

Dr. Maja Storch  
ZRM – Research  
Scheuchzerstrasse 21  
8006 Zürich

# Hirnentwicklung bei jungen Menschen in der Adoleszenz

Arbeit zur Erlangung der Qualifikation als ZRM - Trainerin

Dorothea Baumgartner  
Rainwiesenstr. 7  
8712 Stäfa  
076 580 16 11  
[dorothea.baumgartner@hispeed.ch](mailto:dorothea.baumgartner@hispeed.ch)

Hauptfach: Pädagogische Psychologie und Didaktik  
1. Nebenfach: Neuropsychologie  
2. Nebenfach: Allgemeine Psychologie

<b><u>HIRNENTWICKLUNG BEI JUNGEN MENSCHEN IN DER ADOLESENZ</u></b> .....	<b>2</b>
<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>2</b>
<b>ÜBERSICHT ÜBER DIE VERÄNDERUNGEN IM MENSCHLICHEN GEHIRN IN DER ADOLESENZ</b> .....	<b>3</b>
TOTALES HIRNVOLUMEN.....	3
DAS KLEINHIRN.....	4
MYELIN – WHITE MATTER .....	4
KORTIKALE GRAUE MASSE.....	7
SUBKORTIKALE GRAUE MASSE.....	7
DER HIPPOKAMPUS .....	8
DIE AMYGDALA.....	10
LITERATUR:.....	11
<b>DAS SOZIALE GEHIRN IN DER ADOLESENZ</b> .....	<b>12</b>
FUNKTIONALE VERÄNDERUNGEN.....	12
THEORIE OF MIND ODER NACHDENKEN ÜBER GEDANKEN, GEFÜHLE UND ABSICHTEN ANDERER.....	13
EMOTIONSVERARBEITUNG .....	19
LITERATUR .....	20
<b>EMOTIONSVERARBEITUNG UND DIE EXEKUTIVFUNKTIONEN</b> .....	<b>21</b>
EXEKUTIVFUNKTIONEN UND ANGST .....	21
EXEKUTIVFUNKTIONEN UND DAS HIRNEIGENE BELOHNUNGSSYSTEM .....	24
RESULTATE VON DTI – STUDIEN .....	27
LITERATUR .....	29
<b>TEENAGER UND STRESS</b> .....	<b>30</b>
LITERATUR:.....	33
<b>DAS ZÜRCHER RESSOURCENMODELL ALS SELBSTMANAGEMENT – TOOL IM JUGENDALTER</b> .....	<b>34</b>
GRUNDSÄTZLICHE ÜBERLEGUNGEN .....	34
ZRM TRAINING UND STRESS IM JUGENDALTER.....	35
EIN BEISPIEL AUS DER PRAXIS .....	36

## Hirnentwicklung bei jungen Menschen in der Adoleszenz

### **Einleitung**

Lange Zeit glaubte man, dass die wesentlichen Entwicklungen des menschlichen Gehirns im kindlichen Alter von bis zu 4 Jahren passiere und danach nur noch kleinere Anpassungen geschehen würden. Es ist den bildgebenden Verfahren zu verdanken, dass heute immer mehr Informationen über die lebenslange Plastizität des menschlichen Gehirns zur Verfügung stehen.

Auch im Gehirn von Teenagern passiert eine ganze Menge an Entwicklung. Federführend im Gebiet der Langzeitstudien zur Hirnentwicklung von Kindern und Jugendlichen ist sicher Jay N. Giedd, Professor am National Institut of Mental Health in Bethesda, Maryland, USA. Seit 1989 sind in Giedds Labors mehr als 5000 Scans von über 2000 Kindern und Jugendlichen

entstanden. Die Implikationen von Veränderungen einzelner Hirnregionen auf das Verhalten und die Entwicklungsmöglichkeiten auszuloten ist eines seiner erklärten Ziele und er setzt in diesem Sinne ein Zitat von William James an den Anfang eines seiner Übersichtsartikel: „A science of the brain must point out the functions of its elements.“ William James, The Principles of Psychology, 1890.

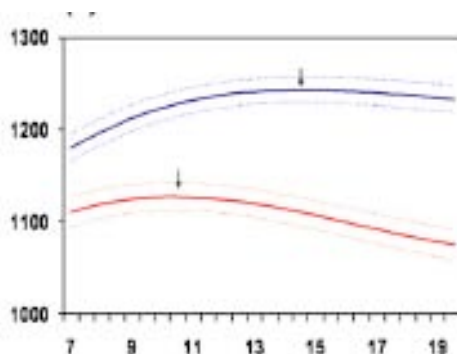
In dieser Arbeit werden in einem ersten Teil die allgemeinen Fakten zur Entwicklung des Gehirns während der Adoleszenz dargestellt. Das Gehirn in seiner Funktion als wichtigstes Sozialorgan und dessen Bedeutung für die Adoleszenz stellt die erste Vertiefungsfrage dar. Die Verarbeitung von Emotionen und die Rolle der Exekutivfunktionen und wie diese beiden Faktoren sich im besagten Alter entwickeln wird ergänzt und erweitert durch die Frage, wie Teenager mit Stress umgehen können.

## ***Übersicht über die Veränderungen im menschlichen Gehirn in der Adoleszenz***

### Strukturelle Veränderungen

In diesem Übersichtskapitel orientiere ich mich am Artikel von JN Giedd : The Teen Brain: Insight from Neuroimaging, 2008. Seine Forschungsergebnisse wiederum sind entstanden aus den Auswertungen der MRI – Daten der 387 Versuchspersonen aus seiner grossen Sammlung von Versuchspersonen, welche keinerlei psychopathologischen Auffälligkeiten zeigten. Es handelt sich also um die Bilder der Gehirne von „gesunden“ Kindern und Jugendlichen, und es kann eine „normale“ Entwicklung vorausgesetzt werden.

### **Totales Hirnvolumen**



Das totale Hirnvolumen erreicht seine maximale Grösse bei Mädchen im Alter von 10.5 Jahren und bei Knaben im Alter von 14.5 Jahren. (Lenroot 2007) Das durchschnittliche Hirnvolumen von Knaben ist ca. 10% grösser als dasjenige von Mädchen. Dabei hat die

Abb.1: Mittleres Gehirnvolumen in Bezug zum Alter für männliche (N=475 scans) und weiblich (N=354 scans) (Lenroot 2007)

Gehirngrösse keinen funktionalen Wert. Dieses Gesamtvolumen gibt uns keine Information über die Hirnfunktion, denn wichtige Grössen wie die Neuronenverknüpfungen oder die Dichte der Rezeptoren können daraus nicht abgelesen werden. Bemerkenswert ist auch die grosse Variabilität in dieser Kohorte von gesunden Kindern und Jugendlichen. Gesunde Kinder desselben Alters zeigen bis zu 50% Unterschied in ihrem totalen Hirnvolumen, ein weiteres Indiz dafür, dass mit funktionalen Interpretationen vorsichtig umgegangen werden muss.

## Das Kleinhirn

Das Kleinhirnvolumen erreicht sein Maximum ca. 2 Jahre nach dem gesamten Hirnvolumen. Auch handelt es sich dabei um die einzige Struktur, welche bei Männern signifikant grösser bleibt. Seit langem ist bekannt, dass das Kleinhirn eine wichtige Rolle innehat für die Bewegungskontrolle und das Bewegungslernen. Verschiedene Studien weisen darauf hin, dass das Cerebellum wesentliche Beiträge leistet zu kognitiven Leistungen des Gehirns. So zum Beispiel die Studie von Middleton und Kollegen(2001), welche mithilfe von histologischen Untersuchungen an Affen zeigen konnten, dass das Cerebellum über verschiedene Nuclei mit präfrontalen Gebieten verbunden ist und so auch Beiträge leistet bei Planungsaktivitäten, Regellernen, sowie dem räumlichen Arbeitsgedächtnis.

Zwillingsstudien haben übrigens gezeigt, dass das Kleinhirn von allen Gehirnregionen am wenigsten genetisch determiniert ist.

## Myelin – White Matter

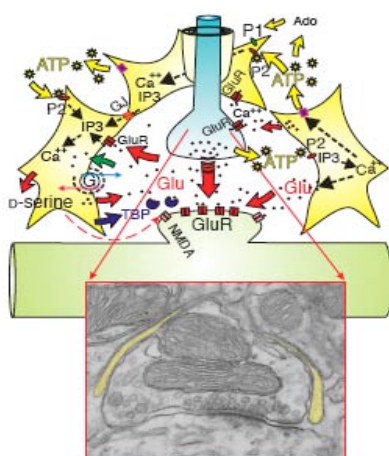
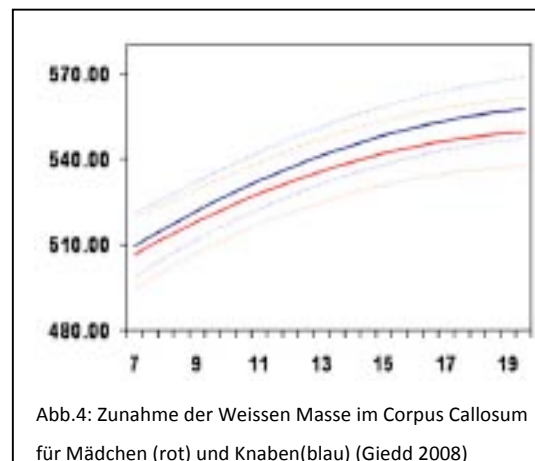
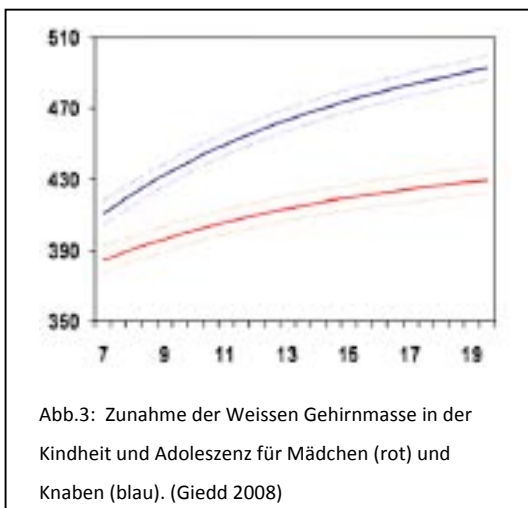


Abb. 2: Synaptische Kommunikation zwischen Astrozyten (gelb) und Neuronen (blau und grün). Neurotransmitter und Ionentransfer spielen eine wichtige Rolle. (Stevens, 2008)

Myelin ist die Isolationsschicht der Neurone, die ja bekanntlich elektrisch aktiv sind. Wenn eine elektrische Leitung optimal funktionieren soll, dann muss sie gut isoliert sein. Dafür sorgt das Myelin. Die Effizienzsteigerung, die so erreicht wird, schlägt sich in der Geschwindigkeit der Nervenleitung nieder. Myelin wird gebildet und unterhalten von den Gliazellen. Diese, so zeigen neue Studien, (Stevens 2008) ummanteln nicht nur zusätzlich die Synapsen von Neuronen, sondern beteiligen sich aktiv an der Kommunikation zwischen den Nervenzellen. Im sich entwickelnden

Gehirn eines Teenagers ist die Genese aber auch die Elimination von Synapsen ein wichtiger Entwicklungsfaktor und daran sind Gliazellen offensichtlich massgebend beteiligt. Eine weitere wichtige Funktion von Astrozyten, einer Untergruppe der Gliazellen, besteht im Timing von gemeinsam feuernenden Neuronen (Fields 2002). Es gibt aber auch Astrozyten, welche den Hippokampus in verschiedene Kompartimente unterteilen. Jede dieser Unterteilung wird von nur einem Astrozyten realisiert. Die Funktion, welche man hinter einer solchen Organisation vermuten könnte ist noch völlig unbekannt.

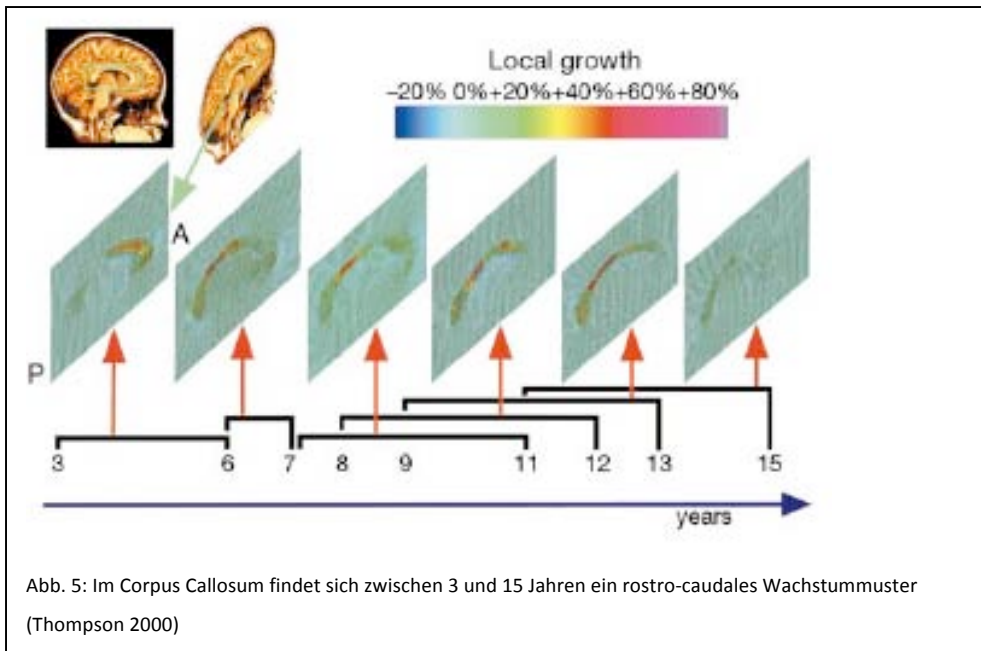
Interessanterweise nimmt die Weisse Masse des Gehirns über die ganze Kindheit und das Jugendalter laufend zu.



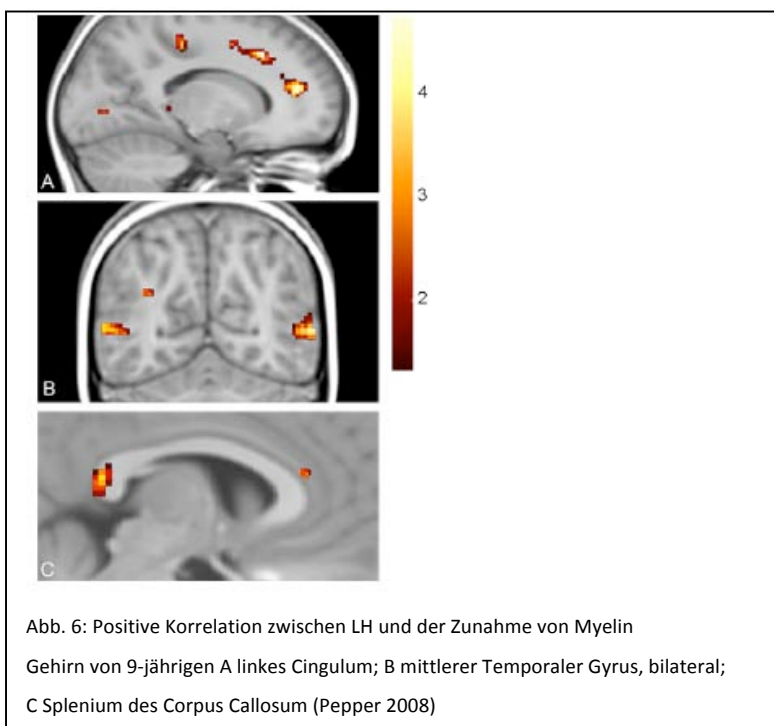
Der Corpus Callosum ist die auffälligste Weisse Masse – Struktur und besteht aus ca. 200 Millionen Axonen, welche beide Hirnhälften verbindet. Er integriert die Aktivitäten der beiden Hirnhälften und spielt eine wichtige Rolle insbesondere im sensorischen Bereich (keine primären Areale) für die Gedächtnisfunktionen (Speicherung und Abruf), die Aufmerksamkeit und bei den sprachlichen und auditorischen Funktionen.

Thompson (2000) entdeckte ein rostro-caudales Wachstumsmuster als er die Scans von Kindern und Jugendlichen verglich, welche regelmässig alle 4 Jahre gescannt wurden. Zwischen 3 und 6 Jahren erreicht das Wachstum im frontalen Bereich einen Höhepunkt welcher für mentale Aufmerksamkeit und die Planung neuer Aktivitäten zuständig ist. Bei älteren Kindern zeigt sich der Wachstumshöhepunkt mehr caudal im Isthmus welcher die parietotemporalen Gebiete verbindet, die für die Sprache und räumliche Assoziation zuständig sind.

Auch hier ist im Alter zwischen 11 und 15 die grösste Wachstumsrate zu verzeichnen wenn auch leicht zurückgehend.

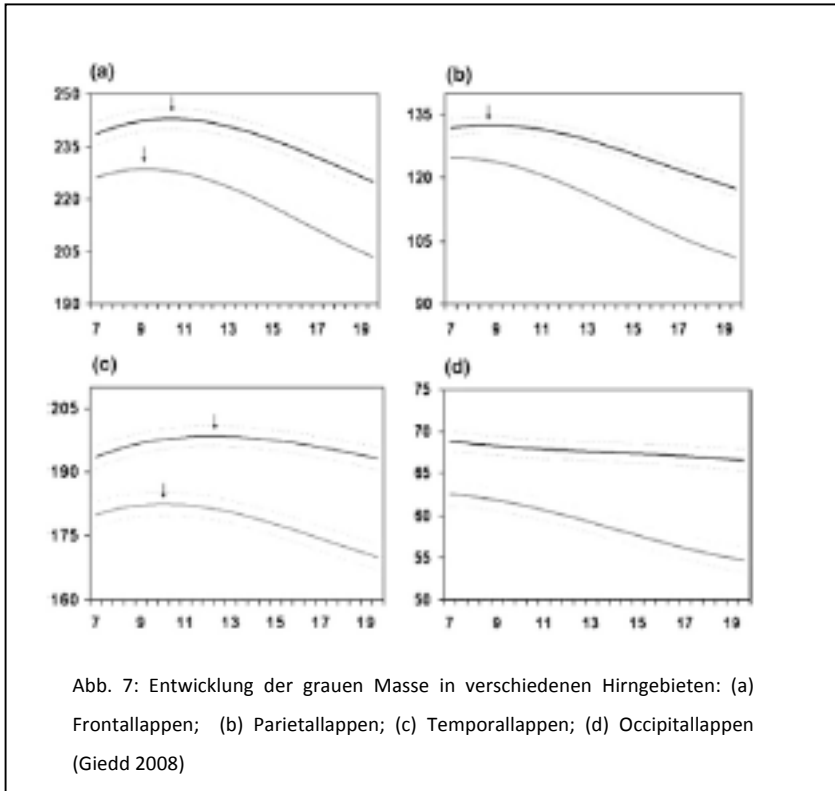


In einer holländischen Studie von Peper et.al. (2008) konnte nachgewiesen werden, dass die Zunahme der weissen Masse im Gehirn von 9-jährigen Zwillingen (eineiige und zweieiige) signifikant korreliert mit der Ausschüttung des Luteinisierenden Hormons, welches besser dafür bekannt ist, dass es die Pubertät einläutet. Interessant in diesem Zusammenhang ist auch, dass manche Erkrankungen, wie etwa Schizophrenie, die oft in dieser Zeit ihre erste Ausprägung finden, sowohl mit einer verminderten LH-Produktion, wie auch mit verminderter weisser Masse in manchen Gehirngebieten einhergehen.



## Kortikale Graue Masse

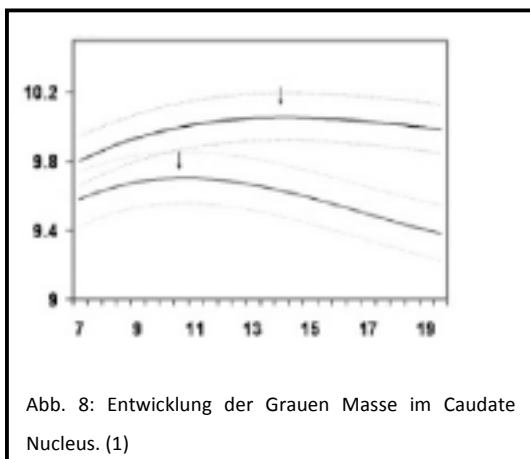
Im Gegensatz zur Weissen Gehirnmasse nimmt die totale Menge der Grauen Gehirnmasse mit zunehmendem Alter ab. Mit der Grauen Masse meint man vor allem die Zellkörper der Hirnzellen. Sehr viele davon befinden sich im Kortex. Aber auch bei der Messung der Menge



an grauer Masse sind im Entwicklungsverlauf Peaks zu erkennen. Im Parietallappen (c) finden sich die Peaks bei Mädchen im Alter von 7.5 Jahren und bei Knaben mit 9 Jahren. Im Frontallappen (a) ist das Maximum bei Mädchen im Alter von 9.5 und bei Knaben mit 10.5 Jahren erreicht. Zuletzt erreicht der Temporallappen einen Höhepunkt nämlich bei Mädchen mit 10 und

Knaben mit 11 Jahren. Nur noch abnehmend ist das Volumen im Occipitallappen. Das hängt damit zusammen, dass im Bereich von primären sensomotorischen Arealen der Rückgang am frühesten beginnt. Die Assoziationsareale, wo die Informationen von verschiedenen Regionen integriert und weiterverarbeitet werden findet dieser Rückgang erst Jahre später statt. Dazu gehören etwa der dorsolaterale Präfrontalkortex, der inferiore Parietallappen oder der superiore Gyrus temporalis.

## Subkortikale Graue Masse



Die Basalganglien sind im Inneren des Gehirns liegende Kerne: Caudate Nucleus, Putamen, Nucleus Lentiformis und Pallidum. Sie wirken im Bereich der Bewegungssteuerung aber auch höherer kognitiver Funktionen, wie Aufmerksamkeit und

Gefühlsregulation. Weil sie so klein sind und für den Hirnscan schwer zugänglich ist es bis heute nicht möglich von allen Basalganglien Bilder zu machen. Solche liegen nur für den Caudate Nucleus vor. Hier ist das Volumenmaximum bei Mädchen mit 10.5 und bei Knaben mit 14 Jahren erreicht.

## Der Hippokampus

Der Hippokampus ist eine subkortikale Struktur, welche schon seit langer Zeit mit dem Gedächtnis in Zusammenhang gebracht wird. Seit einigen Jahren ist bekannt, dass der Hippokampus in zwei Unterregionen unterteilt werden kann. Diesen Regionen kommen auch verschiedenen Funktionen zu. Der hintere Teil des Hippokampus spielt eine wichtige Rolle beim räumlichen Vorstellungsvermögen und Erinnern dieser Facts. Der Anteriore Teil ist mehr mit angstinduziertem Verhalten und Emotionsregulierung beschäftigt. Aber auch assoziative Gedächtnisfunktionen werden hier angesiedelt. Gogtay et.al. (2006) haben den Hippocampus von 31 gesunden Kindern im Alter zwischen 4 und 18 Jahren gescanned und zwar im Abstand von 2 Jahren über 6 – 10 Jahre hinweg. Entstanden sind dabei unter anderem animierte Karten der hippokampalen Entwicklung.

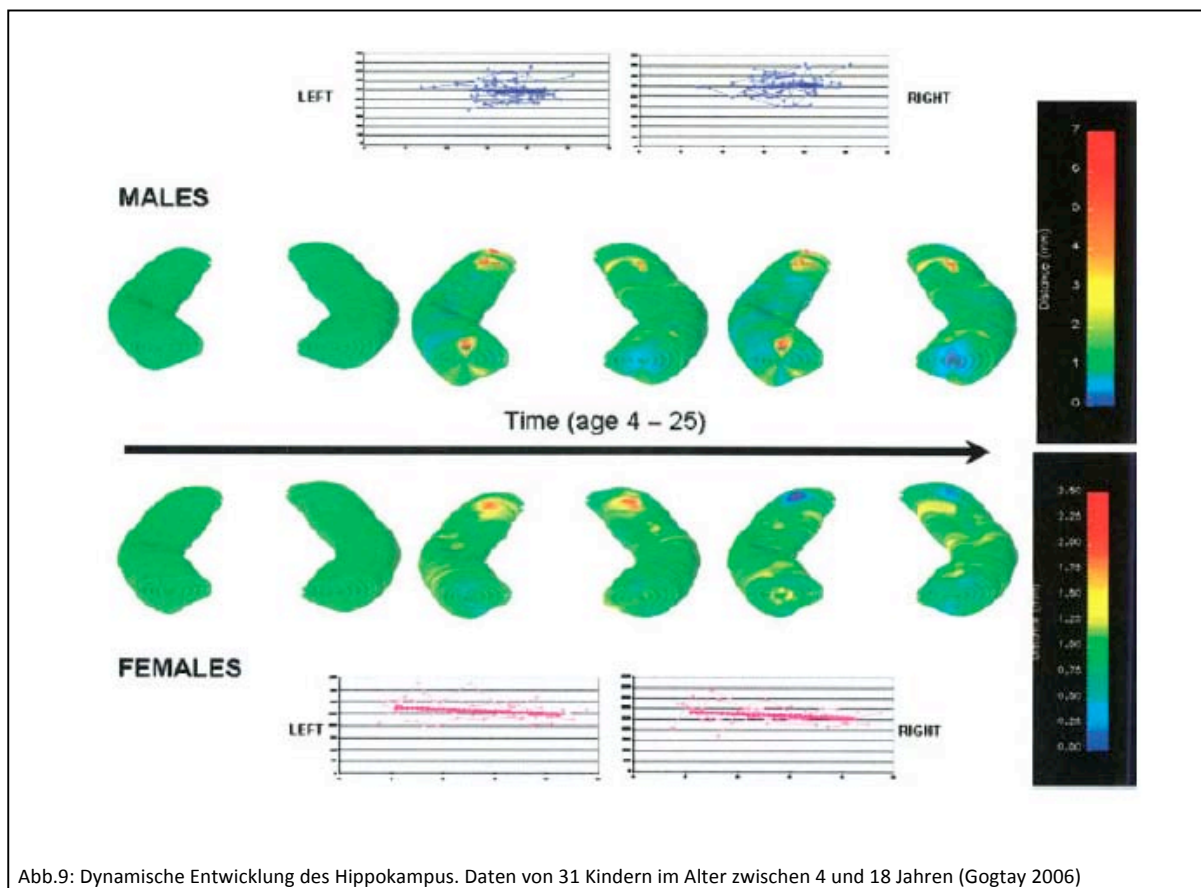
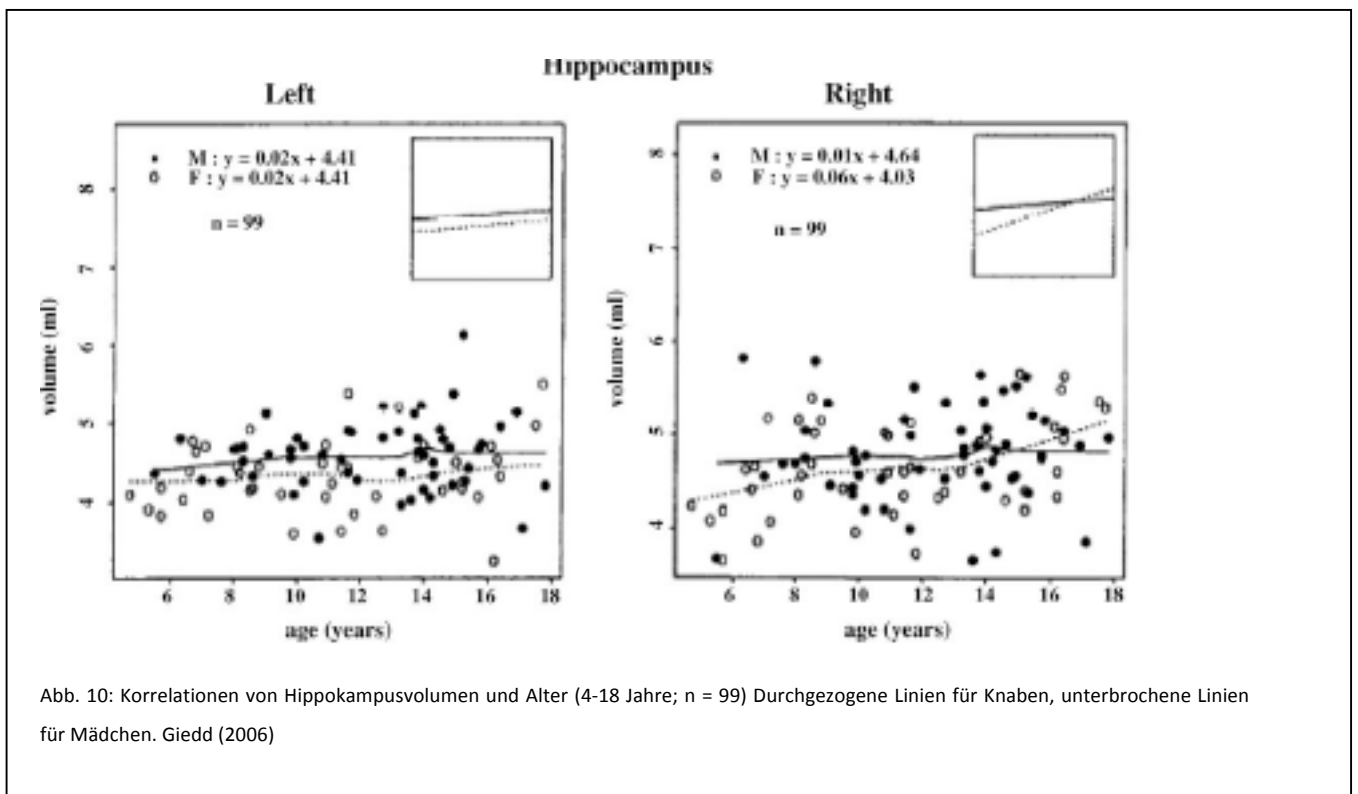


Abb.9: Dynamische Entwicklung des Hippokampus. Daten von 31 Kindern im Alter zwischen 4 und 18 Jahren (Gogtay 2006)

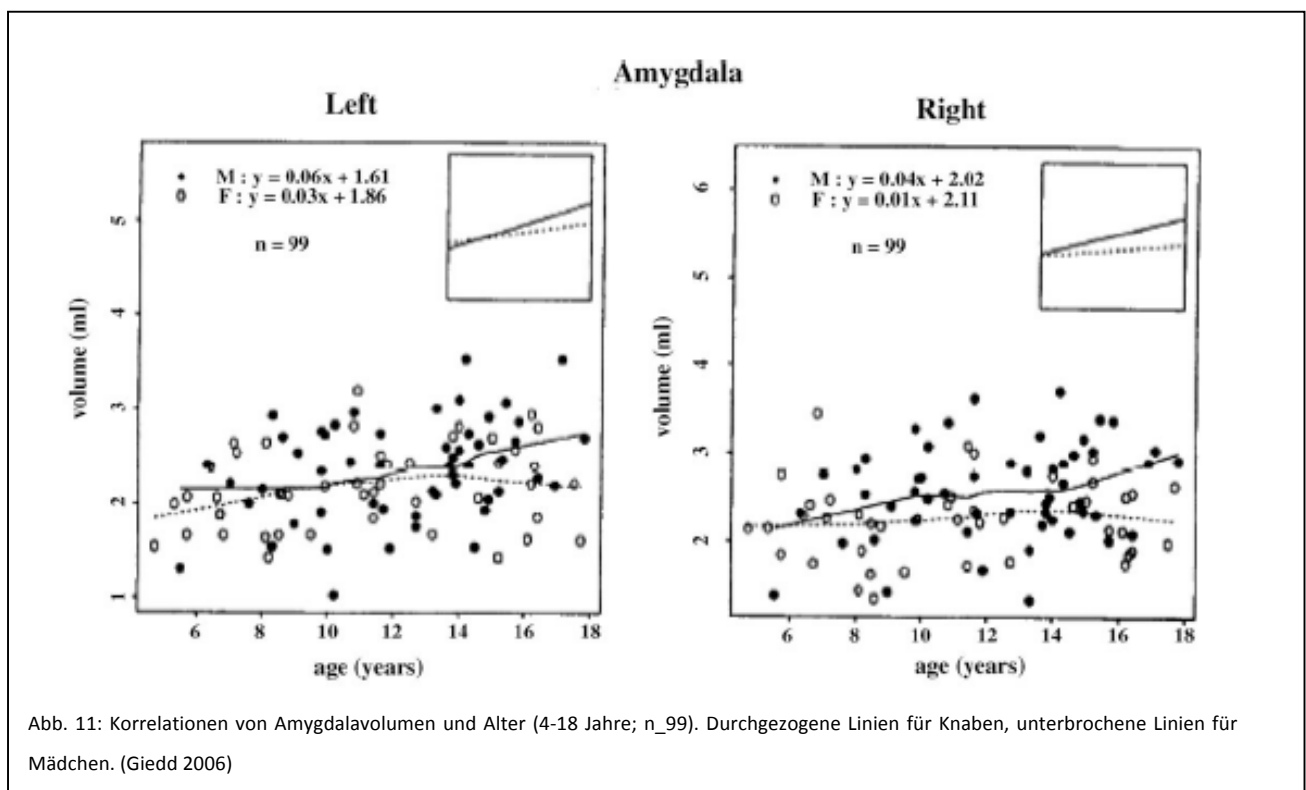


Es zeigte sich weiter, dass der posteriore Hippokampus eine gleichmässige Volumenzunahme verzeichnete. Im anterioren Teil hingegen nahm das Volumen graduell ab eine Entwicklung die rechts etwas deutlicher zutage trat als links. Der mittlere Hippokampusteil zeigte ebenfalls eine Zunahme, etwas prominenter auf der linken Seite. Insgesamt blieb das Volumen des Hippokampus konstant. Giedd et.al. (1996) fanden klare Geschlechtsunterschiede in der hippokampalen Entwicklung. Bei Männern nahm nur die Amygdala, welche direkt beim Hippokampus liegt signifikant an Volumen zu und bei Frauen nur der Hippokampus. Er bringt diese Geschlechtsunterschiede mit der hormonalen Situation in Zusammenhang. Pepper et al. veröffentlichten 2009 eine detaillierte Untersuchung über den Einfluss von Sexualhormonen, wie Testosteron und Östrogen auf die Hirnentwicklung von Knaben und Mädchen. Ihre Daten zeigen, dass unter anderem der rechte posteriore Hippocampus bei Mädchen an Volumendichte zunimmt durch den Einfluss von Sexsteroiden. Giedd et.al. (2006) weisen darauf hin, dass der Hippokampus dicht besetzt ist mit Rezeptoren für Oestrogen und Glucocorticoide. In ihrer Untersuchung haben sie aber keine hormonellen Messungen mit einfließen lassen. Dafür handelt es sich dabei um die Daten der schon erwähnten Langzeitstudie, welche die langfristige Entwicklung schön abbildet.



## Die Amygdala

Die Amygdala liegt nicht nur örtlich sehr nahe beim Hippokampus die beiden Strukturen sind auch in den gleichen funktionalen Netzwerken aktiv. Dies gilt für Emotionen, Sprache oder Gedächtnis. Im Kindes- und Jugendalter erweitern und verändern Menschen Ihre Fähigkeiten in diesen Bereichen besonders stark. So werden Informationen, welche stärker emotional gefärbt sind, was auch durch die Amygdala ermöglicht wird, besser erinnert. Weiter oben wurde bereits erwähnt, dass die Amygdala nur im männlichen Hirn an Volumen zulegt wogegen das Volumen bei Mädchen ungefähr stabil bleibt.



Abschliessend kann festgehalten werden, dass in den für kognitive und emotionale Funktionen wichtigen Regionen in der Pubertät grössere strukturelle Veränderungen stattfinden. Diese Beobachtungen werden gestützt durch die entwicklungspsychologischen Forschungen zur Adoleszenz, auf die im Rahmen dieser Arbeit aber nicht eingegangen werden kann. Die strukturellen Entwicklungsprozesse legen nahe, dass auch funktionale Veränderungen in den entsprechenden Hirnstrukturen ablaufen, welche mit veränderten Fähigkeiten und Reaktionsmustern der betroffenen Teenagern einhergehen. Im nächsten Teil dieser Arbeit werden deshalb einige Forschungsergebnisse zu funktionellen Strukturveränderungen dargestellt, ins-

besondere zur Empathie, zur Emotionsverarbeitung, zu den Exekutivfunktionen und zur Stressreaktion.

**Literatur:**

Fields RD Stevens B. (2002). **New Insight into Neuron-Glia Communication**, Science; 298: 556-562.

Giedd et.al. (1996.) **Quantitative MRI of the Temporal Lobe, Amygdala, and Hippocampus in Normal Human Development: Ages 4-18 Years**, The Journal of Comparative Neurology,,: 366:223-230.

Giedd et.al. (2006). **Puberty-related influences on brain development**, Molecular and Cellular Endocrinology, ;254/255; 154-162.

Giedd JN. (2008). **The Teen Brain: Insight from Neuroimaging**. Journal of Adolescent Health 2008;42:335-343.

Gogtay N. et.al. (2006). **Dynamic Mapping of Normal Human Hippocampal Development**, Hippocampus ;16;664-672.

Lenroot RK, Gogtay N. Greenstein DK, et.al.(2007). **Sexual dimorphism of brain developmental trajectories during childhood and adolescence**. Neuroimage ;36:1065-73.

Middleton FA, Strick PL. (2001). **Cerebellar Projections to the Prefrontal Cortex of Primate**. J. Neuroscience; 21: 700-712.

Nagy Z. et.al.(2004). **Maturation of White matter is associated with the Development of Cognitive Functions during Childhood**, Journal of Cognitive Neuroscience;16:7, 1227–1233.

Peper JS. et.al. (2008). **Cerebral white matter in early puberty is associated with luteinizing hormone concentrations**, Psychoneuroendocrinology; 33; 909-915.

Peper JS. et. al. (2009). **Sex steroids and brain structure in pubertal boys and girls**, Psycholendocrinology, 34;332-342.

Stevens B.(2008). **Neuron-Astrocyte Signaling in the Development and Plasticity of Neural Circuits**, Neurosignals;16;278-288.

Suzuki M. et.al. (2005). **Male-specific Volume Expansion of the Human Hippocampus during Adolescence**, Cerebral Cortex;15;187-193.

Thompson PM et.al. (2000). **Growth patterns in the developing brain detected by using continuum mechanical tensor maps**, Nature ; 404; 190-3.

## ***Das soziale Gehirn in der Adoleszenz***

### **Funktionale Veränderungen**

Gerald Hüther schreibt in einem seiner Buchartikel:“ Die wichtigsten Erfahrungen, die einen heranwachsenden Menschen prägen und die in Form komplexer neuronaler Verknüpfungen und synaptischer Verschaltungen in seinem Gehirn verankert werden, sind Erfahrungen, die in lebendigen Beziehungen mit anderen Menschen gemacht werden. In all jenen Bereichen, wo es sich von tierischen Gehirnen unterscheidet, wird das menschliche Gehirn durch Beziehungen und Beziehungserfahrungen mit anderen Menschen geformt und strukturiert. Unser Gehirn ist also ein soziales Produkt und als solches für die Gestaltung von sozialen Beziehungen optimiert. Es ist ein Sozialorgan.“ (Hüther, G. 2006). Auch Louis Cozolino streicht die Bedeutung der Beziehungserfahrungen für die Entwicklung des menschlichen Gehirns deutlich heraus. (Cozolino,L., 2006)

Zum „sozialen Gehirn“ werden eine Reihe von Hirnarealen gezählt welche mit menschlicher Kommunikation und dem Sozialverhalten des Menschen zu tun haben. Dieses Netzwerk befähigt uns dazu mit anderen Menschen in Kontakt zu treten und über deren Absichten, Wünsche oder Überzeugungen nachzudenken, ihre Gefühle und ihr Verhalten zu verstehen. Zu diesem Netzwerk gehören zum Beispiel der Mediale Präfrontalkortex (mPFC), der anteriore cinguläre Cortex (ACC), der inferiore frontale Gyrus (IFG) der superiore temporale Sulcus (STS), der posteriorsuperiore temporale Sulcus (pSTS), die temporoparietale Verbindung (TPJ), die Amygdala und die anteriore Insula (AI).

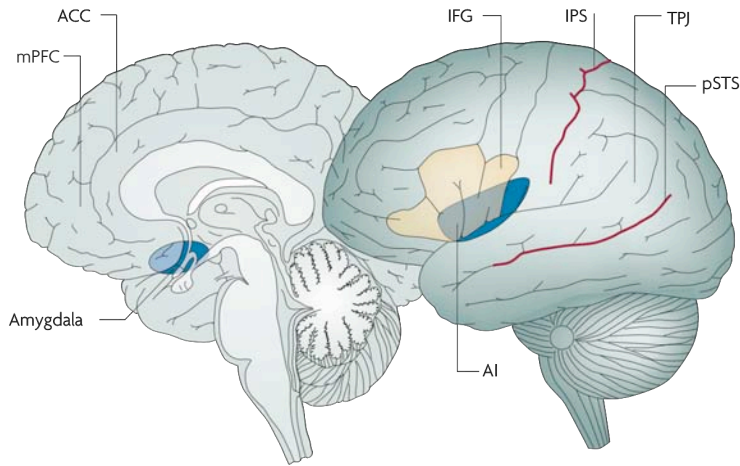


Abb. 12 Regionen des sozialen Gehirns (Blakemore, 2008)

### Theorie of mind oder Nachdenken über Gedanken, Gefühle und Absichten Anderer

Nachdenken über Andere, Perspektivenübernahme und Einfühlungsvermögen sind Fähigkeiten, welche mit dem Jugendalter ausreifen. Dabei steht die Selbsterkenntnis im Vergleich zum Fremdbild immer wieder im Zentrum. Pfeifer et al. (2007) haben in einer Studie untersucht, welche neuronalen Aktivitäten beim Nachdenken über sich Selbst im Vergleich zu einem berühmten Anderen (Harry Potter) bei Heranwachsenden und Erwachsenen ausgelöst werden.

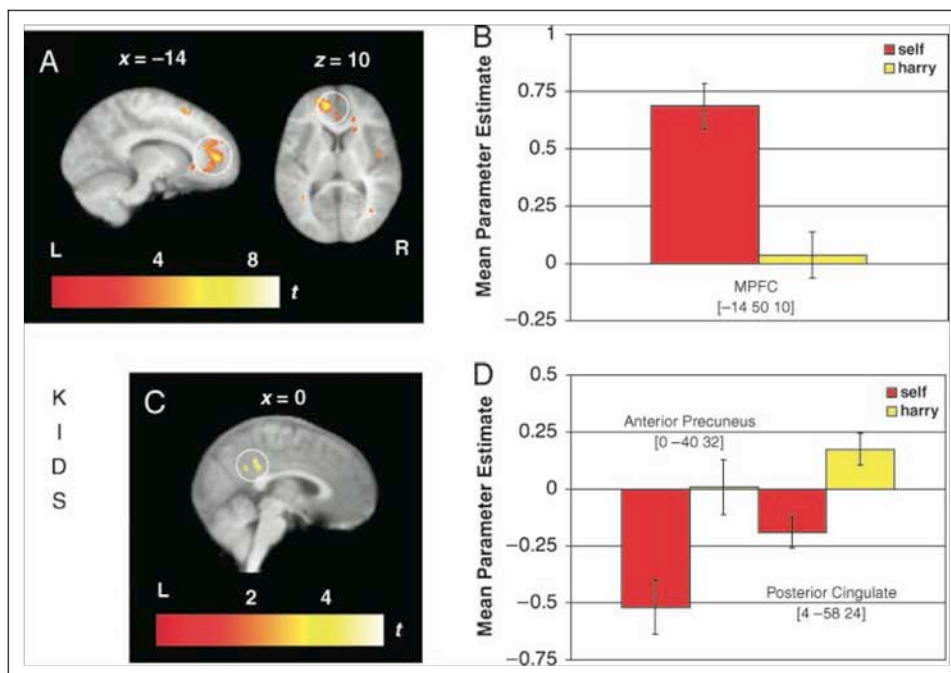


Abb 13: Nachdenken über sich Selbst und einen berühmten Anderen (Harry Potter) aktiviert den MPFC, den Anterioren Precuneus und den Posterioren Cingulären Kortex bei Heranwachsenden. (Pfeifer et al., 2007)

Beim Nachdenken über sich selbst rekrutieren Heranwachsende den medialen Präfrontalkortex stark – stärker als beim Nachdenken über andere und signifikant stärker als Erwachsene das tun. Studien von Giedd, Paus haben gezeigt, dass in diesen Regionen signifikante Veränderungen in der grauen Masse festzustellen sind in diesem Alter. Ein Hinweis für sich entwickelnde Hirnstrukturen.

Eine weitere Region von Interesse ist der Precuneus. Während der anteriore Precuneus eher bei bilderreichen selbstbezogenen Vorstellungen aktiviert wird, ist der posteriore Precuneus eher für das episodische Gedächtnis und die Verbindung mit Vorwissen zuständig. Beim Nachdenken über andere rekrutieren Heranwachsende eher anteriore Regionen und Erwachsene eher posteriore Regionen. Das könnte dahingehend interpretiert werden, dass Nachdenken über Andere ein Prozess ist, welchen Kinder über Vergleiche mit sich selbst leisten, während Erwachsene eher ihr vielfältiges Wissen über diesen Anderen abrufen.

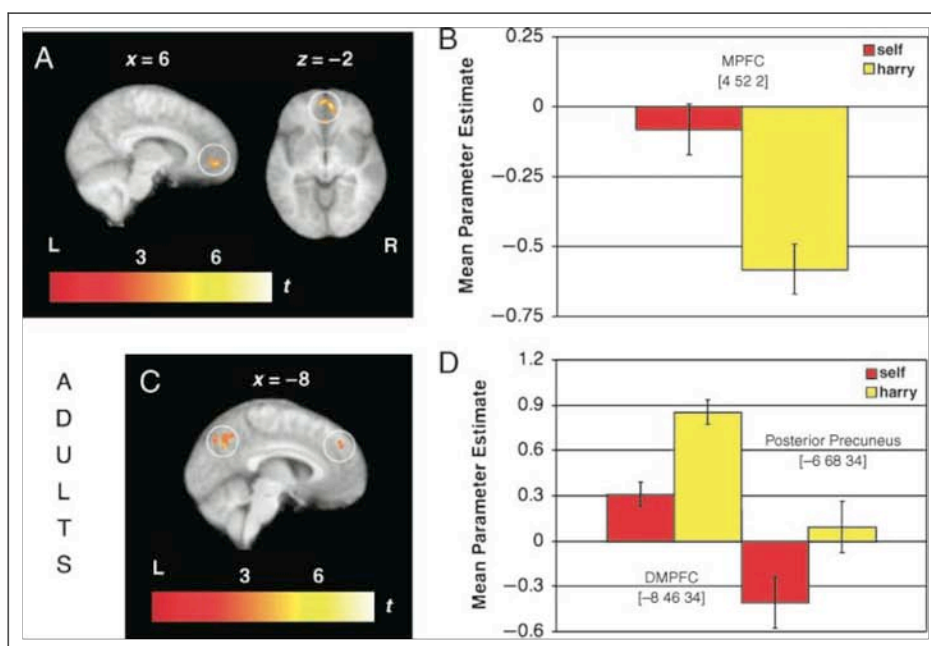


Abb 14: Nachdenken über sich Selbst und einen berühmten Anderen (Harry Potter) aktiviert den DMPFC, den Posterioren Precuneus bei Erwachsenen. (Pfeiffer et al., 2007)

Während Erwachsene beim Nachdenken über Andere den DMPFC signifikant stärker einsetzen zeigte diese Region bei Kindern keine erhöhte Aktivität. Dies könnte ein Hinweis dahingehend sein, dass diese Region erst später die typische Funktion des Nachdenkens über den mentalen Zustand von Anderen übernimmt.

Kommunikation zwischen Menschen findet einerseits über die wörtliche Bedeutung des Gesagten statt. Andererseits ist es auch zentral, die Absicht dahinter zu erkennen. Diese beiden Facetten stimmen nicht immer überein, wie ironische Bemerkungen zeigen. Die Fähigkeit diese richtig zu interpretieren entwickelt sich mit fortschreitendem Alter bei Kindern. Beim Erkennen von Ironie müssen die echten Gefühle und Gedanken des Gegenübers eingeschätzt werden (theorie of mind), und die Abweichung der verbalen Aussage davon muss erkannt werden. Wang und Kollegen fragten sich, welche neuronalen Netzwerke in die Verarbeitung von Ironie involviert sind und wie diese Muster sich in der Adoleszenz verändern. Läsionsstudien haben gezeigt, dass präfrontale Regionen und rechtshemisphärische Regionen eine grosse Rolle spielen. Da Gesichtsausdrücke und Tonfall wichtige Marker in der Interpretation von Ironie sind, sollte dieses Untersuchungsdesign, bei dem die Aufmerksamkeit auf diese Faktoren gelenkt wurde, die Hirnaktivität in temporo occipitalen Regionen und fusiform Gy-  
rus modulieren.

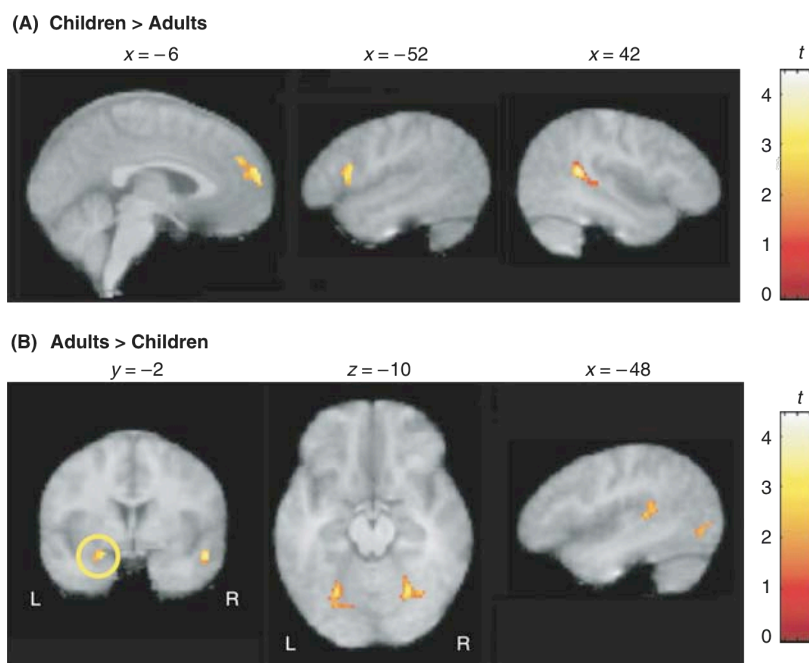


Abb. 15: Hirnaktivität bei der Interpretation von ironischen Bemerkungen bei Kindern und Erwachsenen (Wang, 2006)

Obige Aufnahmen zeigen, dass Adoleszente frontale Regionen signifikant häufiger benutzen als Erwachsene, insbesondere den mPFC und den linken IFG, sowie den rechten pSTS (15A). Im Gegensatz dazu rekrutierten Erwachsene den fusiformen Gyrus, den extrastriären Kortex, sowie die rechte Amygdala stärker. (15B)

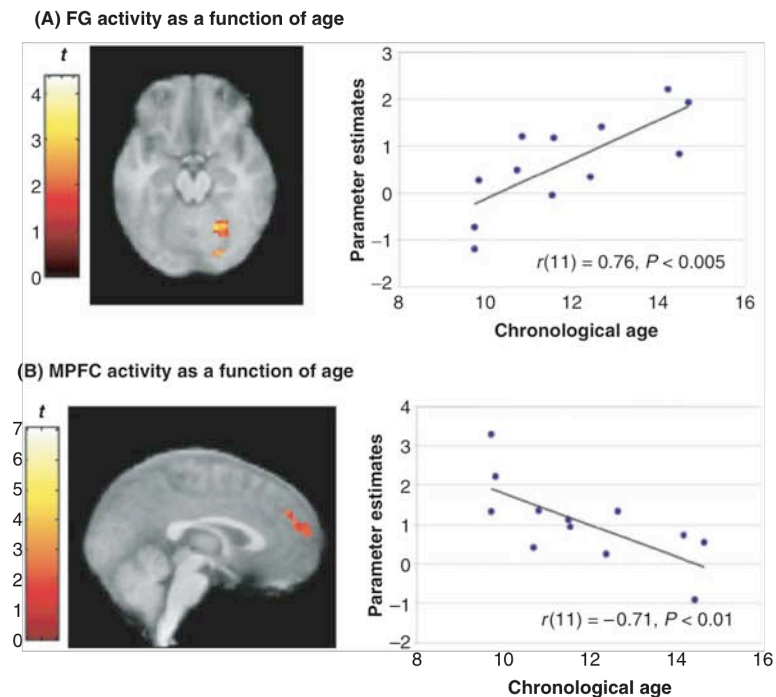


Abb.: 16: Altersabhängige Aktivitätsveränderungen im FG und MPFC nach Wang(2006)

Es scheint, dass Erwachsenen sich bei der Entscheidung ob Ironie im Spiel sei auf ihre Erfahrungen verlassen, sowie auf die Interpretation der Gesichtsausdrücke achten (fusiform Gyrus). Jugendliche sind noch stark damit beschäftigt die Zuschreibungen von Gefühlen und Gedanken anderer mit dem Gehörten zu verbinden und zu interpretieren. Darum rekrutieren sie den medialen Präfrontalkortex stärker als Erwachsene. Dass bei Jugendlichen der IFG stärker reagiert weist darauf hin, dass sie noch mehr als Erwachsene auf die Kongruenz von Tonfall und wörtlicher Bedeutung achten.

Erfahrung hat sich in obigem Experiment als eine entscheidende Grösse herausgestellt. Erwachsene besitzen mehr Erfahrungen als Heranwachsende. In einem Experiment von Blakemore (2007), wo es um das Nachdenken über Absichten (z.B. „Du bist im Kino und hast Probleme, den Screen zu sehen. Wechselst du den Platz?“) ging wurden ebenfalls relevante Verarbeitungsunterschiede im mPFC gefunden. Und zwar war beim oben beschriebenen Nachdenken über Absichten die Aktivität im mPFC bei Adoleszenten signifikant grösser. Auch



bei der physischen Bedingung (z.B. Bei einem Sturm im Wald fällt ein grosser Baum um. Entsteht ein lautes Geräusch dabei?“) gab es entsprechende Verarbeitungsunterschiede mit weniger grossem Effekt.

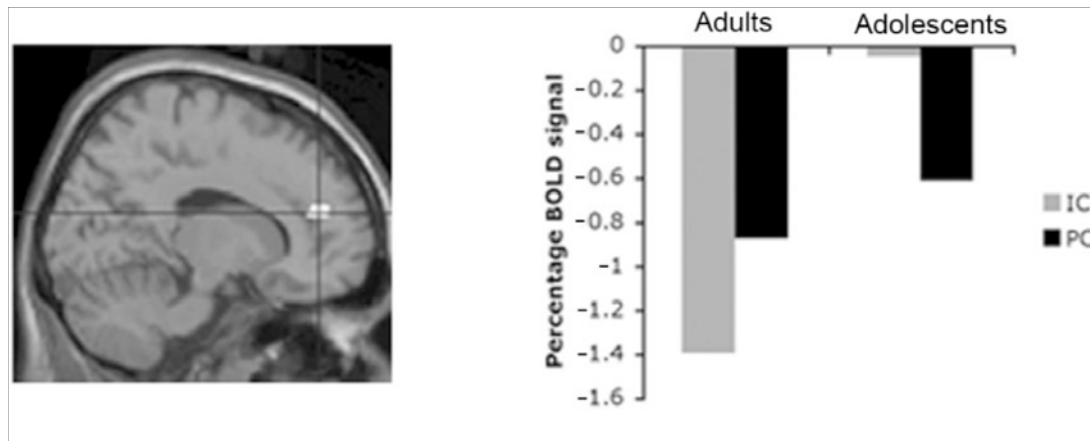


Abb. 17: Hirnaktivität im medialen Präfrontalkortex beim Nachdenken über Absichten (IC) resp. über Folgen physischer Ereignisse (PC) bei Adoleszenten und Erwachsenen. Blakemore 2007

Weiter fanden Blakemore und Kollegen signifikante Aktivitätsunterschiede im STS. Hier war das Bild genau umgekehrt die Aktivität bei Erwachsenen viel höher insbesondere in der PC – Kondition.

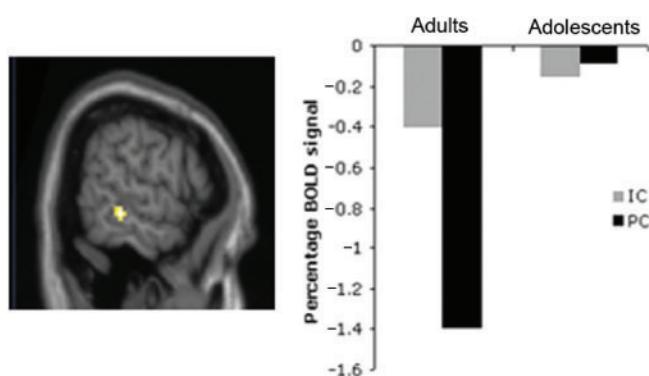


Abb. 18: Aktivität im STS (superioper temporaler Sulcus) bei Erwachsenen signifikant höher als bei Adoleszenten, v.a.in der PC – Kondition. Blakemore( 2007)

Wenn die Resultate zu struktureller Hirnentwicklung von Gogtay (2004) betrachtet werden, so wird klar, dass die am längsten andauernden Umbauprozesse im Präfrontalkortex und im inferioren Temporalkortex liegen, so können Aktivierungsunterschiede bei Adulten und Adoleszenten damit erklärt werden, dass für Lernprozesse wo es um die Perspektivenübernahme geht genau diese Gehirnregionen nötig sind.

Als letzte Studie in dieser Reihe soll die Forschung von Dosch et.al (2010) angeführt werden. Perspektivenübernahme stand auch in dieser Untersuchung im Zentrum. In dieser Untersuchung war der signifikant Andere ein autistischer Zeitgenosse, der in einer Geschichte beschrieben wurde. Die VP sollten sich überlegen, ob dieser eine Freizeitaktivität, entweder mit oder ohne Gesellschaft, gerne oder nicht gerne ausführen würde. Das Gleiche mussten sie für sich selbst entscheiden.

Auch in dieser fMRI – Studie waren frontale Regionen bei Kindern stärker aktiviert. Zusätzlich fand Dosch aber auch mehr Aktivierung in parietalen Regionen. Grundsätzlich waren die Regionen der Aktivierung bei Kindern und Erwachsenen ähnlich.

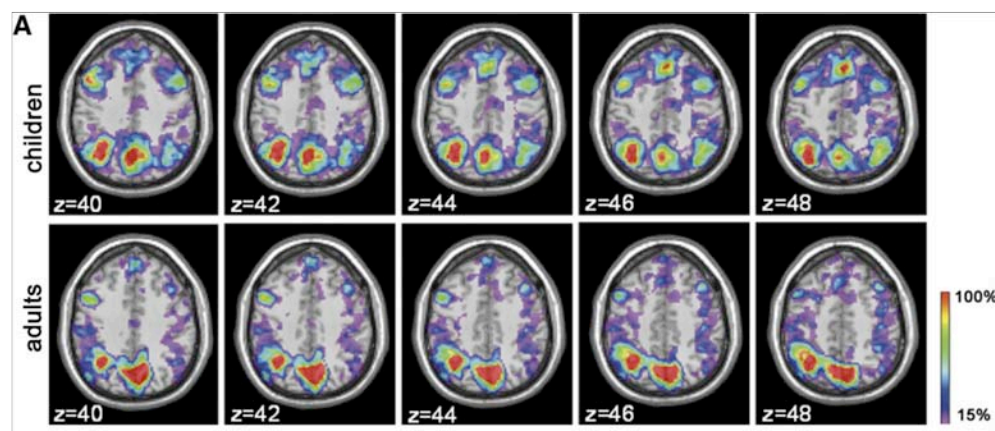


Abb19: Dosch et.al. (2010)

Kinder schienen allerdings ein ausgedehnteres Netzwerk zu rekrutieren und Erwachsene ein komprimierteres Netzwerk, mit einer Tendenz zu linken Arealen im Parietalbereich.



Abb18: Dosch et.al (2010)

Verarbeitungszeiten waren bei Erwachsenen signifikant geringer als bei Heranwachsenden. Es scheint, als ob die reduzierten Areale, welche Erwachsene rekrutieren um sich in die Perspektive Anderer zu versetzen effizienter funktionieren, oder anders gesagt, dass Heranwachsende sich in einem Lernprozess bezüglich Perspektivenübernahme befinden und deshalb auch für solche Entscheidungen mehr Zeit beanspruchen und mehr und ausgedehntere Gehirnregionen dafür zum Einsatz kommen. Diese Befunde decken sich mit den Befunden aus Studien zur strukturellen Hirnentwicklung, (Gogtay et al., 2004), dass nämlich präfrontale und parietale Hirnregionen am spätesten reifen. Auch ist aus Studien wo Experten mit

Novizen verglichen werden bekannt, dass erstere reduziertere Aktivitäten in den Tätigkeiten entsprechenden Gehirnarealen aufweisen.

## Emotionsverarbeitung

Stephanie Burnett und Kollegen gingen der Frage nach, ob es Unterschiede zwischen Erwachsenen und Adoleszenten gibt, bei der Verarbeitung von sozialen Emotionen wie Peinlichkeit und Schuld im Vergleich zu den basalen Emotionen wie Abscheu und Angst. Dazu untersuchten sie 19 weibliche Adoleszente mit einem Durchschnittsalter von 14.8 Jahren und 10 weibliche Erwachsene mit einem Durchschnittsalter von 26.4 Jahren. Den TN wurden Sätze zum Lesen vorgelegt mit der Aufforderung sich die beschriebenen Situationen vorzustellen, während sie im fMRI - Scanner lagen. Ein Beispiel für die soziale Emotion Peinlichkeit wäre etwa:

Peinlichkeit: „Du hast friedlich in der Nase gebohrt, aber dein Freund hat dich dabei beobachtet.“

Schuld: „Die Anwesenden haben über deinen besten Freund gelacht und du hast mitgelacht.“

Abscheu: „Du beobachtest eine dicke, haarige Fliege dabei, wie sie Eier auf den Mittagsteller deines Freundes legt.“

Angst: „Du bist plötzlich aufgewacht, weil jemand neben deinem Bett geschrien hatte.“

Der Protagonist in jedem Szenario war entweder die Versuchsperson selbst oder deren Mutter. Die fMRI Daten zeigten eine klare Abnahme der Aktivität im Medialen Präfrontalkortex mit zunehmendem Alter und eine Zunahme im linken Temporalpol.

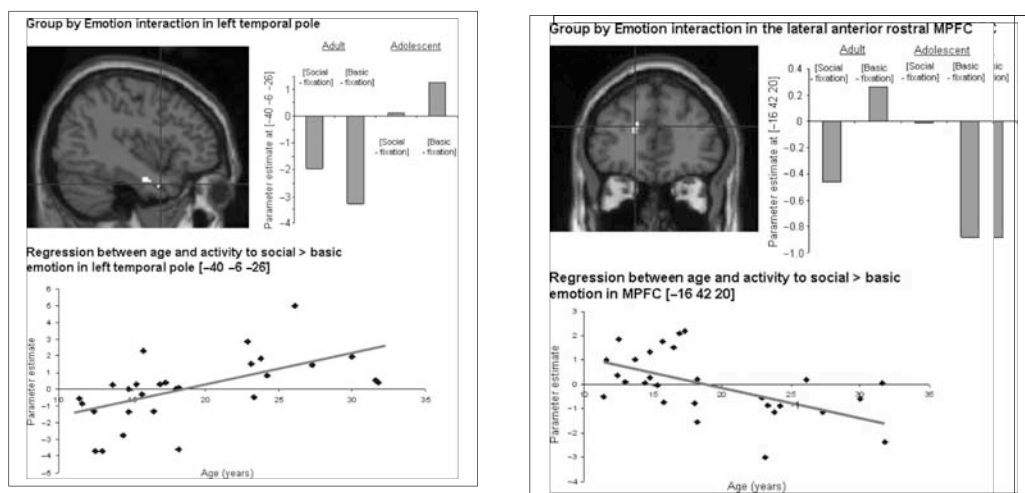


Abb 20: Entwicklungsbedingte Aktivierungsunterschiede im Temporalpol (links) und im Medialen Präfrontalkortex (rechts) im Vergleich von sozialen > basic Emotionen bei Erwachsenen und Adoleszenten.

Während in der Kindheit frontale Kortexregionen bei der Verarbeitung von sozialen Emotionen eine stärkere Aktivierung erfahren, verlagert sich diese nach anterior und die Aktivität im Präfrontalkortex nimmt ab. Damit einher gehen strukturelle Veränderungen in diesen Regionen, wie etwa die Elimination von ungebrauchten Synapsen. Welche Faktoren diese Veränderungen auslösen ist noch nicht schlüssig geklärt. Natürlich werden Hormone, welche in der Pubertät vermehrt produziert werden als Auslöser dieser Veränderungen vermutet. Ein Heranwachsender entwickelt seine Fähigkeiten zur Perspektivenübernahme, zur Empathie und anderer typischer Fähigkeiten, welche im Begriff Theory of Mind zusammengefasst werden ganz stark. Es sind auch diese Fähigkeiten, welche eine „erwachsene Reaktionsweise“ im zwischenmenschlichen Umgang erkennen lassen. Obige Studien belegen, dass in den Netzwerken des „sozialen Gehirns“ in der Adoleszenz grössere funktionale Umbauprozesse ablaufen.

#### **Literatur**

Blakemore, Sarah-Jane (2007). **Adolescent development of the neural circuitry for thinking about intentions**. SCAN 2, 130 – 139.

Blakemore, Sarah-Jayne, (2008). **The social brain in adolescence**. Nature Reviews, Neuroscience, Vol. 9, S. 267 – 277.

Burnett, S. et.al. (2008). **Development during Adolescence of the Neural Processing of Social Emotion**. Journal of Cognitive Neuroscience 21:9, S. 1736 – 1750.

Cozolino, L. (2006), **Die Neurobiologie menschlicher Beziehungen**. Kirchzarten bei Freiburg: VAK Verlags GmbH.

Dosch, M. et al. (2010). **Learning to appreciate others: Neural development of cognitive perspective taking**. NeuroImage 50, S. 837 – 846.

Hüther, G. (2006). **Die Bedeutung sozialer Erfahrungen für die Strukturierung des menschlichen Gehirns**. In Herrmann, U. (Hrsg.), Neurodidaktik (S-41-48). Weinheim und Basel: Beltz

Wang, A.T. et al. (2006). **Developmental changes in the neural basis of interpreting communicative intent**. SCAN 1, S. 107 – 121

## ***Emotionsverarbeitung und die Exekutivfunktionen***

Die Fähigkeit Emotionen und Gefühle aller Art zu verarbeiten und dabei gefasst und kontrolliert zu erscheinen und zu bleiben ist eine Fähigkeit, welche man von Erwachsenen erwartet und welche typischerweise zu den Exekutivfunktionen gehört. Kinder hingegen reagieren schnell emotional, indem sie weinen, wenn sie erschreckt werden oder wütend reagieren, wenn sie sich geärgert haben. Sie haben ihre Emotionen nicht oder nur bedingt unter Kontrolle. Verschiedene Emotionen werden auch von verschiedenen Hirnstrukturen aus verarbeitet. So ist die Amygdala bei negativen Gefühlen wie Angst, Ekel etc. aktiv, der Nucleus Accumbens bei positiven Emotionen, wie Freude Lust etc. Der Präfrontalkortex ist bekanntlicherweise die Gehirnstruktur, welcher die Exekutivfunktionen wie planen, strukturieren, entscheiden, Gefahren abschätzen, logisch denken etc. ermöglicht und diese Struktur reift zu allerletzt (Giedd, 2008). Um teenagertypische Verhaltensweisen zu verstehen ist es hilfreich das Zusammenwirken der verschiedenen beteiligten Strukturen zu verstehen und ihre altersabhängigen Reifungsprozesse mit in die Betrachtungen einfließen zu lassen.

### **Exekutivfunktionen und Angst**

Yurgelun-Todd (2006) untersuchte in einer fMRI – Studie die Aktivität im Präfrontalkortex von Teenagern während diese erschreckte oder glückliche Gesichter betrachteten.

16 Heranwachsende im Alter von 8 bis 15 Jahren (9 Knaben, 7 Mädchen) wurden mittels fMRI untersucht, während sie Gesichtsfotografien passiv betrachteten, die entweder Furcht oder Glück ausdrückten.

Verschiedene präfrontale Regionen zeigten signifikante, altersabhängige Zunahmen im Blut Sauerstoffgehalt. Die Heranwachsenden betrachteten dabei Bilder von ängstlichen Gesichtern. Die separate Untersuchung nach Geschlechtern zeigte, dass für Knaben links keine signifikante Zunahme erreicht wurde, rechts dagegen schon. Bei Mädchen war die Zunahme links und rechts signifikant. In beiden Amygdalas war keine altersbedingte Veränderung der Durchblutungsrate festzustellen.

Die Autoren der Studie interpretieren diese Befunde so, dass eine altersbedingte Zunahme der Aktivität im Präfrontalkortex eine Verbesserung der Exekutivfunktionen zur Folge hat. Obwohl es angesichts der kleinen Zahl von VP nicht unbedingt sinnvoll erscheint, könnte der Geschlechtsunterschied so interpretiert werden, dass Mädchen früher ein verantwortungsbewusstes Verhalten zeigen und früher mit Emotionen umgehen und diese auch relativieren können. Interessant ist auch, dass die Aktivität der Amygdala sich nicht signifikant verändert.

Emotionen bleiben wohl werden aber von den topdown – Verarbeitungsmustern des Präfrontalkortex zunehmend relativiert.

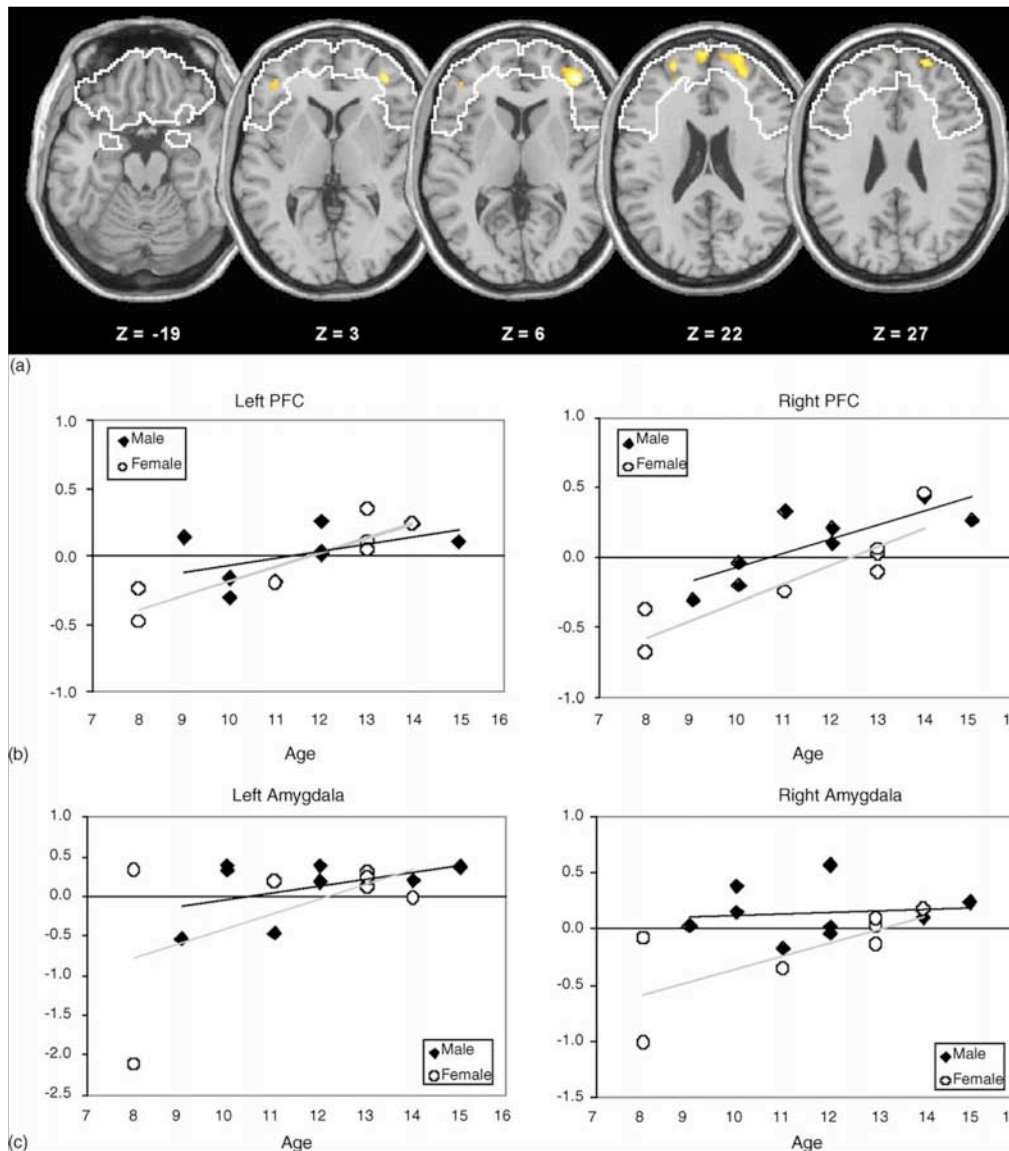


Abb 21. Die Aktivität im Präfrontalkortex und der Amygdala beim Betrachten von ängstlichen Gesichtern abhängig vom Alter und vom Geschlecht. Die Aktivität korrelierte signifikant mit dem Alter der Teenager. Dabei wurde keine Abnahme der Aktivität in der Amygdala, dem primären Verarbeitungsort der Angst festgestellt. (Yurgelun-Todd, D., 2006)

Monk und Kollegen untersuchten ebenfalls mittels fMRI die Frage der zielgerichteten Emotionsverarbeitung (top down) versus der passiven Emotionsverarbeitung (bottom up) und verglichen dabei die Aktivitätsmuster bei Heranwachsenden und Erwachsenen.

17 Adoleszente mit einem durchschnittlichen Alter von 13 Jahren und 17 Erwachsene mit durchschnittlich 32 Jahren sahen abwechselnd ängstliche, ärgerliche und glückliche Gesichter. Im ersten Block mussten sie eine Aussage darüber machen wie ängstlich sie sich selbst

fühlten. Im zweiten Block war die Nasenbreite zu beurteilen und im dritten Block sollte nur passiv beobachtet werden.

Ängstliche Gesichter verlängerten die Reaktionszeit signifikant und zwar gleichermassen bei Erwachsenen und Heranwachsenden.

Auch Monk stellte entwicklungsbedingte Veränderungen in der Hirnaktivität bei Erwachsenen und Heranwachsenden fest. Während die Aufmerksamkeit auf die eigene Reaktion auf ängstliche Gesichter gerichtet wird im Vergleich zur Aufmerksamkeit auf ein neutrales Element (Nasenbreite), was einem zielgerichtetes Beobachten entspricht, zeigten Erwachsene grössere Aktivität im Orbitofrontalkortex (OFC) als Heranwachsende (A). Wenn die Aufmerksamkeit auf ein nichtemotionales Merkmal gerichtet wurde, dann zeigten Heranwachsende grössere Aktivität im anterioren Cingulum (ACC) als Erwachsene(B).

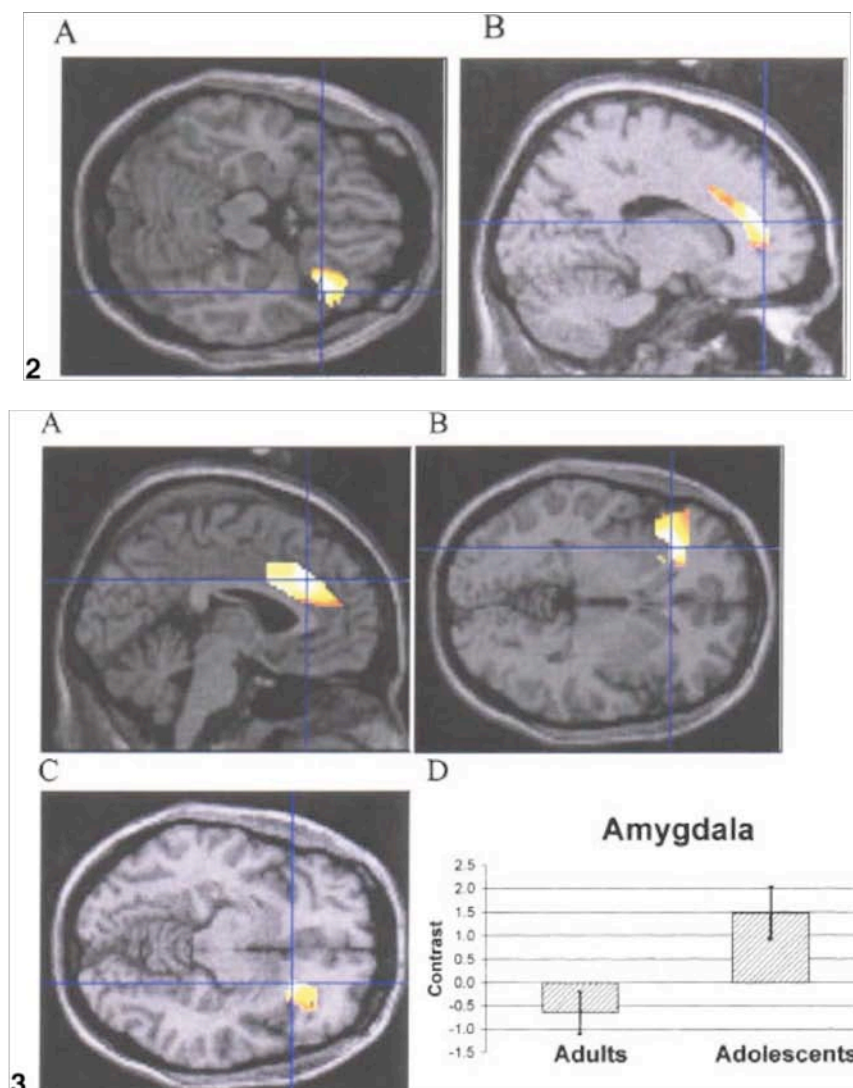


Abb 22: Aktivierungsmuster von Heranwachsenden im Vergleich zu Erwachsenen beim passiven Ansehen von ängstlichen minus neutrale Gesichter. Aktivierung im ACC (A) , im linken OFC (B), rechten OFC (C), und Amygdala (D)

Zusammenfassend können in der vorliegenden Studie zwei neue Erkenntnisse formuliert werden. Zielgerichtete Aufmerksamkeit beeinflusste die Aktivierung im OFC bei Erwachsenen stärker als bei Kindern während dem Betrachten von ängstlichen Gesichtern. Der emotionale Gehalt der Gesichtsstimuli schien die Aktivierung im ACC, OFC und der Amygdala von Adoleszenten stärker anzukurbeln als bei Erwachsenen. Diese Unterschiede traten nur zutage, wenn die Konzentrationsrichtung nicht auf die Emotionsverarbeitung sondern auf einen neutralen Beobachtungsschwerpunkt, wie die Nasenbreite gerichtet wurde.

Beide Studien stimmen darin überein, dass beim Verarbeiten von Angst bei Erwachsenen die Aktivität in entsprechenden Hirnstrukturen stärker durch die Aufmerksamkeit gesteuert wird, also eine topdown Verarbeitung stattfindet, während Heranwachsende sich eher vom emotionalen Gehalt des Gesehenen leiten lassen, emotional gefärbte Eindrücke im bottom-up Modus verarbeiten. Dies wiederum hilft das manchmal impulsive und unberechenbare Verhalten von Jugendlichen einzuordnen und erklärt deren manchmal unreife, kindliche Reaktionsweise auf bestimmte Ereignisse.

## **Exekutivfunktionen und das hirneigene Belohnungssystem**

Jugendliche sind nicht nur dafür bekannt impulsiv oder unüberlegt zu handeln, sie gehen auch scheinbar leichtfertig auf risikoreiche Vorhaben ein. Es gibt Jugendliche, welche geradezu magisch angezogen werden vom Risiko.

Casey et al. weisen darauf hin, welche Rolle der Nucleus Accumbens, wegen seiner vielen Rezeptoren für Dompamin auch als Belohnungszentrum bezeichnet, in diesem Zusammenhang spielt.

Was aber hat das Belohnungssystem mit der Tendenz sich risikoreich zu verhalten zu tun? Galvan (2007) hat auch auf die Unterschiede hingewiesen, welche bei Jugendlichen diesbezüglich durchaus auszumachen sind. Es gibt heranwachsende Teenager, welche sehr zurückhaltend und ängstlich wirken und andere welche das Risiko geradezu lieben. In seiner Untersuchung konnte er zeigen, dass die Selbsteinschätzungen der Jugendlichen bezüglich ihrer Affinität zu risikoreichem Verhalten und die Aktivität im Nucleus Accumbens korrelieren.

Jugendliche zeigen eine erhöhte Aktivität im Nucleus Accumbens im Vergleich zu Kindern und Erwachsenen (A). Die Aktivität im Accumbens korreliert positiv mit der Selbsteinschät-



zung bezüglich der Wahrscheinlichkeit sich risikoreich zu verhalten (B) und negativ mit der Selbsteinschätzung bezüglich allfälligen negativen Konsequenzen solchen Verhaltens.

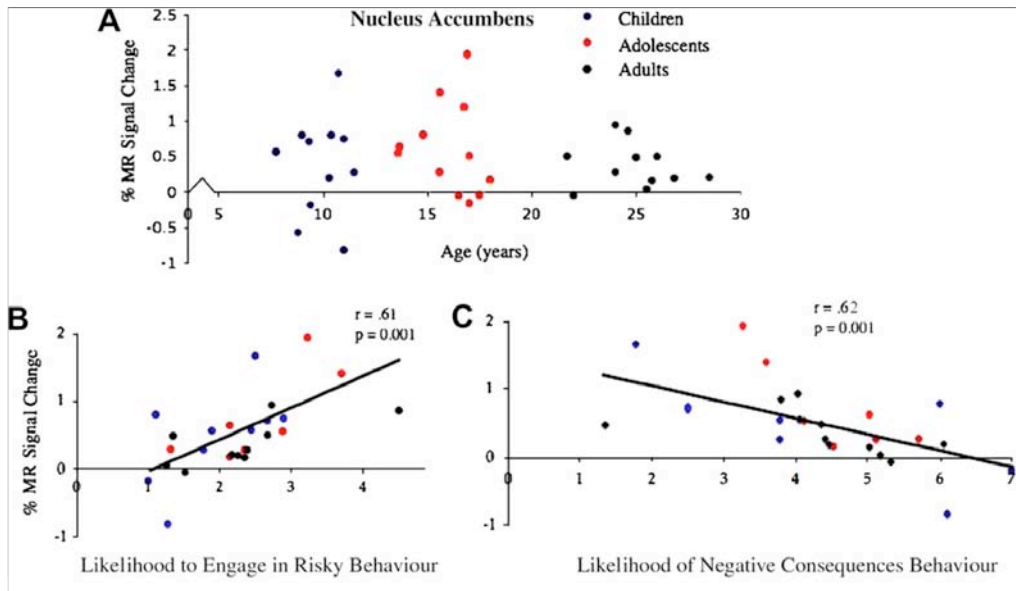


Abb 23: Accumbensaktivität und Selbsteinschätzungen bezüglich risikoreichem Verhalten (Galvan 2007)

Eine weitere Untersuchung von Galvan und Kollegen (2006) ging der Frage nach wie sich die Aktivität des Accumbens im Entwicklungsverlauf verändert wenn es um Belohnungen geht. Die Versuchsgruppe bestand aus 16 Kindern (Durchschnittsalter 9.8 J.), 13 Heranwachsenden (Durchschnittsalter 16 J.) und 12 Erwachsenen (Durchschnittsalter 25 J.). Ihre Aufgabe bestand darin auf einem Bildschirm die Position eines für 1000 msec erscheinenden Piraten-cartoons mittels Fingerdruck anzugeben. Es musste entschieden werden ob dieser links oder

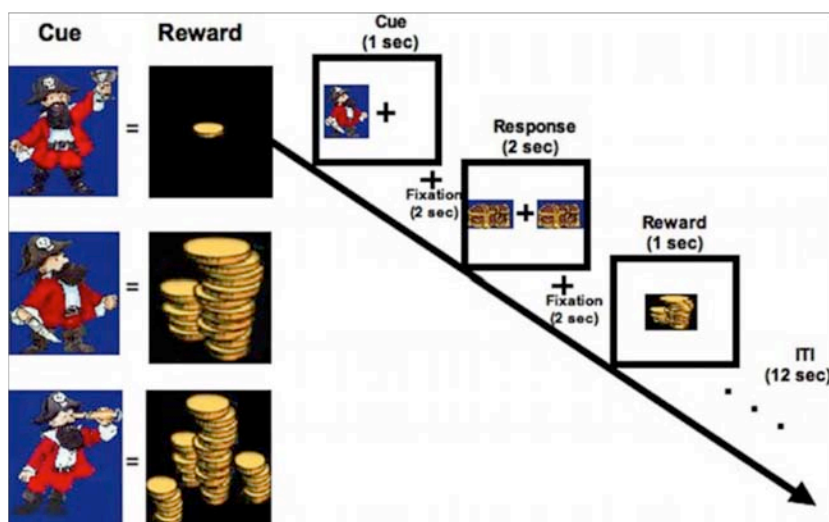


Abb 24: Versuchsanordnung (Galvan 2006)

rechts eines Fixierpunktes zu sehen gewesen war. Als Belohnung wurde danach ein kleiner, mittlerer oder grösserer Geldbetrag eingeblendet, natürlich nur dann, wenn die Aufgabe richtig gelöst worden war. Sonst erschien eine Fehlermeldung. Den VP wurde ein Betrag von mindestens \$50 versprochen und bei guter Leistung eine Erhöhung um maximal \$25.

Mittels MRI wurden die Regionen des Nucleus Accumbens und des Präfrontalcortex unter die Lupe genommen.

Bei Adoleszenten zeigten sich grössere Veränderungen im MRI Signal als bei Kindern und Erwachsenen, wenn ihnen eine Belohnung in Aussicht gestellt wurde. (A) Im Orbitofrontalcortex zeigte sich dagegen bei Kindern die grösste Signalveränderung.

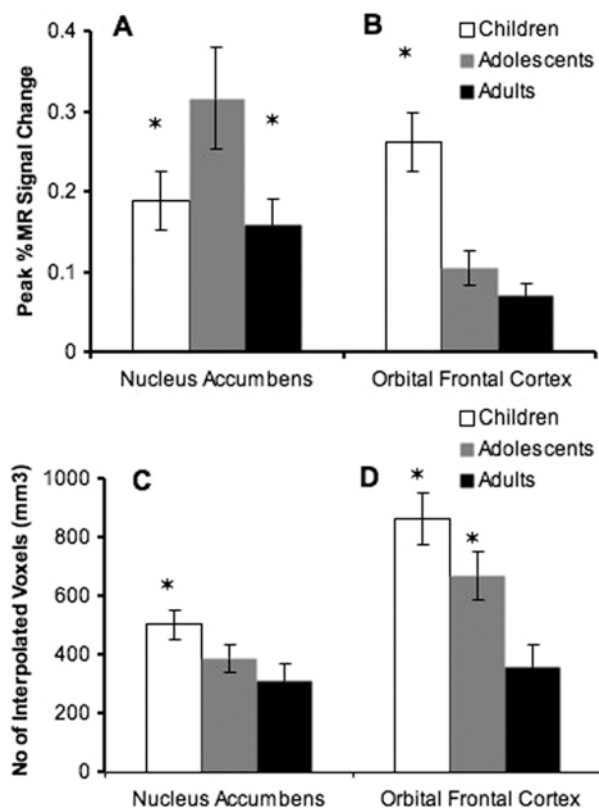


Abb 25: Aktivitätsunterschiede im Nucleus Accumbens und im Präfrontalcortex bei einer Belohnungsaufgabe bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen. (Galvan, 2006)

Interessant sind aber auch die Signalunterschiede welche im Bezug zur Grösse der Belohnung stehen. Während bei Kindern und Erwachsene zwar Unterschiede zu sehen sind zwischen kleiner, mittlerer und grosser Belohnung sind diese bei Jugendlichen stark überhöht. (Abb. 26)

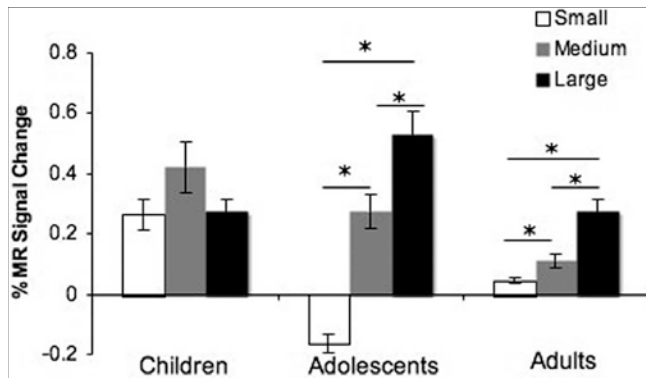


Abb. 26: % MRI Signalveränderungen im Nucc. Accumbens bei kleinen, mittleren und grossen Belohnungen im Entwicklungsverlauf

Die Autoren der Studie vermuten, dass die vermehrte Bereitschaft zu risikoreichem Verhalten und wenig überlegten Entscheidungen im Jugendalter damit zusammenhängt, dass der Accumbens früher reift als die präfrontalen Regionen. Dadurch entsteht ein Ungleichgewicht im Abschätzen der Konsequenzen von risikoreichen Aktivitäten und der Attraktivität, welche von solchen ausgeht.

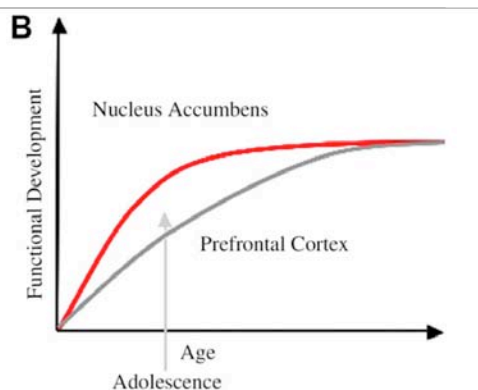


Abb 27: Entwicklungsunterschiede im Acc. Und PFC bei Jugendlichen. ( Casey, 2008)

Die Reaktionsmuster des NAcc von Jugendlichen glichen demjenigen von Erwachsenen. Diejenigen des OFC hingegen eher dem von Kindern. Daraus schliessen die Autoren, dass der NAcc früher reift als der OFC. Es bleibt eine Vermutung, dass im Jugendalter Feinabstimmungen zwischen diesen Hirnregionen stattfinden im Zusammenhang mit Belohnung und typischen Exekutivfunktionen. Um dies zu zeigen sind andere Untersuchungsmethoden nötig, wie DTI.

## Resultate von DTI – Studien

Mit der Diffusion Tensor Imaging Technik (DTI) kann Myelin im Gehirn sichtbar gemacht werden. Diese Technik basiert auf der Tatsache, dass die Diffusion von Wasser in der Wei-

ssen Masse des Gehirns anisotropisch ist, d.h. dass sich Wasser nicht gleichmässig verteilt, sondern bevorzugt entlang der Axone. Die Myelinisierung der Axone verstärkt diese Anisotropy. Hohe Anisotropy ist demnach ein Hinweis auf gut gebündelte und myelinisierte Axone, welche die Effizienz in der Kommunikation zwischen Nervenzellen verstärkt. Nagy et.al. (2004) haben Kinder im Alter zwischen 7 und 18 Jahren untersucht. Sie lösten Leseaufgaben und Arbeitsgedächtnisaufgaben und wurden gescannt. Signifikante Korrelationen zwischen den Scandaten und den Resultaten der kognitiven Tests wurden gefunden im linken Frontallappen und im Corpus Callosum für das Arbeitsgedächtnis und im linken Temporallappen für die Leseaufgabe.

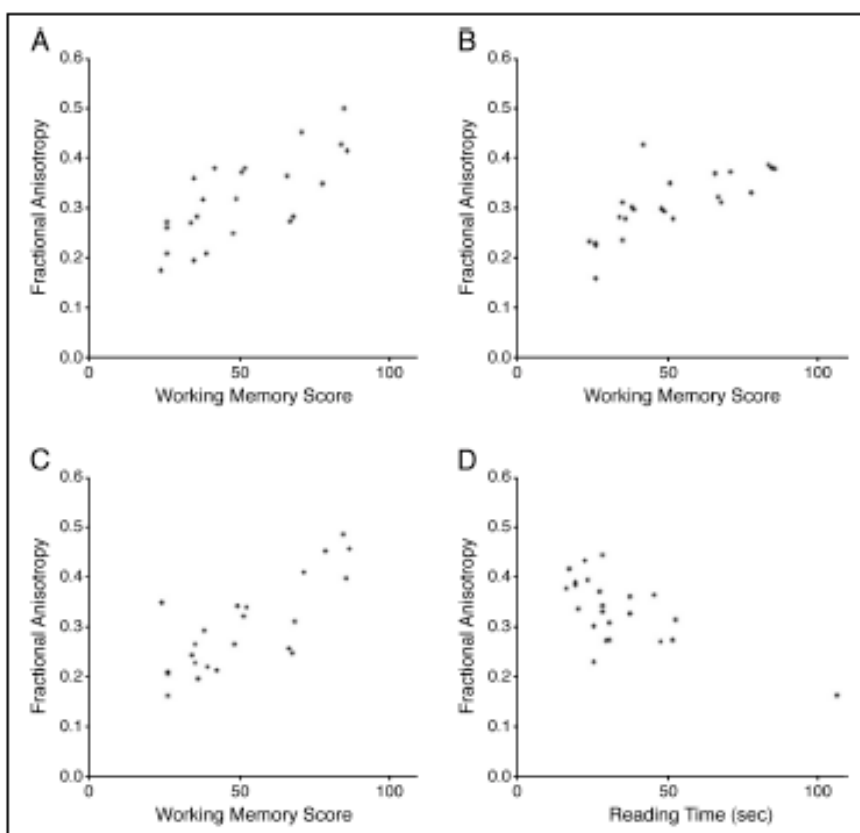


Abb. 28: Korrelationen zwischen Scanwerten und kognitiven Aufgaben (Kinder und Jugendliche 7 – 18 Jahre; N = 23)  
A = links superior fronto-parietal; B = Links inferior frontal; C = Corpus Callosum; D = linker Temporallappen (Nagy 2004)

Weitere Studien, welche die gleiche Technik benutzten zeigten ebenfalls positive Korrelationen zwischen Anisotropy und kognitiven Funktionen. Dabei zeigte sich, dass hohe Anisotropy im Temporallappen mit dem Gedächtniskapazität, im Frontallappen mit Sprachfähigkeit, in frontalen und occipitoparietalen Gebieten mit IQ, in temporalen und parietalen Gebieten mit Lesefähigkeiten und in frontostriatalen Gebieten mit der Fähigkeit Reaktionen auf visuelle Stimuli zu unterdrücken zusammenhängen.(Giedd 2008)

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die Unterschiede im Heranreifen des Nucleus Accumbens, welcher auch als Belohnungszentrum gilt und demjenigen von frontalen Regionen, der Sitz der Exekutivfunktionen im Erleben und Verhalten von Jugendlichen ein Ungleichgewicht besteht. Aktivitäten, welche eine Belohnung versprechen, so wie die Fingerdrückaufgabe mit den Piratencartoons üben eine übersteigerte Attraktivität auf das jugendliche Gehirn aus. Dabei scheinen kleine Belohnungen extrem unattraktiv und größere sehr attraktiv zu sein, wie die Accumbensaktivität vermuten lässt. Die Resultate der DTI – Studien von Giedd lassen vermuten, dass auch zwischen dem hirneigenen Belohnungssystem und den frontalen Hirnregionen die Kommunikation im Jugendalter optimiert wird und zwar zugunsten der Exekutivfunktionen.

### **Literatur**

Casey, B.J. et.al (2008). **The adolescent brain**. Developmental Review 28:62 – 77.

Ernst, M., Pine, D.S., Hardin, M. (2006). **Triadic Model of the neurobiology of motivated behavior in adolescence**. Psychological Medicine, 36. 299 – 312.

Galvan, A. et.al (2006). **Earlier Development of the Accumbens relative to Orbitofrontal Cortex might underlie risk-taking Behavior in Adolescents**. Journal of Neuroscience, 26(25):6885 – 6892.

Galvan, A., et al. (2007). **Risk taking and the adolescent brain. Who is at risk?** Developmental Science, 10. F8 – F14.

Monk, Ch. et al. (2003). **Adolescent immaturity in attention-related brain engagement to emotional facial expressions**. NeuroImage 20, 420-428.

Yurgelun-Todd, D. et al. (2006). **Fear-related activity in the prefrontal cortex increases with age during adolescence: A preliminary fMRI study**. Neuroscience Letters 406, S. 194 – 199.

## Teenager und Stress

Viele Studien zur Verarbeitung von Stress in der Adoleszenz stammen aus Tierversuchen. Dies hat einerseits sicher ethische Gründe, andererseits kann es problematisch sein, die Befunde aus Versuchen mit Ratten *tel quel* auf Menschen zu übertragen. Adoleszenz scheint eine für Stress sehr sensible Phase zu sein. Es wird diskutiert, ob die Auswirkungen von grossem Stress auf verschiedene Hirnstrukturen, wie etwa den Hippocampus aber auch Folgen von zu grossem Stress, wie durch starke Depression u.ä. in der Pubertät deshalb grössere und bleibende Folgen in bestimmten Hirnstrukturen zur Folge haben.

Die typische Stressreaktion verläuft über die Hypophysen – Hypohalamus Nebennieren-Achse (HPA) und wird in einem komplizierten Kreislauf reguliert. Diese dreigliedrige Hormonachse setzt sich zusammen aus dem hypothalamischen Peptidhormon CRH (Corticotropic Releasing Hormone) dem hypophysären Peptidhormon ADTH (Adenocorticotropes Hormone), sowie dem Nebennierenrindenhormon Cortisol. Die drei Hormonkreisläufe haben

auch je eine negative Rückmeldeschleife, welche die Produktion und Sekretion der Botenstoffe reguliert. Wie Kirschbaum (2001) darlegt, hat Cortisol relevanten Einfluss auf das Gedächtnis und auf das Immunsystem. Der Hippocampus eine für das deklarative Gedächtnis wichtige Struktur enthält die meisten Cortisol - Rezeptoren im gesamten Gehirn. In verschiedenen Studien konnte Kirschbaum zeigen, dass Stressoren die Gedächtnisleistung signifikant herabsetzen. Von Studien mit Ratten (Romeo, 2010) ist uns zum Beispiel bekannt, dass die Wirkung von Cortisol bei Jugendlichen Tieren viel länger anhält.

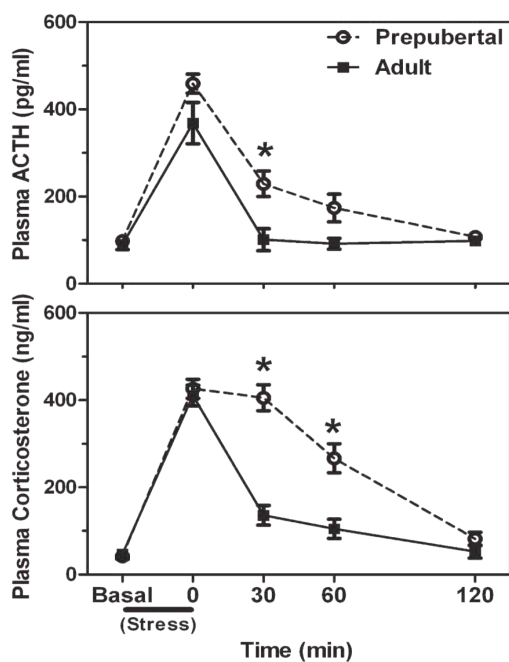


Abb 29: Verlangsamter Abbau des Stresshormons bei heranwachsenden Ratten

Während bei erwachsene Tieren die Stressreaktion nach 30 Minuten reguliert ist, dauert dieser Prozess bei adulten Tieren 4 mal länger. Bei wiederholtem Stress passen sich adulte Tiere an diesen Zustand an und regulieren die Ausschüttung des Stresshormons herunter.

Adoleszenten Tieren gelingt dies noch nicht. Auch bei wiederholtem Stress verläuft die Stressreaktion bei ihnen immer gleich ab.

Die Wirkung von Dauerstress auf heranwachsende Ratten führt zu einem signifikant kleineren Hippokampusvolumen. (Isgor, 2004)

Untersuchungen von Stressreaktionen bei Jugendlichen gibt es nicht sehr viele und es sind aus ethischen Gründen viele Voraussetzungen zu erfüllen und Einschränkungen zu beachten. Stroud et al. (2010) haben eine Gruppe von 39 Kindern (7 – 12 Jahre) und 43 Jugendlichen (13 – 17 Jahre) mit Stress konfrontiert und dabei verschiedene physiologische Messungen durchgeführt. Der erste Stressor bestand in einem Auftrittstest (eine Variante des TSST-C), wo die VP vor Publikum einen 5-minütigen Vortrag zu einem Sachthema halten mussten, 5 Minuten Kopfrechnen sollten und einen „mirror tracing task“ zu absolvieren hatten, bei dem den Konturen eines sechseckigen Sternes im Spiegel nachgefahren werden musste. Der zweite Stressor war eine peer rejection Situation. Kinderschauspieler waren so geschult worden, dass sie die VP zuerst in ein Gespräch über Familie, Freizeit und Wochenendgestaltung involvierten und ihn dann unmerklich immer mehr ausschlossen. Die physiologischen Tests bestanden in Speichelproben um den Cortisolgehalt zu bestimmen, in Messungen des Blutdruckes und der Herzschlagrate. Die Resultate waren sehr deutlich. Alle stressrelevanten Messungen waren bei Teenagern deutlich erhöht im Vergleich zu Kindern.

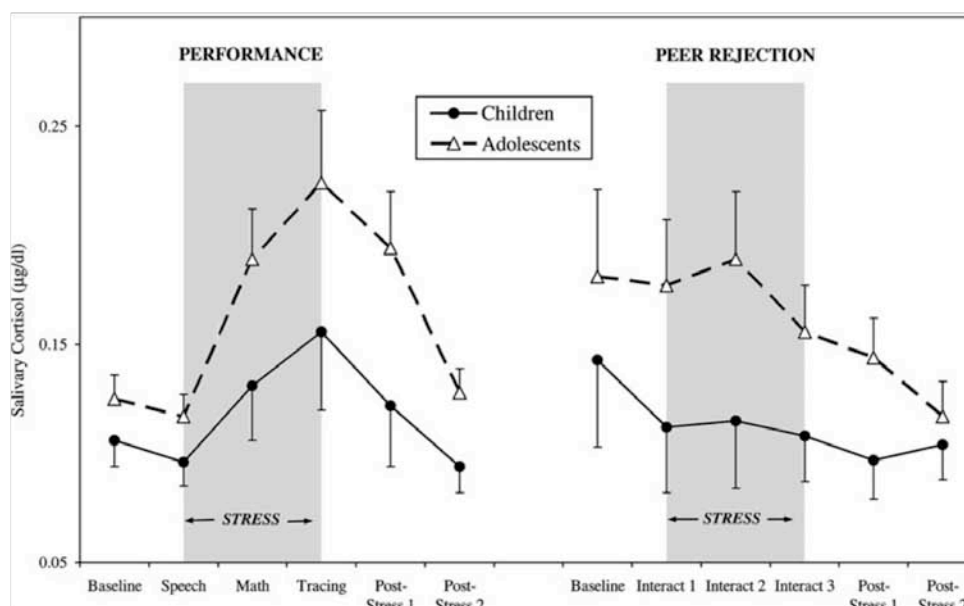


Abb: 30 Die Werte für Cortisol sind hier in der Performanzsituation signifikant.

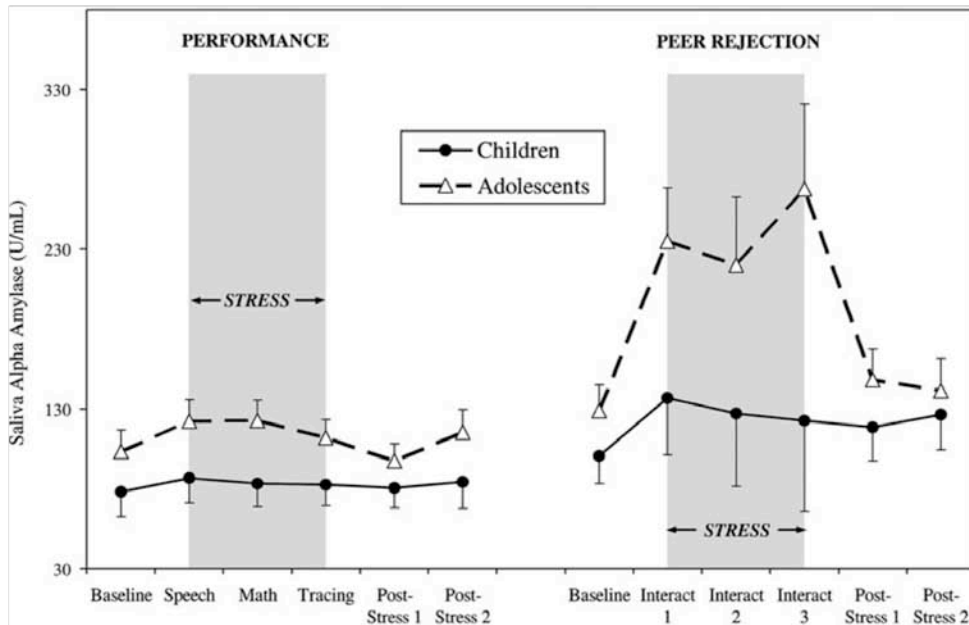


Abb. 31: Hier sind die Werte für Alpha Amylase in der peer rejection – Situation signifikant.

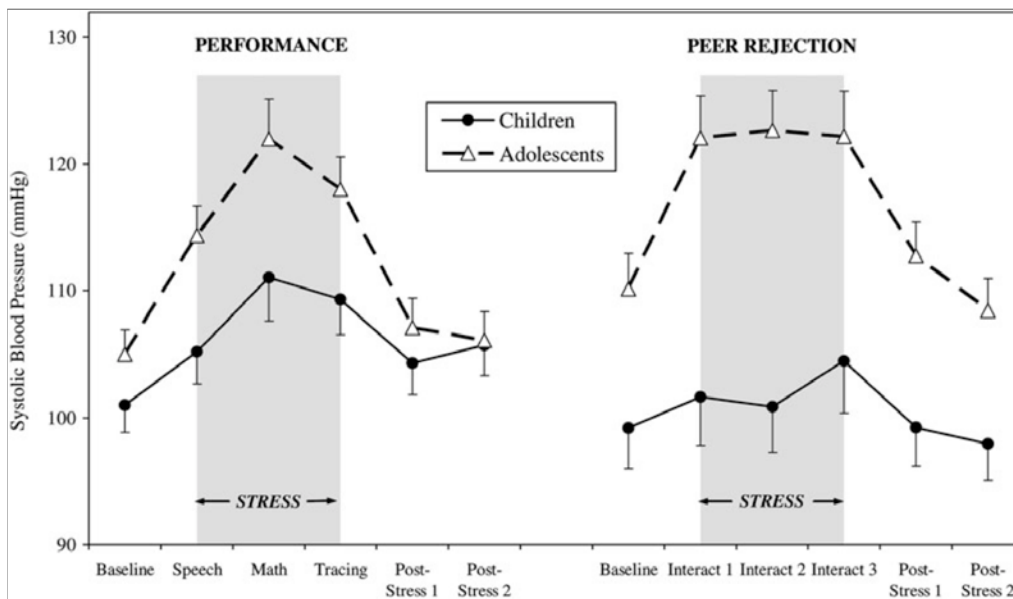


Abb. 32: Systolischer Blutdruck unter Stress bei Adoleszenten signifikant erhöht im Vergleich zu Kindern.

Auch für den systolischen Blutdruck wurden in beiden Untersuchungssituationen signifikante Werte gefunden. Für den diastolischen Blutdruck (ohne Bild) wurden nur für die Performanzsituation Unterschiede gefunden.

Die Resultate der Studie sind deshalb interessant, weil sie zeigen, dass es in der Adoleszenz eine signifikante Veränderung gibt in der ADH Achse. Diese physiologischen Veränderungen drücken sich aber für das Individuum nicht in einer veränderten emotionalen Lage aus.



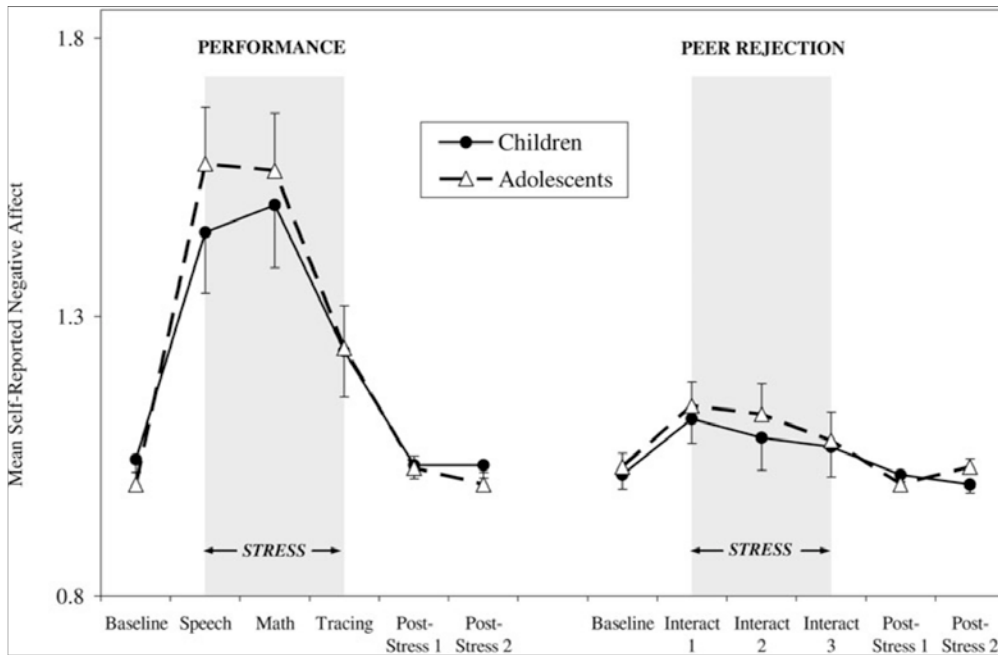


Abb. 33: Selbst wahrgenommener Stress bei Kindern und Jugendlichen während einer experimentell ausgelösten Stressreaktion.

Der durchschnittliche negative Affekt ist bei Jugendlichen während der Untersuchungssituation zwar leicht, aber nicht signifikant erhöht. Stroud et al. kommentieren diese Tatsache auch mit einem möglichen Selbstberichts bias. Wo Kinder wahrscheinlich eher dazu neigen Emotionen überzubewerten sind Jugendliche versucht diese herunterzuspielen.

#### Literatur:

Dahl, R. et al. (2009). **Heightened stress responsiveness and emotional reactivity during pubertal maturation:** Implications for psychopathology. *Development and Psychopathology* 21;1-6

Isgor C. et al. (2004). **Delayed Effects of Chronic Variable Stress During Peripubertal- Juvenile Period on Hippocampal Morphology and on Cognitive and Stress Axis Functions in Rats.** *Hippocampus* 14; 636-648.

Kirschbaum, C. (2001). **Das Stresshormon Cortisol – ein Bindeglied zwischen Psyche und Soma.** Jahrbuch der Uni Düsseldorf HHU. 2001.

Romeo, R. (2010). **Adolescence a central event in shaping stress reactivity.** *Developmental Psychobiology* 52:244 – 253.

Seiffge-Krenke, I. 2000. **Causal links between stressful events, coping style, and adolescent symptomatology.** Journal of Adolescence 23. 675 – 691.

Stroud, L. et al. (2010). **Stress response and the adolescent transition: performance versus peer rejection stressors.** Development and Psychopathology 21; 47-68.

## ***Das Zürcher Ressourcenmodell als Selbstmanagement – Tool im Jugendalter***

### **Grundsätzliche Überlegungen**

Das Gehirn von heranwachsenden Menschen in der Adoleszenz erlebt vielfältige Umbauprozesse. Regionen werden neu ausgebaut und vielfältig verknüpft. Im Verlaufe dieses Prozesses erlangen Jugendliche vermehrte Fähigkeiten zur Empathie, sie lernen ihre Gefühle, insbesondere ihre Ängste zu relativieren und realistisch einzuschätzen und den Kick, welche manche Betätigungen zu versprechen scheinen in Relation zu setzen zu deren Folgen.

Dabei ist eine Durststrecke zurückzulegen, denn die Jugendlichen sind zu differenzierten Wahrnehmungen fähig, es fehlt ihnen aber noch die Erfahrung um diese einzuordnen. Insbesondere limbische Regionen, welche für Angst und Belohnung aber auch Stress zuständig sind, entwickeln sich früher als kortikale Regionen, welche durch planerische und vorausschauende Aktivitäten die Impulse der limbischen Regionen hemmen und relativieren. Somit sind bottom – up geleitete Reaktionsmuster bevorzugt im Vergleich zu top – down regulierten. Das heisst, dass Jugendliche sich eher von Gefühlen leiten lassen, Entscheidungen impulsiv fällen, unüberlegt handeln, sich von verschiedenen Aktivitäten, welche Fun, Kick oder Exitement versprechen leiten lassen. Die Gefahren, welche dadurch für das Jugendalter entstehen wurden vielfach beforscht und sind an anderer Stelle ausführlich dargestellt worden. (Jerusalem, päd. Psych.)

Die wichtige Aufgabe des Jugendalters besteht zweifellos in der Herausbildung der eigenen Identität. Die Funktion, welche ein ZRM - Selbstmanagementtraining in diesem Lebensabschnitt übernehmen kann haben Storch und Riedener (Storch & Riedener, 2005) in den einführnden Kapiteln ihres Buches dargestellt.

Wir haben gesehen, dass durch das frühere Heranreifen von tiefer liegenden und unbewusst arbeitenden Hirnregionen ein Ungleichgewicht entsteht. Das Zürcher Ressourcen Modell bezieht genau diese Regionen ins Training mit ein, was im Jugendalter sehr sinnvoll er-

scheint, weil eben diese Hirnstrukturen schon einen gewissen Reifegrad aufweisen, wogegen die typischen top – down Verarbeitungsstrukturen, welche den Exekutivfunktionen zugrunde liegen noch unreif sind. Ein ZRM – Training hält sich in seinem Verlauf an das Rubikon Modell (Heckhausen, 1989), ein Stufenmodell zielgerichteten Handelns, und wurde durch Storch und Krause (Storch & Krause, 1991) um die Bedürfnisfindung erweitert zum Rubikon – Prozess. Schon die Diagnostik der Bedürfnisse wird im impliziten Modus über projektive Verfahren, wie Bilderwahl bewerkstelligt. Dann werden die Zielformulierungen über somatische Marker (Damasio A., 1999) validiert und später gefestigt und durch priming und Erinnerungshilfen auch Handlungsvorsätze im impliziten Modus gespeichert. All diese Verfahren stützen sich auf die Funktionsweise von phylogenetisch älteren Regionen, wie dem limbischen System. Da wie schon erwähnt diese Regionen im Jugendalter zuerst reifen und stärker dominieren, als das langsam arbeitende Bewusstsein und da die Exekutivfunktionen noch unausgereift sind, scheint es sehr sinnvoll und wohl auch wirkungsvoll zu sein Handlungssteuerung aber auch die Arbeit an Haltungen bei Jugendlichen über genau diese Regionen zu betreiben.

### **ZRM Training und Stress im Jugendalter**

Eine interessante Fragestellung wäre diejenige, wie das ZRM Training Stress im Jugendalter beeinflusst. Im Kapitel Teenager und Stress wurde dargelegt, dass die Hypothalamus Nebennieren Achse im Jugendalter sehr anfällig auf Stress reagiert. Insbesondere sind die Cortisolwerte bei Jugendlichen signifikant höher und zwar wie die Studie von Stroud et al. (2010) zeigt bei sozialen Anforderungen, welche durch gutes Abschneiden (Performanz) und durch zwischenmenschliche Kontakte (peer rejection) ausgelöst werden. Diese beiden Lebensbereiche erlangen im Jugendalter hervorragende Bedeutung. In der schulischen Laufbahn werden in diesem Alter wesentlich Weichen gestellt, indem Aufnahmeprüfungen an weiterführende Schulen zu bestehen sind (Performanz) oder vielfältige neue Anforderungen eines Berufsfeldes zu bewältigen sind. Aber auch im Beziehungsbereich erweitert sich der Spielraum, indem Freundschaften enorm an Bedeutung zunehmen und nicht selten sehr wichtig werden für die Identitätsbildung; erste Liebe und Liebeskummer kommen auf den Heranwachsenden zu.

Interessant ist nun in diesem Zusammenhang, dass Küttel (Küttel, 2005) zeigen konnte, dass durch ein ZRM Training die Cortisolwerte von 26 untersuchten Studenten nach einem Stress-test signifikant tiefer waren als bei den 28 Teilnehmern der Kontrollgruppe dieses Experimentes. Es ist davon auszugehen, dass auch Jugendliche diese Effekte erfahren und durch ein ZRM Training in Stresssituationen reduzierte Cortisolwerte aufweisen würden im Vergleich zu Jugendlichen, welche keine ZRM Training absolviert haben. Natürlich wäre es interessant die Studie von Küttel mit einer geeigneten Zahl von Jugendlichen zu replizieren. Stress ist wohl für Leistung wichtig, aber nur in einem bestimmten Masse leistungsförderlich. Wenn der Stress zu hoch wird, das haben Studien zu Prüfungs- und insbesondere Mathematikängsten gezeigt (Ashcraft, et al., 2001), so wird das Arbeitsgedächtnis so stark geblockt, dass die Leistung drastisch abnimmt. Interessanterweise sind 30% der Studierenden von solchen Ängsten betroffen, und zwar in einem Masse, das leistungsrelevant wird. Interventionsmethoden greifen kaum, einzig Desensibilisierungsmethoden, welche auf implizite, weniger bewusst arbeitende Strukturen zurückgreifen, zeigen geringen Erfolg. All dies zusammengekommen, könnte es möglich sein, durch ZRM – Training bei Jugendlichen auch eine verbesserte kognitive Leistung zu erreichen.

### **Ein Beispiel aus der Praxis**

Im Programm ChagLL (Chancengleichheit durch Arbeit an der Lernlaufbahn) werden pro Jahr 12 Jugendliche gefördert, welche aus bildungsfernen Elternhäusern stammen und einen 100%-igen Migrationshintergrund haben. Durch das Förderprogramm, welches ein Jahr dauert, bereiten sich die Jugendlichen auf eine Aufnahmeprüfung an ein Gymnasium oder eine Berufsmittelschule vor. Diese Vorbereitung besteht einerseits in einem fachlichen Training, andererseits aus motivationalen Komponenten. So absolvieren die Jugendlichen auch ein ZRM Training. Obwohl sich die Jugendlichen alle zum Ziel setzen die Aufnahmeprüfung an eine weiterführende Schule zu bestehen unterscheiden sich ihre Mottoziele ganz wesentlich – sie sind hoch individuell und deshalb auch sehr wirkungsvoll. Interessant sind auch die Einschätzungen der Wirksamkeit, welches sie diesem Training zuschreiben in der abschliessenden Befragung. So meinten neun der elf Teilnehmer der zweiten Kohorte des ChagALL - Programmes, worauf sie auf keinen Fall verzichten wollten sei das ZRM Training, denn sie hätten davon sehr profitiert. Zwei der Absolventen haben unter der offenen Frage, welches der

Trainingselemente ihnen am allermeisten genützt hätte das ZRM Training erwähnt. Einzelne Absolventen haben folgendes geschrieben zum ZRM Training: „ am meisten geholfen hat mir das Zürcher Ressourcen Modell. Durch dieses konnte ich mein Ziel bestimmen.“ Man muss hier anmerken, dass die Schüler mit Migrationshintergrund nicht über optimale Deutschkenntnisse verfügen. Was der Tn wohl meinte mit bestimmen, geht weiter und beschreibt zielgerichtetes Handeln. Eine andere Schülerin schreibt: „ Ich denke, das was mir am meisten gebracht hat sind die ZRM Nachmittage. Hier lernt man sich von verschiedenen Seiten kennen.“ Eine andere Teilnehmerin erinnert sich vor allem an die Ressourcen und formuliert: „Die Ressourcen waren eine sehr gute Motivation. Man sollte die Ressourcen Nachmittage unbedingt beibehalten.“

Detailliertere Infos zum ZRM – Training im Programm ChagALL wird Corinna Bünger in ihrer Arbeit darlegen.

Literatur.

Ashcraft, M. et al. , (2001). **The Relationships among Working Memory, Math Anxiety, and Performance.** Journal of Experimental Psychology. Vol 130, 224 – 227.

Heckhausen, H. 1989. **Motivation und Handeln.** Springer: Berlin.

Küttel, Y. & Stüssi A. (2005). **Stressmanagement mit dem Zürcher Ressourcenmodell.** Eine Studie über die Effekte eines ressourcenaktivierenden Stressmanagementtrainings auf die neuroendokrine Stressreaktion. Lizentiatsarbeit Uni ZH.

Meier S. (2009). **ChagALL: Migranten und die Kunst des Lernens.** Bildung Schweiz 10.

Storch, M.&Krause, F. (2002). **Selbstmanagement – ressourcenorientiert.** Grundlagen und Trainingsmanual für die Arbeit mit dem Zürcher Ressourcenmodell ZRM. Huber: Bern.

Storch, M. Riedener, A. (2005). **Ich pack's!-Selbstmanagement für Jugendliche.** Ein Trainingsmanual für die Arbeit mit dem Zürcher Ressourcen Modell. Huber:Bern.