Unterschiede in kognitiven Funktionen zwischen dem männlichen und dem weiblichen Geschlecht bekannt, die jedoch von der Gesamtintelligenz unabhängig sind (Kimura 1992, Spreen, Risser und Edgell 1995). Dazu gehören zum Beispiel ein besseres räumliches Vorstellungsvermögen und eine bessere räumliche Orientierung bei Männern, wohingegen Frauen eine allgemein höhere Wahrnehmungsgeschwindigkeit und verbale Gewandtheit besitzen.

Untersuchungen, die sich mit Geschlechtsunterschieden bei Aufmerksamkeitsleistungen befassten, konnten zum Beispiel nachweisen, dass Jungen im Alter von 6-10 Jahren für einige Teilleistungen (Alertness, selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz) schnellere Reaktionen zeigten als die Mädchen (Földenyi et al. 1999). Durch zu vorschnelles Handeln unterliefen den Jungen aber auch mehr Fehler. Die Beobachtung, dass Jungen schneller reagieren und dabei mehr Fehler machen, lässt sich ansatzweise mit dem kognitiven Stil der Impulsivität erklären. Die von Kogan 1964 aufgestellte Impulsivitäts-Reflexivitäts-Theorie besagt, dass reaktionsschnelle und fehlerreiche Probanden als impulsiv (vermehrt Jungen), die langsam, aber fehlerarm vorgehenden (vermehrt Mädchen) als reflexiv bezeichnet werden können. Kunert et al (1996) konnten ebenfalls für die Jungen schnellere Reaktionszeiten nachweisen. Jedoch galt dies nur für den Untertest Alertness. Sowohl Kunert et al., als auch Pascualvaca et al. (1999) fanden wiederum bei der Aufgabe zur selektiven Aufmerksamkeit kürzere Reaktionszeiten bei Mädchen. Für die Aufmerksamkeitsleistung der Vigilanz fanden sowohl Rebok et al. (1997) einen durchgehend signifikanten Geschlechtsunterschied mit schnelleren Reaktionszeiten der Jungen bis zum 13. Lebensjahr, als auch Pascualvaca et al. (1997) bei 7 und 8 Jährigen Kindern.

Földenyi et al. (1999) äußerten die Vermutung, dass die Geschlechtsunterschiede mit zunehmendem Alter weniger auftreten. Durch die bisher unterschiedlichen und unvollständigen Ergebnisse kann der Verdacht an dieser Stelle nicht untermauert werden.

Ein entwicklungspsychologischer Erklärungsansatz für eine im Jugendalter verstärkte Variabilität kognitiver Funktionen gründet in der Vorstellung, dass bestehende individuelle Unterschiede, z.B. durch das Geschlecht, in den Zeiten stabil sind, in denen sich das Leistungsniveau nur wenig ändert. In Zeiten des raschen Wandels, also auch in der Adoleszenz, vergrößert sich jedoch die Variabilität je nach Anregungsgrad durch die Umwelt und neuen hormonellen und genetischen Schüben (Fend 2001). So ist es nahe liegend anzunehmen, dass unterschiedliche Wachstumsgeschwindigkeiten auch mit unterschiedlicher Entwicklung in kognitiven Funktionen einhergeht. Entsprechend geben die Ergebnisse dieser Studie Hinweise darauf, dass bei Jugendlichen mit 13 Jahren größere Geschlechtsunterschiede vorliegen, als im Alter von 15 Jahren und sich Mädchen in einigen Funktionen schneller entwickeln (Földenyi et al. 1999).

Auch wenn Fend (2001) parallel zur biologischen Differenzierung von Jungen und Mädchen in der Pubertät keine verstärkte Aktivierung des Geschlechtsunterschieds in der kognitiven Funktionen des räumlichen Denkens nachweisen konnte, muss der Frage nach möglichen Hinweisen auf geschlechtsspezifische Wachstumsspurts mit entsprechend unterschiedlichen kognitiven Entwicklungsphasen von Aufmerksamkeitsleistungen im Jugendalter weiter nachgegangen werden.

**Intelligenzkorrelation.** Kunert et al. (1996) konnten für die Teilleistungen der selektiven Aufmerksamkeit und der Vigilanz einen signifikanten Zusammenhang mit den Ergebnissen aus Intelligenzaufgaben feststellen, wohingegen für die Aufgaben der Alertness und der geteilten Aufmerksamkeit keine Abhängigkeit bestand. Im Vergleich dazu stellten wir bei keiner der Aufmerksamkeitsleistungen, also auch nicht bei selektiver Aufmerksamkeit und Vigilanz, eine Verbindung mit allgemeiner Intelligenz fest.

Obwohl Untersuchungen und Ergebnisse zur Korrelation von Hirnvolumen und Intelligenz umstritten sind (Egan et al. 1994), konnten Reiss et al. (1996) sowie Wickett et al. (1994) eine Hirnvolumenzunahme mit steigendem Intelligenzquotienten bei gesunden Versuchspersonen nachweisen. Das Ergebnis der Studie von Reiss et al. ist von Bedeutung, da hier eine Differenzierung der Hirnstrukturen vorgenommen wurde, die für Intelligenzfunktionen zuständig sein sollen. Der größte prozentuale Anteil wird nach ihren Ergebnissen vom präfrontalen Kortex getragen. Diesem werden höhere kognitive Funktionen zugesprochen, wie Arbeitsgedächtnis, Inhibition und so genannte exekutive Funktionen, zu denen komplexere Aufmerksamkeitsleistungen zählen (Reiss et al. 1996, Spreen et al. 1995, Mirsky et al. 1991, Posner und Petersen 1990).

Hinweise darauf, dass Aufmerksamkeitsfunktionen, die auch von präfrontalen Arealen abhängig sind, eine engere Verknüpfung mit Intelligenzfunktionen aufweisen, ergeben sich durch weitere neuroanatomische Untersuchungen. Der präfrontale Kortex ist neben der Ausführung von

exekutiven Funktionen durch seinen dorsolateralen Anteil, auch bei selektiver Aufmerksamkeit, Vigilanz und geteilter Aufmerksamkeit beteiligt, wohingegen die Funktion Alertness primär subkortikalen Strukturen zugeordnet wird (Sturm 1997, Birbaumer und Schmidt 1995, 1996, Prosiegel und Paulig 2002, Ortuno et al. 2002, Kolb und Wishaw 1996, Baas et al. 2002, Corbetta et al. 1993, Pardo et al. 1991, Beauchamp et al. 2001, Pardo et al. 1991).

Kunert et al. (1996) konnten demnach zwar für selektive Aufmerksamkeit und Vigilanz eine Verbindung mit Intelligenzleistungen nachweisen, nicht jedoch für geteilte Aufmerksamkeit, die ebenfalls zu einer Aktivität frontaler Hirnbereiche führt. Unsere Ergebnisse ergaben für keine Funktion einen Zusammenhang, sodass insgesamt über die Verbindung mit den genannten Aufmerksamkeitsleistungen keine sichere Aussage getroffen werden kann, auch wenn sich zusammenfassend zumindest der Verdacht ergibt, dass aufgrund der neuroanatomischen Lage insbesondere exekutive Aufmerksamkeitsleistungen stärker mit dem Intelligenzquotienten korrelieren als einfache Aufmerksamkeitsleistungen. Die Frage muss an dieser Stelle offen bleiben und bedarf weiterer Studien.

## 6 Zusammenfassung

Die kognitive Funktion der Aufmerksamkeit wird anhand aktuell gültiger Theorien als Überbegriff für mehrere Aufmerksamkeits-Teilleistungen angesehen. Unter der Annahme voneinander unabhängiger Funktionen besteht die Möglichkeit einer funktionsspezifischen Entwicklung im Kindes- und Jugendalter. Bisher konnten Studien zur Entwicklung von Aufmerksamkeitsfunktionen im Jugendalter jedoch nur unzureichend klären in welchem Alter für die verschiedenen Aufmerksamkeitsfunktionen noch Entwicklungspotentiale vorhanden sind. Die klinische Relevanz der Fragestellung, ab wann ein Entwicklungsmaximum erreicht wird, beruht auf der Tatsache, dass bei einer noch nicht abgeschlossenen Hirnentwicklung bei Kindern und Jugendlichen Hirnläsionen zum Teil besser kompensiert werden können als bei Erwachsenen. Das Wissen über den Zeitpunkt der Entwicklungsmaxima der verschiedenen Aufmerksamkeitsfunktionen ermöglicht somit eine bessere Einschätzung der therapeutischen Potentiale bei Aufmerksamkeitsstörungen.

Es war daher Ziel der vorliegenden Untersuchung die Entwicklungsverläufe der Aufmerksamkeitsfunktionen Alertness, selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz bei gesunden Jungen und Mädchen im Alter von 13 und 15 Jahren zu beobachten. Getestet wurden die Teilleistungen mit der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung „TAP“. Ausgewählt wurden die Jugendlichen mit Hilfe eines IQ-Teiltests sowie durch einen Fragebogen für die Eltern über eventuelle Verhaltensauffälligkeiten der Jugendlichen (CBCL).

In bisherigen Untersuchungen konnten durch unterschiedliche Testverfahren bei Kindern und Erwachsenen gezeigt werden, dass die Funktionen Alertness, selektive Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Vigilanz funktionell unabhängig sind. In der vorliegenden Untersuchung konnten diese Funktionen mit der Testbatterie TAP nun auch bei Jugendlichen als voneinander unabhängige Teilleistungen nachgewiesen werden. Dadurch konnte das Mehrkomponentenmodell der Aufmerksamkeitsfunktion erneut gefestigt werden.

In Anlehnung an die aktuelle Literatur, wonach ein Entwicklungsmaximum im frühen Jugendalter erwartet wird, stellten wir die Hypothese auf, dass kein entscheidender Altersunterschied zwischen 13 und 15 Jährigen mehr nachweisbar ist. Eine weitere Hypothese beruhte auf den Ergebnissen von mehreren Studien, die zu keinem einheitlichen Resultat bezüglich relevanter Geschlechtsunterschiede von Aufmerksamkeitsleistungen im Jugendalter kommen konnten.

Wir erwarteten daher keine Geschlechtsunterschiede zwischen den Leistungen der Mädchen und der Jungen.

Der Altersvergleich zeigte nun, dass die Jungen für die Funktionen der selektiven Aufmerksamkeit und der Vigilanz mit 15 Jahren signifikant bessere Ergebnisse zeigten als mit 13 Jahren. Die Leistungen in Alertness und geteilter Aufmerksamkeit unterschieden sich im Altersvergleich dagegen nicht. Bei den Mädchen ergab sich für keine der geprüften Teilleistungen ein Altersunterschied. Untersuchungen über die strukturelle und kognitive Gehirnentwicklung lassen Entwicklungsspielräume zum Teil noch bis über das 15. Lebensjahr hinaus zu, jedoch gibt es bisher keine Hinweise darauf, dass Jungen in bestimmten Teilleistungen erst später Erwachseneniveau erreichen als Mädchen, die in den getesteten Funktionen bereits mit 13 Jahren an ihr Leistungsmaximum herankommen. Zusammenfassend kann somit die Vermutung geäußert werden, dass teilweise noch ein Entwicklungspotential bei den 13 Jährigen Jungen vorhanden ist.

Im direkten Geschlechtervergleich der Ergebnisse zwischen den Jungen und Mädchen ergaben sich auf der anderen Seite keine signifikanten Geschlechtsunterschiede. Bisherige Arbeiten, die mögliche Zusammenhänge zwischen Geschlecht und Aufmerksamkeitsleistungen überprüft haben, kamen zu sehr inhomogenen Resultaten. Da meist unterschiedliche Testverfahren angewendet und hauptsächlich Kinder untersucht wurden, müssen weitere Studien über Geschlechtsunterschiede von Aufmerksamkeitsfunktionen im Jugendalter abgewartet werden.

Zusätzlich gingen wir der Frage über eine Verbindung zwischen Intelligenzleistungen und Aufmerksamkeitsfunktionen nach. Entsprechend der Hypothese hat sich gezeigt, dass gute Leistungen in den Tests der einfachen Aufmerksamkeitsfunktionen Alertness, selektive und geteilte Aufmerksamkeit sowie Vigilanz nicht mit einem höheren Intelligenzwert einhergehen. Aktuelle Studien sehen jedoch eine mögliche Verbindung zwischen Intelligenz und komplexeren Aufmerksamkeitsfunktionen, insbesondere von so genannten exekutiven Funktionen. Somit lässt sich die Vermutung äußern, dass einfachere Aufmerksamkeitsfunktionen wie sie hier getestet wurden, weniger mit Intelligenz korrelieren als komplexere Aufmerksamkeitsleistungen. Letzteren, insbesondere den so genannten exekutiven Funktionen, werden ebenso wie Intelligenzfunktionen mehr frontale Hirnstrukturen zugeordnet, einfacheren Aufmerksamkeitsleistungen hingegen mehr parietale und subkortikale Bereiche.

## 7 Anhang

Die folgenden Tabellen zeigen die Testwerte gesunder Jugendlicher im Alter von 13 und 15 Jahren für die Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung TAP

Die Zahlen in Klammern (x) entsprechen den jeweiligen Standardabweichungen.

Die mittlere Reaktionszeit ist immer in **msec** angegeben.

Fehler1 steht für Fehler 1.Ordnung (Reizauslassungsfehler = Omissionsfehler)

Fehler2 für Fehler 2.Ordnung (reizunabhängige Fehler = Kommissionsfehler).

## 7.1. TAP-Vergleichswerte

Testvariable – TAP	Männlich 13 Jahre	Weiblich 13 Jahre	Männlich 15 Jahre	Weiblich 15 Jahre
Alertness	3,4	16,7	5,5	25,0
Reaktionszeit-Differenz	(19,3)	(25,4)	(21,1)	(40,0)
Geteilte A. optisch	-79,4	-67,6	-14,6	-11,1
Reaktionszeit-Differenz	(133,6)	(128,8)	(54,4)	(118,2)
Geteilte A. optisch Fehler-Differenz	-0,1 (1,7)	0,2 (1,0)	-0,3 (1,1)	0,6 (1,5)
Geteilte A. akustisch	26,0	65,7	82,5	47,3
Reaktionszeit-Differenz	(45,5)	(39,7)	(53,8)	(46,5)
Geteilte A. akustisch Fehler-Differenz	0,4 (0,8)	0,2 (0,8)	-0,4 (1,4)	0,1 (0,4)
Vigilanz optisch	64,8	35,0	8,0	34,4
Reaktionszeit-Differenz	(49,3)	(32,4)	(38,6)	(42,3)
Vigilanz optisch Fehler1-Differenz	0,9 (1,4)	0,3 (2,2)	0,7 (1,5)	0,3 (1,7)
Vigilanz optisch Fehler2-Differenz	-1,7 (2,7)	-0,8 (1,0)	-0,2 (1,1)	0,3 (2,1)
Vigilanz akustisch	44,8	26,2	32,7	34,0
Reaktionszeit-Differenz	(53,0)	(47,9)	(33,7)	(48,9)
Vigilanz akustisch Fehler1-Differenz	0,9 (2,2)	0,5 (1,1)	0,0 (1,1)	-0,3 (1,5)
Vigilanz akustisch Fehler2-Differenz	0,0 (0,9)	-0,1 (0,6)	-0,3 (0,8)	0,0 (0,8)

Tabelle I: Aus den Rohdaten (Tabelle II) berechnete Werte für die Testvariablen der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung TAP gesunder Jugendlicher im Alter von 13 und 15 Jahren.

Die **Alertness Reaktionszeit-Differenz** errechnet sich aus den Durchgängen mit Warnton und ohne Warnton.

Zur Analyse der **Vigilanz** wurden die Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten der ersten 5 Minuten von den Reaktionszeiten und der Fehleranzahl der letzten fünf Minuten subtrahiert (*Vigilanz Reaktionszeit-Differenz, Fehler-Differenz*).

Zur Untersuchung der Aufmerksamkeitsleistung für **geteilte Aufmerksamkeit** wurden die Reaktionszeiten und die Fehlerhäufigkeiten der Einzeldurchgänge (visuell und akustisch) von den Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten der Durchgänge mit beiden Reizen abgezogen (*geteilte A. Reaktionszeit-Differenz, Fehler-Differenz*).

## Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung TAP-Vergleichswerte der Rohdaten

<b>Test</b>	<b>Männlich 13 Jahre</b>	<b>Weiblich 13 Jahre</b>	<b>Männlich 15 Jahre</b>	<b>Weiblich 15 Jahre</b>
Alertness Reaktionszeit ohne Warnton	264,2 (38,0)	286,5 (26,8)	266,0 (44,7)	284,3 (30,9)
Alertness Fehler1 ohne Warnton	0,1 (0,3)	0,5 (1,3)	0,7 (0,9)	0,0 (0,0)
Alertness Fehler2 ohne Warnton	1,9 (0,6)	1,3 (0,7)	1,5 (0,8)	0,8 (0,7)
Alertness Reaktionszeit mit Warnton	260,8 (25,4)	269,9 (35,8)	260,5 (32,8)	258,4 (24,5)
Alertness Fehler1 mit Warnton	0,0 (0,0)	0,5 (1,3)	0,5 (0,7)	0,1 (0,4)
Alertness Fehler2 mit Warnton	1,5 (1,0)	2,0 (1,3)	2,0 (1,6)	1,6 (1,0)
Geteilte Aufm. Reaktionszeit unter nicht geteilten Bedingungen optisch	1000,7 (125,9)	993,1 (133,4)	845,5 (102,7)	894,4 (91,5)
Geteilte Aufm. Fehler1 unter nicht geteilten Bedingungen optisch	1,6 (1,2)	1,3 (1,0)	1,3 (1,1)	1,3 (0,9)
Geteilte Aufm. Fehler2 unter nicht geteilten Bedingungen optisch	1,1 (0,9)	1,2 (1,7)	0,9 (0,9)	0,4 (0,8)
Geteilte Aufm. Reaktionszeit unter nicht geteilten Bedingungen akustisch	510,2 (91,7)	543,7 (78,3)	513,7 (82,9)	539,1 (82,4)
Geteilte Aufm. Fehler1 unter nicht geteilten Bedingungen akustisch	0,3 (0,5)	0,3 (0,5)	0,8 (1,2)	0,1 (0,4)
Geteilte Aufm. Fehler2 unter nicht geteilten Bedingungen akustisch	0,6 (0,8)	0,8 (1,1)	0,9 (1,3)	0,1 (0,4)
Geteilte Aufm. Reaktionszeit geteilte Bedingungen optisch	921,3 (67,4)	925,6 (91,1)	830,9 (96,3)	883,3 (93,5)
Geteilte Aufm. Fehler1 geteilte Bedingungen optisch	1,5 (1,4)	1,6 (0,7)	1,0 (0,5)	1,9 (1,8)
Geteilte Aufm. Fehler2 geteilte Bedingungen optisch	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
Geteilte Aufmerksamkeit mrt geteilte Bedingungen akustisch	536,2 (79,8)	609,3 (50,4)	596,2 (73,8)	586,4 (50,5)
Geteilte Aufm. Fehler1 geteilte Bedingungen akustisch	0,7 (0,8)	0,6 (0,7)	0,4 (0,5)	0,3 (0,5)
Geteilte Aufm. Fehler2 geteilte Bedingungen akustisch	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,1 (0,4)

Test	Männlich 13 Jahre	Weiblich 13 Jahre	Männlich 15 Jahre	Weiblich 15 Jahre
Vigilanz optisch Reaktionszeit Minuten 1-5	624,1 (79,7)	627,5 (94,7)	575,3 (86,6)	584,4 (126,9)
Vigilanz optisch Fehler1 Minuten 1-5	2,0 (2,1)	1,3 (1,9)	0,7 (1,2)	1,6 (1,0)
Vigilanz optisch Fehler2 Minuten 1-5	2,5 (2,8)	1,0 (1,2)	0,7 (1,2)	0,6 (1,0)
Vigilanz optisch Reaktionszeit Minuten 6-10	688,9 (76,2)	662,5 (107,6)	583,3 (98,9)	618,9 (123,1)
Vigilanz optisch Fehler1 Minuten 6-10	2,9 (1,9)	1,7 (1,7)	1,4 (1,0)	1,9 (1,7)
Vigilanz optisch Fehler2 Minuten 6-10	0,8 (0,9)	0,2 (0,4)	0,5 (0,5)	0,9 (1,5)
Vigilanz optisch Reaktionszeit Gesamtzeit 10 Minuten	655,4 (72,4)	645,7 (99,5)	578,1 (91,1)	604,0 (121,8)
Vigilanz optisch Fehler1 Gesamtzeit 10 Minuten	5,0 (3,5)	2,6 (2,2)	2,5 (2,0)	3,0 (2,3)
Vigilanz optisch Fehler2 Gesamtzeit 10 Minuten	3,5 (1,3)	1,1 (1,3)	3,1 (1,5)	1,4 (1,4)
Vigilanz akustisch Reaktionszeit Minute 1-5	514,8 (73,1)	506,5 (61,1)	513,2 (76,8)	514,0 (47,3)
Vigilanz akustisch Fehler1 Minute 1-5	1,4 (1,3)	1,0 (0,7)	1,4 (1,2)	1,4 (0,8)
Vigilanz akustisch Fehler2 Minute 1-5	0,4 (0,8)	0,2 (0,4)	0,8 (0,9)	0,4 (0,5)
Vigilanz akustisch Reaktionszeit Minute 6-10	559,6 (81,4)	532,8 (62,3)	545,9 (79,0)	548,0 (48,8)
Vigilanz akustisch Fehler1 Minute 6-10	2,3 (1,6)	1,6 (1,0)	1,4 (0,8)	1,1 (0,9)
Vigilanz akustisch Fehler2 Minute 6-10	0,4 (0,5)	0,1 (0,3)	0,5 (0,7)	0,4 (0,8)
Vigilanz akustisch Reaktionszeit Gesamtzeit 10 Minuten	535,0 (71,0)	523,0 (56,6)	530,1 (76,0)	530,0 (38,6)
Vigilanz akustisch Fehler1 Gesamtzeit 10 Minuten	4,0 (2,0)	2,2 (1,5)	2,6 (1,8)	2,4 (1,0)
Vigilanz akustisch Fehler2 Gesamtzeit 10 Minuten	0,8 (1,0)	0,3 (0,5)	1,2 (1,4)	0,9 (1,1)

Tabelle II: Gemessene Werte der Reaktionszeiten und Fehleranzahlen der TAP-Testvariablen gesunder Jugendlicher im Alter von 13 und 15 Jahren.

**Anmerkung:** Sowohl die visuellen, als auch die akustischen Variablen zur geteilten Aufmerksamkeit unter nicht geteilten Bedingungen, wurden für diese Arbeit als Parameter der selektiven Aufmerksamkeit herangezogen.

## Literaturverzeichnis

- Anokhin AP et al. (2000).** Complexity of electrocortical dynamics in children: developmental aspects. *Develop Psychobiology*, 36 (1), 9-22
- Baas JM, Kenemans JL, Mangun GR (2002).** Selective attention to spatial frequency: an ERP and Source localization analysis. *Clin Neurophysiol*, 113 (11), S.1840-54
- Beauchamp M., Petit L., Ellmore T., et al. (2001).** A parametric fMRI study of overt and covert shifts of visuospatial attention. *Neuroimage*, 14(2), S.310-21
- Birbaumer N.& Schmidt R.(1996).** *Biologische Psychologie. 3.Auflage*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York
- Birbaumer N.& Schmidt R. (1995).** *Wachen, Aufmerksamkeit und Schlafen. Physiologie des Menschen*, Hrsg.: Schmidt R.& Thews G., 26.Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- Broadbent D.E. (1964).** *Perception and Communication. 2. Auflage*, Pergamon Press, London, New York, Paris, Main
- Chugani H., Phelps M., Mazziotta J. (1987).** Positron Emission Tomography Study of Human Brain Functional Development. *Annals of Neurology*, 22, S.487-497
- Chugani H., Phelps M., Mazziotta J. (1988).** Reply to Feinberg I. (1988). *Annals of Neurology*, 24, 6, S.465
- Corbetta M., Miezin F., Shulman G., Petersen S. (1993).** A PET study of visuospatial attention. *Journal of neuroscience*, 13, 3, 1202-26
- Corbetta M., Kincade J., OllingerJ., et al. (2000).** Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nat Neuroscience*, 3(3), S.292-7
- Cornblatt B., Risch N., Faris G. et al. (1988).** The continuous Performance Test, identical pairs version (CPT-IP): I. New findings about sustained attention in normal families. *Psychiatry Research*, 26, S.223-238
- Dannhauser TM, Walker Z., Stevens T. et al. (2005).** The functional anatomy of divided attention in amnesic mild cognitive impairment. *Brain*, 128(Pt6), S.1418-1427
- Dudel J., Menzel R., Schmidt R.(Hrsg.), (1996).** *Neurowissenschaft; Vom Molekül zur Kognition. 1. Auflage*, Springer Verlag, Berlin
- Epstein H. (1986).** Stages in human brain development. *Brain Research*, 395, S.114-119
- Fan J., McCandliss BD., Fossella J. et al (2005).** The activation of attentional networks. *Neuroimage*, 26 (2), S. 471-479
- Feinberg I. (1988).** Metabolic Brain; Changes in Adolescence: One Aspect of a Global Reorganization? *Annals of Neurology*, 24, 6, S.464-465
- Fend H. (2001).** *Entwicklungspsychologie des Jugendalters. S.119-120*, Leske und Budrich Verlag, Opladen.

- Fernandez-Duque D., Posner M., (2001).** Brain imaging of attentional networks in normal and pathological states. *J Clin Exp Neuropsychol*, 23(1), S.74-93
- Földenyi M, Tagwerker-Neuenschwander F., Giovanoli A. et al (1999).** Die Aufmerksamkeitsleistungen von 6-10-jährigen Kindern in der TAP. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 10, 2, 87-102
- Gitlmann D.R., Nobre A.C., Mesulam M.M. et al (1999).** A large scale distributed network for covert spatial attention. *Brain*, 122, 1093-1106
- Greenberg LM., Waldman ID (1993).** Developmental normative data on the test of variables of attention (T.O.V.A.). *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 34 (6), 1019-30
- Heinze H., Hinrichs H., Scholz M. et al. (1998).** Neural mechanisms of global and local processing. A combined PET and ERP study. *Journal of cognitive neuroscience*, 10, 4, 485-498
- Higetag C., Theoret H., Pascual-Leone A., (2001).** Enhanced visual spatial attention ipsilateral to rTMS-induced „virtual lesions of human parietal cortex. *Nat Neuroscience*, 4(9), S.953-7
- Kagan J., et al (1964).** Information Processing in the Child: The Significance of Analytic and Reflective Attitudes. *Psychological Monographs*, 78
- Kail R., (1991).** Developmental change in speed of processing during childhood and adolescence. *Psychological Bulletin*, 109 (3), 490-501
- Kail R., (1993).** Processing time decreases globally, an exponential rate during childhood and adolescence. *Journal of Experimental Child psychology*, 56 (2), 245-65
- Keller I., Grömminger O. (1993).** Aufmerksamkeit. *Neuropsychologische Diagnostik*. 1.Auflage; Hrsg.: v.Cramon D., Mai N., Ziegler W., Chapman & Hall, Weinheim, S. 65-90
- Kimura D. (1992).** Weibliches und männliches Gehirn. *Spektrum der Wissenschaft*, 11/1992, 104ff
- Klimkeit EI., Mattingley JB., Sheppard DM. Et al (2004).** Examining the development of attention and executive functions in children with a novel paradigm. *Child Neuropsychology*, 10(3), S.201-211
- Kolb B., Whishaw I. (1996).** *Neuropsychologie*, 2.Auflage, Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg, Berlin, Oxford
- Konrad K., Neufang S., Thiel CM., et al (2005).** Development of attentional networks: an fMRI study with children and adults. *Neuroimage*, 28 (2), S.429-439
- Kunert H., Derichs G., Irle E. (1996).** Entwicklung von Aufmerksamkeitsfunktionen im Kindesalter: Ergebnisse einer vorläufigen Normierung der computergestützten Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) an 9- bis 12jährigen Kindern. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 7, 2, S.92-113
- Lin C., Hsiao C., Chen W., (1999).** Development of sustained attention assessed using the continuous performance test among children 6-15 years of age. *J Abnorm Child Psychol*, 27(5), S.403-12

- Lösslein H., Deike-Beth C. (1997).** Hirnfunktionsstörungen bei Kindern und Jugendlichen, Neuropsychologische Untersuchungen für die Praxis. 1.Auflage, Deutscher Ärzte-Verlag, Köln
- Mesulam M.M. (1990).** Large scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language and memory. *Annals of neurology*, 28, 597-613
- Mirsky A., Anthony B., Duncan C., Ahearn M., Kellam S. (1991).** Analysis of the Element of Attention: A neuropsychological Approach. *Neuropsychological Review*, 2, S. 109-114
- Mirsky A. (1996).** Disorders of attention: a neuropsychological perspective. Lyon R.G, Krasnegor N.A. (Hrsg.), *Attention, memory and executive functioning*, S.71-96, Baltimore
- Mulder G., (1983).** The Information Processing Paradigm: Concepts, Methods and Limitations. *Journal for Child Psychology and Psychiatry*, 24, 1, S.19-35
- Ortuno F. et al. (2002).** Sustained attention in a counting task: normal performance and functional neuroanatomy. *Neuroimage* 17(1), S.411-20
- Pardo J., Fox P., Raichle M. (1991).** Localization of a human system for sustained attention by positron emission tomography. *Nature*, 349, S. 61-64
- Pascualvaca D.M., Anthony B.J., Arnold L.E. et al. (1997).** Attention performance in an epidemiological sample: The role of gender and verbal intelligence. *Child Neuropsychology*, 3, 1, 13-27
- Paus T., Zijdenbos A., Worsley K. et al. (1999).** Structural Maturation of Neural Pathways in Children and Adolescents: In Vivo Study. *Science*, 283, S.1908-1911
- Posner M., Petersen S. (1990).** The Attention System of the Human Brain. *Annual Reviews of Neuroscience*, 13, S. 25-42
- Prosiegel M., Paulig M. (2002).** Klinische Hirnanatomie. 1.Auflage, Pflaum Verlag, München
- Rebok G., Smith C., Pascualvaca D. et al. (1997).** Developmental Changes in Attentional Performance in Urban Children from Eight to Thirteen Years. *Child Neuropsychology*, 3, 1, S.28-46
- Recanzone G.H., Wurtz R.H. (2000).** Effects of attention on MT and MST neuronal activity during pursuit initiation. *Journal of Neurophysiology*, 83, 2, S.777-790
- Reiss A., Abrams M., Singer H. et al. (1996).** Brain development, gender and IQ in children; A volumetric imaging study. *Brain*, 119, S.1763-1774
- Sanders A.F. (1983).** Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, 53, S.61-97
- Sathian K., Simon T., Peterson S. et al. (1999).** Neural evidence linking visual object enumeration and attention. *Journal of cognitive neuroscience*, 11, 1, 36-51
- Shatz C. (1992).** Das sich entwickelnde Gehirn. Spektrum der Wissenschaft, Gehirn und Bewusstsein. Spektrum akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Shiffrin R., Schneider W. (1977).** Controlled and Automatic Human Information Processing: I. Detection, Search, and Attention. *Psychological Review*, 84, 1, S.1-53

**Spreen O., Risser A., Edgell D. (1995).** Developmental Neuropsychology. Oxford University Press, New York

**Springer S., Deutsch G. (1998).** Linkes Rechtes Gehirn. 4.Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin

**Sturm W. (1997).** Aufmerksamkeitsstörungen. Klinische Neuropsychologie. 3.Auflage. Hrsg.: Hartje W., Poeck K., Thieme Verlag, Stuttgart, S.283-289,

**Sturm W., Willmes K., (2001).** On the functional neuroanatomy of intrinsic and phasic alertness. Neuroimage, 14(2), S.76-84

**Thatcher R., Walker R., Guidice S. (1987).** Human Cerebral Hemispheres Develop at Different Rates and Ages. Science, 236, S.1110-1113

**Van der Meere J.J. (1996).** Hyperactivity Disorders of Childhood. 1. Auflage; Hrsg.: Sandberg S., Cambridge University Press 1996, Cambridge, S.127-129

**Van Zomeren A.H., Brouwer W.H. (1994).** Clinical neuropsychology of attention. New York, Oxford University Press.

## Standardisierte Testverfahren:

**Zahlenverbindungstest (ZVT) von Oswald W. und Roth E. (1978).**  
Der Zahlenverbindungstest. Hogrefe, Göttingen

**Trailmakingtest (TMT-A) von Reitan R.M. (1958).** Validity of the Trailmaking Test as an indication of organic brain damage. Percept Motor Skills 8:271-276

**Wiener Determinationsgerät (WDG) aus dem Wiener Testsystem (Fa. Schuhfried 1994)**

**Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) von Zimmermann P.& Fimm B (1989, 1993, 1994).** Neuropsychologische Testbatterie zur Erfassung von Aufmerksamkeitsdefiziten. Psychologisches Institut der Universität Freiburg

**Aufmerksamkeitsbelastungstest, Test d2 - von Brickenkamp (1994).**

**Differentieller Leistungstest von Kleber und Kleber (1974).**

**Konzentrationsleistungstest (KLT) nach Düker H. (1959).** Der Konzentrations-Leistungstest. Hrsg.: Lienert GA. Hogrefe, Göttingen

**Pauli-Test von Pauli und Arnold (1975).**

**Continuous Performance Test (CPT) von Lauth et al. (1993).**

**Elternfragebogen CBCL, Child Behavior Check-List von Achenbach T. (1997).**

**IQ-Test CFT 20, Verlag für Psychologie, Hogrefe, Göttingen**

Software:

**SPSS 9.0 für Windows (2000). SPSS GmbH Software, München**

## Lebenslauf

**Stefanie Vera Tina Gaupp, geb. 07.12.72 in München.**

**Vater: Dr.med. Robert Gaupp**

**Mutter: Elke Gaupp, geb. Riem**

### **Schulischer Werdegang:**

-Grundschule 1979 - 1983

-Gymnasium 1983 - 1993

-Abitur 1993

### **Universitärer Werdegang:**

-Beginn des Medizinstudiums in München an der LMU im Sommersemester 1994

-Physikum am 21.08.1996

-1.Staatsexamen am 28.08.1997

-2.Staatsexamen am 21.03.2000

-Stipendium der Rosa-Schneider-Stiftung 2001

-Praktisches Jahr von 01.08.2000 bis 01.08.2001

-3.Staatsexamen am 16.10.2001

-Wissenschaftliche Hilfskraft an der Frauenklinik Klinikum Großhadern der LMU-München vom 01.11.2001 bis 31.01.2002

-Ärztin im Praktikum im städt. Krankenhaus München-Harlaching, interne Notaufnahme von 01.02.2002 bis 31.08.2002 und in der Neurologischen Klinik Bad Aibling von 01.09.2002 bis 31.07.2003

-Assistenzärztin in der Neurologischen Klinik Bad Aibling seit 01.08.2003