

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR PSYCHIATRIE UND PSYCHOTHERAPIE
PROF. DR. R. RUPPRECHT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

NEURONALE KORRELATE MORALISCHEN URTEILENS
BEI JUGENDLICHEN IM ALTER ZWISCHEN 14 UND 16 JAHREN

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Katharina Robold

2011

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR PSYCHIATRIE UND PSYCHOTHERAPIE
PROF. DR. R. RUPPRECHT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

NEURONALE KORRELATE MORALISCHEN URTEILENS
BEI JUGENDLICHEN IM ALTER ZWISCHEN 14 UND 16 JAHREN

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Katharina Robold

2011

Dekan:

Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. Göran Hajak

2. Berichterstatter:

Prof. Dr. Wilhelm Schulte-Mattler

Tag der mündlichen Prüfung:

20.07.2012

Für meine Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis

1.	Einführung.....	6
2.	Theoretischer Hintergrund.....	8
2.1	Rahmenbedingungen und Grenzen menschlicher Moralität.....	8
2.2	Philosophische Grundlagen moralischer Entscheidungen.....	10
2.3	Psychologische Grundlagen moralischer Entscheidungen.....	12
2.3.1	Moralpsychologisches Modell nach Piaget.....	12
2.3.2.	Moralpsychologisches Modell nach Kohlberg.....	13
2.3.3.	Sonstige Moralpsychologische Modelle nach Haidt und Hauser.....	13
2.4	Neurobiologische Grundlagen moralischer Entscheidungen.....	14
2.4.1	Läsionsstudien nach Damasio.....	15
2.4.2	Untersuchungen nach Greene.....	16
2.4.3	Untersuchungen nach Moll.....	18
2.4.4	Zusammenfassung der Studienlage zur menschlichen Moralität.....	20
2.5	Moralentwicklung bei Jugendlichen.....	27
2.5.1	Strukturelle Hirnentwicklung.....	29
2.5.2	Funktionelle Gehirnveränderungen in der Adoleszenz.....	31
2.5.3	Sozio-kultureller Einfluss auf die Adoleszenz.....	34
2.6	Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit.....	35
3.	Methoden.....	39
3.1	Grundlagen der funktionellen Magnetresonanztomographie.....	39

3.2	Stichprobe.....	40
3.3	Material.....	41
3.3.1	Experimentelles Design.....	41
3.3.2	Stimuli.....	42
3.3.3	fMRT-Datenaquisition.....	44
3.3.4	Versuchsablauf.....	45
3.4	Statistische Analyse.....	47
3.4.1	Analyse der Verhaltensdaten.....	47
3.4.2	Analyse der fMRT-Daten.....	47
4.	Ergebnisse.....	50
4.1	Verhaltensdaten.....	50
4.1.1	Verhaltensdaten Jugendliche.....	50
4.1.2	Verhaltensdaten Erwachsene.....	50
4.2	fMRT-Daten.....	51
4.2.1	Jugendliche: Moralische Bedingung > Neutrale Bedingung.....	51
4.2.2	Erwachsene: Moralische Bedingung > Neutrale Bedingung.....	53
4.2.3	Vergleich der Probandengruppen.....	55
5.	Diskussion.....	58
5.1	Kontrast M > N: Identische Aktivierungen bei Jugendlichen und Erwachsenen.....	60
5.1.1	Aktivierungen im Präfrontalkortex.....	61
5.1.2	Aktivierungen im Temporallappen.....	65
5.1.3	Weitere Aktivierungen: TPJ, Präcuneus.....	66
5.2	Vergleich der Probandengruppen.....	69
6.	Zusammenfassung und Ausblick.....	72

7.	Literaturverzeichnis.....	75
-----------	----------------------------------	-----------

8.	Anhang.....	87
-----------	--------------------	-----------

Erklärung

Danksagung

Lebenslauf

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ACC	Anteriorer cingulärer Cortex
aTC	Anteriorer Temporalcortex
CT	Computertomographie
DLPFC	Dorsolateraler präfrontaler Kortex
EEG	Elektroenzephalographie
fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie
MPFC	Medialer präfrontaler Cortex
OFC	Orbitofrontaler Cortex
PCC	Posteriorer cingulärer Cortex
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
PFC	Präfrontaler Cortex
SPECT	Single-Photon-Emissions-Computertomographie
STS	Superiorer temporaler Sulcus
ToM	Theory of Mind
TPJ	Temporo-Parietale Junction
VMPFC	Ventromedialer präfrontaler Cortex

1. EINFÜHRUNG

„Moral ist die Gesamtheit der Normen und Werte innerhalb einer sozialen Gruppe, die deren Zusammenleben reguliert.“ (Adolphs, 2003)

Bereits diese Definition des Moralbegriffs verdeutlicht den hohen Stellenwert, den Moralität hinsichtlich des individuellen Sozialverhaltens und somit letztlich für alle menschlichen Gesellschaftsformen hat. Mit dieser Relevanz ist auch das Interesse verschiedenster Fachdisziplinen (Philosophie, Psychologie, Medizin, Sozialwissenschaften, Biologie) zu erklären, welche sich mit der Moral wissenschaftlich beschäftigen. Schon seit Beginn der systematischen Betrachtung der Moralität durch die antike griechische Philosophie steht neben allgemeinen Abhandlungen über das sittlich richtige und gute menschliche Handeln die Thematik ob und warum Jugendliche andere moralische Entscheidungen treffen als Erwachsene im Mittelpunkt. Auch heute stellt sich vor dem Hintergrund der scheinbar zunehmenden brutalen Gewalt von Heranwachsenden die Frage wie moralische Urteile bei Jugendlichen zustande kommen und ob dabei signifikante Abweichungen zu ihren erwachsenen Mitmenschen bestehen. Dabei beschäftigt man sich neben verschiedenen äußeren Einflüssen wie dem familiären und sozialen Umfeld seit einigen Jahren verstärkt mit den Gehirnprozessen, welche der moralischen Urteilsfindung zugrunde liegen.

Zum Verständnis dieser Vorgänge soll die vorliegende Arbeit beitragen, indem mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) untersucht wird, welche Hirnareale bei Jugendlichen beim Treffen moralischer Entscheidungen beteiligt sind. Zu diesem Zweck werden zunächst die wichtigsten Theorien der verschiedenen Wissenschaftszweige zum Zustandekommen der Moralität in ihrem geschichtlichen Kontext vorgestellt. Hierbei kommt vor allem der Domäne der Philosophie eine tragende Rolle zu. Während sie sich jedoch in der Vergangenheit vor allem mit sittlichen Normen und Werten beschäftigte und der Frage nach der Richtigkeit einer Handlung und deren Begründung nachging, so werden in letzter Zeit auch Überlegungen angestellt, wie sich Moral beim Menschen entwickelt. Die aktuellen philosophischen Ansätze stehen dabei in engem Zusammenhang mit den

anderen (natur-) wissenschaftlichen Erkenntnissen. Wesentliche Beiträge zur Ergründung der Moral lieferten zudem die Psychologie sowie die Fortschritte der unterschiedlichen medizinischen Fachrichtungen. So zeigten einerseits Läsionsstudien, dass das Gehirn die biologische Grundlage menschlichen Verhaltens darstellt, andererseits lieferte die Psychiatrie wesentliche Erkenntnisse über bewusste und unbewusste Entscheidungsabläufe. In der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts begann schließlich die systematische Erforschung der biologischen Grundlagen individuellen sittlichen Handelns. Mit der Entwicklung bildgebender Untersuchungstechnologien ergab sich zum ersten Mal die Möglichkeit die neurobiologischen Strukturen, welche moralischem Denken und Handeln zugrunde liegen zu untersuchen und damit das Verständnis menschlicher Verhaltensweisen über den (moral-) philosophischen und psychologischen Horizont hinaus zu erweitern. Besonders die funktionelle Magnetresonanztomographie, mit deren Hilfe ein direkter Zusammenhang von neuronaler Aktivität und psychischer Funktion dargestellt werden kann, lieferte einen völlig neuen Ansatz zum Verständnis von Moral. Vor allem die Moralpsychologie, die seit Jahrzehnten von der Konkurrenz zweier Konstrukte zur moralischen Urteilsfindung geprägt ist, erhofft sich dadurch neue Erkenntnisse, ob der Moral eher vernunftorientierte oder emotional-intuitive Prozesse zugrunde liegen.

Ziel der vorliegenden Promotionsarbeit war es zunächst mittels fMRT diejenigen Hirnareale Jugendlicher zu identifizieren, welche bei moralischen Aufgabenstellungen aktiviert werden. Zudem wurde das Experiment mit der gleichen Fragestellung auch bei einer erwachsenen Kontrollgruppe durchgeführt, um einen Vergleich der beiden Probandengruppen hinsichtlich der neuronalen Bearbeitungsstrategie zu ermöglichen.

2. THEORETISCHER HINTERGRUND

Den in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zur Beteiligung von Hirnarealen zur moralischen Entscheidungsfindung bei Jugendlichen mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie werden zunächst die Rahmenbedingungen und Grenzen moralischer Entscheidungen sowie die Entwicklung und der aktuelle Stand der Wissenschaft im Bereich der Philosophie, Psychologie und Neurobiologie vorangestellt.

2. 1 Rahmenbedingungen und Grenzen menschlicher Moralität

Bereits die Definition moralischen Urteilens als „Bewertung einer Handlung oder des Charakters einer Person, unter der Berücksichtigung der anerkannten Werte einer Gemeinschaft“ (Haidt, 2001) macht deutlich, dass sowohl äußere kulturelle Einflüsse als auch innere soziale Kompetenzen eines jeden Einzelnen zugleich Grundpfeiler und Grenzen der humanen Moral darstellen:

Jede Gesellschaftsform wird durch Werte und Normen, welche aus kulturellen und religiösen Traditionen entstanden sind, geprägt. Somit geben diese auch den äußeren Rahmen vor, in dem sich der Mensch „moralisch“ bewegen soll. Diese Werte können sich jedoch innerhalb einer Gesellschaft je nach Zeitalter verändern. Während also bestimmte Normen in einer Kultur oder einem Zeitabschnitt Gültigkeit besitzen, werden diese in anderen Gesellschaften oder anderen Zeiträumen abgelehnt. So sind beispielsweise moderne westliche Kulturen eher individualistisch geprägt, moralische Rechte gründen auf dem Ideal der Selbstverwirklichung und der persönlichen Freiheit des Individuums. Dagegen muss das Wohlergehen des Einzelnen in kollektivistischen Kulturen zum Wohle der Gemeinschaft zurücktreten und befindet sich ihr gegenüber in der Pflicht (Ehrlich, 2000; Fehr & Fischbacher, 2004). Bestimmte moralische Fragestellungen können also durchaus im kulturellen Kontext, ausgehend von unterschiedlich geprägten Standpunkten andere Bewertungen erfahren und somit gegebenenfalls auch unterschiedliche Handlungskonsequenzen hervorbringen. Um zu einer eigenständigen moralisch urteilenden Person zu reifen, bedarf es neben einem kontextabhängigen, kulturellen Wissen aber auch der individuellen Fähigkeit zur sozialen Wahrnehmung und Kognition. Die Fähigkeit zur menschlichen Sozialität ist die

Voraussetzung für das Funktionieren einer Gemeinschaft, welche wiederum für jeden Einzelnen eine wichtige Existenzgrundlage darstellt.

Adolphs (2001) versteht unter sozialer Kognition „die Fähigkeit, Repräsentationen von Beziehungen zwischen sich selbst und anderen aufzubauen und diese Repräsentationen flexibel zu nutzen, um soziales Verhalten zu lenken“. Um diese kognitiven Fertigkeiten - willentlich oder automatisch - ausspielen zu können muss zunächst ein sozialer Stimulus (z.B. die Interaktion mit einer bestimmten Person) wahrgenommen werden. Dieser wird sodann mithilfe der Basiswahrnehmungen (Gesichtswahrnehmungen, Stimmlage, etc.) in einen bestimmten Kontext integriert, wobei der Mensch hierzu auf Ressourcen aus ähnlichen Erfahrungen, erlernten Handlungsmustern oder bestimmten situationsbedingten Automatismen, aber auch Informationen über Normen, Vorurteile oder emotionale und motivationale Zustände zurückgreifen kann (Adolphs, 2001; Beer & Ochsner, 2006). Diesen sozialen Fähigkeiten wurde ein Netzwerk beteiligter Hirnstrukturen zugrunde gelegt, welches unter anderem den medialen präfrontalen Kortex, den anterioren cingulären und inferioren frontalen Gyrus, den posterioren superioren temporalen Sulcus sowie die temporale-parietale Junction, Amygdalae und die anteriore Insula umfasst (Adolphs, 1999; 2001; Fossati et al., 2003; Kelley et al. 2002; Ochsner et al., 2005). Einige dieser Hirnareale sind auch während der Theory of Mind aktiv, die als spezieller Teilaspekt der sozialen Kognition erachtet werden kann. Ursprünglich wurde der Begriff „Theory of Mind“ von Premack und Woodruff (1978) verwendet, die bei der Beobachtung von Affen Hinweise dafür fanden, dass die Tiere in der Lage waren, die mentalen Zustände ihrer Artgenossen zu erfassen. Später erlangten diese Erkenntnisse vor allem in der Entwicklungspsychologie im Sinne der kindlichen Übernahme mentaler Perspektiven große Bedeutung (Leslie, 1987). Als Voraussetzungen für diese soziale Fertigkeit werden vor allem die Fähigkeit zur Empathie und Perspektivübernahme, die Zuschreibung von Wünschen, Absichten und Überzeugungen des Gegenübers sowie der individuelle Wissensstand und die Wahrnehmung der Realität gesehen. Demnach wird die ToM heute definiert als die „Fähigkeit, eine Annahme über Bewusstseinsvorgänge in anderen Personen vorzunehmen und diese in der eigenen Person zu erkennen“ (Fonagy, Gergely, Jurist & Target, 2006). Des Weiteren gilt die Theory of Mind als wichtige

Grundlage für die Metakognition, d.h. die geistige Flexibilität, kognitive Fragestellungen zum Gegenstand des Nachdenkens machen zu können (Dornes, 2006). Diese Ausführungen machen deutlich, dass man die moralische Urteilsfindung durchaus als Teilkomponente der ToM und der sozialen Kognition erachten kann. Schon in der Begriffsdefinition moralischen Urteilens nach Haidt („Bewertung einer Handlung oder des Charakters einer Person,...“) wird nämlich deutlich, dass nicht der einzelne Mensch sich hinter verschlossenen Türen sein eigenes Moralverständnis schafft, sondern es sich hierbei vielmehr um eine Interaktion mit der Umwelt handelt. Bestimmte Situationen auch aus einem anderen Blickwinkel zu betrachten hilft dabei die gesellschaftliche Erwartungshaltung gegenüber einer bestimmten geforderten Aktion zu durchdenken und gegebenenfalls daraus die Konsequenzen zu ziehen. An ihre Grenzen stößt Moralität sicherlich in menschlichen Notsituationen. Geht es um die Sicherung des Überlebens oder die Erfüllung elementarer Bedürfnisse werden moralische Prinzipien häufig außer Kraft gesetzt.

2.2 Philosophische Grundlagen moralischer Entscheidungen

Bereits in der antiken griechischen Philosophie entwickelte sich in einem Teilbereich (Moralphilosophie, Ethik) zunehmend eine systematische Betrachtung des moralischen Handelns des einzelnen Menschen. Die griechischen Philosophen (Platon, Aristoteles) vertraten die Auffassung, dass der Mensch durch seine Vernunft, also durch Nachdenken zur Erkenntnis über allgemein gültige sittliche Normen kommen würde. Ausschlaggebend für eine individuelle moralische Entscheidung sei dann die rationelle Orientierung an diesen anerkannten normativen Werten (Broadie, 1991; Hauskeller, 1997; Hursthouse, 1999; Wiesing, Ach, Bormuth & Marckmann, 2008). Dass Jugendliche sich scheinbar weniger als Erwachsene an diesen sittlichen Normen ausrichten soll schon durch Sokrates (469-399 v. Chr.) beklagt worden sein:

„Die Jugend liebt heutzutage den Luxus. Sie hat schlechte Manieren, verachtet die Autorität, hat keinen Respekt vor älteren Leuten und schwatzt, wo sie arbeiten soll (...). Sie widersprechen ihren Eltern (...) und tyrannisieren ihre Lehrer.“

Während die römische Moralphilosophie (Seneca, Cicero) im Wesentlichen der griechischen Ethik entsprach wurde das moralische Handeln im christlichen Mittelalter vorwiegend durch sittliche Normen bestimmt, welche durch göttliche Offenbarung mitgeteilt wurden und die von allen Gläubigen zu befolgen waren (McIntyre, 1984; Sidgwick, 1967). Das Moralverständnis im Zeitalter der Aufklärung beruhte größtenteils auf der vernunftorientierten antiken griechischen Philosophie. Spätestens seit Kants „Grundlegung zur Metaphysik der Sitten“ (Kant, 1786) war die vorherrschende Lehrmeinung von einem vernunftorientierten Ansatz geprägt, der als Triebkraft moralischer Verhaltensweisen die menschliche Fähigkeit zur Introspektion, Reflexion und Argumentation in freier Entscheidung als autonomes Individuum postulierte. Auch die utilitaristische Moralphilosophie der englischen Philosophen im 18. Jahrhundert begründeten individuelle moralische Urteile mit dem vernunftbedingten Bestreben des Menschen nach dem größtmöglichen „Nutzen“ der Handlung (Casebeer, 2003; McIntyre, 1984). Nachdem die Moralphilosophie moralische Entscheidungen seit der Antike fast ausschließlich auf Vernunft und rationelle Befolgung von göttlichen Regeln zurückgeführt hatte, betonte erstmals der englische Philosoph David Hume die Bedeutung von Emotionen in diesen Entscheidungsprozessen. Er proklamierte insbesondere in seinem Werk: „A Treatise of Human Nature“ (Hume, 1739), dass der Mensch einen inneren Sinn für Moral besäße, welcher Gefühle der Zustimmung oder Ablehnung gegenüber einem bestimmten Sachverhalt impliziere. Hume gilt als wichtiger Vertreter der so genannten Gefühlsethik zu denen auch Francis Hutcheson zählt, der in seinem „Essay on the Nature and Conduct of the Passions with Illustrations on the Moral Sense“ (Hutcheson, 1728) ebenso auf den Einfluss von Emotionen bei moralischen Entscheidungen hinwies.

Die Frage, ob eine moralische Urteilsfindung durch vernunftorientierte Überlegungen oder durch emotionale und intuitive Einflüsse zustande kommt ist auch in der Philosophie der Gegenwart letztlich nicht beantwortet. Insofern ist die Zusammenarbeit von Philosophen mit anderen Wissenschaftlern im Bereich der Neuroethik ein neuer Ansatz zur Lösung dieser Fragen.

2.3 Psychologische Grundlagen moralischer Entscheidungen

Auch die Psychologie, die sich im 19. Jahrhundert als eigenständige akademische Disziplin zu entwickeln begann, geht seit ihrer Entstehung der Frage nach dem Zustandekommen von moralischem Urteilen nach. Schon frühzeitig wurde die Ansicht vertreten, dass bloße Ratio nicht den Anspruch erheben dürfe das moralische Wesen in seinem Facettenreichtum gänzlich zu erfassen. Für den Psychiater Sigmund Freud war die Mehrzahl der menschlichen Entscheidungen unbewusst motiviert, wobei Triebe und Emotionen zur moralischen Urteilsfindung führten oder diese entscheidend beeinflussten. Um diese jedoch hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen Akzeptanz zu legitimieren bedürfe es sodann der menschlichen Vernunft (Freud, 1976). Auch die Behavioristen betrachteten moralisches Rasonieren als Teilaspekt kultureller Anpassungsleistungen, die in einer belohnenden und sanktionierenden Gesellschaft von Nöten seien (Skinner, 1971).

Einen entscheidenden Beitrag zum Verständnis für die Entwicklung des moralischen Urteilsvermögens stellen die Forschungen von Jean Piaget Mitte des 20. Jahrhunderts dar. Auf seinem moralpsychologisches Modell aufbauend entwickelte dann sein Schüler Kohlberg sein hierarchisches Stufenmodell des moralischen Handelns. In beiden Modellen stehen altersabhängige Lernprozesse als Ursache für moralische Entscheidungen im Vordergrund. Dagegen wurde in den letzten Jahren von verschiedenen Autoren die Rolle der Emotionen betont (Hauser, Haidt), welche beim moralischen Urteilen die rationalen Abläufe wesentlich beeinflussen sollen.

2.3.1 Moralpsychologisches Modell nach Piaget

Nach Piaget hängt die Fähigkeit zum moralischen Handeln von der altersbedingten Einsicht in ethische Prinzipien ab. Seine Untersuchungen bei Kindern beruhen dementsprechend auf deren Verständnis von sittlichen Regeln sowie folglich die Beachtung dergleichen und auf der Einstufung bestimmter moralischer Urteile und Handlungen als richtig oder falsch. Schlussfolgernd postuliert Piaget, dass sich bezüglich der Moralität ein individueller Reifungsprozess vollzieht, der die frühkindliche Abhängigkeit von Weisungen und Erwartungen der Bezugsperson überwindet und zu einer eigenständigen, der Vernunft unterliegenden Geisteshaltung führt. Gemäß dieser

Entwicklungstheorie kommt das Kind aus einem amoralischen Zustand in ein Stadium des Respekts gegenüber unverletzlich scheinenden Regeln (moralischer Realismus). Das Kind betrachtet Regeln wie andere Gegenstände oder Sachverhalte (Kindlicher Realismus) und ist nicht dazu in der Lage, zwischen subjektiven und objektiven Aspekten der Umwelt bzw. seiner Erfahrung mit ihr zu unterscheiden (Egozentrismus). Während das Vorschulkind und Schulkind von einer autoritätsbestimmten (heteronomen) Moral geleitet wird (moralischer Realismus), entwickelt sich gegen Ende des Grundschulalters eine selbstbestimmte (autonome) Moral, die unabhängig von den erwachsenen Bezugspersonen wirksam ist (Piaget, 1976).

2.3.2 Moralpsychologisches Modell nach Kohlberg

Auf diesen Ansatz aufbauend entwarf Kohlberg sein hierarchisches Stufenmodell des moralischen Handelns, welches zu einem auch heute noch viel beachteten Meilenstein der Moralpsychologie wurde. Darin postuliert er die Existenz von bis zu sechs definierten Moralstufen, beginnend beim puren Egozentrismus bis hin zur Orientierung an universellen Prinzipien, die jeder Mensch mit fortschreitendem Alter durchlaufen kann. Die Zuordnung zur jeweiligen Moralstufe wurde von der sprachlichen Rechtfertigung des Befragten hinsichtlich der von ihm getroffenen moralischen Entscheidung abhängig gemacht. So legte Kohlberg Kindern und Jugendlichen eine Reihe von hypothetischen moralischen [Konfliktsituationen](#) vor (z. B.: Stehlen eines teuren Medikaments gerechtfertigt um den Tod der Ehefrau abzuwenden?) und ordnete ihre Reaktionen darauf den einzelnen Stufen bzw. Stadien der Moralität zu (Colby, Kohlberg, Gibbs & Liebermann, 1983; Kohlberg, 1974). Kohlbergs Ansatz weist einige Kritikpunkte auf. Zwar sind persönliche Reife und die Fähigkeit zur Reflexion durchaus als eine Art Grundvoraussetzung für moralisches Verhalten zu erachten, jedoch kreiert diese verbal-rationale Betrachtungsweise eine Eindimensionalität, welche der komplexen Wirklichkeit nicht gerecht zu werden scheint.

2.3.3 Sonstige Moralpsychologische Modelle nach Haidt und Hauser

Im Gegensatz zu Kohlberg tragen aktuellere moralpsychologische Modelle dem komplexen Wesen der menschlichen Natur Rechnung, indem auch emotionale

Einflüsse und gesellschaftliche Interaktionen berücksichtigt werden. So rückt beispielsweise das „Social - Intuitionist - Modell“ (Haidt, 2001) die Bedeutung der Emotionen, vor allem in Form von affektiven Intuitionen für die moralische Urteilsfindung in den Mittelpunkt. Demnach kommt der Mensch nicht durch bewusstes Nachdenken, sondern durch ein sich automatisch einstellendes intuitives Gefühl zur moralischen Bewertung einer bestimmten Sachlage. Sozialpsychologische Faktoren wie kulturelle Werte sollen diesen unbewussten Prozess beeinflussen. Bewusste Überlegungen und kognitive Fähigkeiten werden erst nach der eigentlichen Entscheidung als so genannte „post - hoc“ Prozesse herangezogen, nämlich dann, wenn eine Vorgehensweise im sozialen Kontext gerechtfertigt oder verteidigt werden muss. Somit werden Emotionen und Vernunft nicht als konkurrierende Strategien, sondern vielmehr als die Komponenten eines Gesamtprozesses des moralischen Urteilens gesehen (Haidt, 2001). Diese Theorie kann mit einem Ansatz im Zusammenhang gebracht werden, welcher einen angeborenen Moralsinn postuliert und Gefühle aber auch bewusste Argumente als die Folgen eines unbewussten Analyseprozesses des Urteilens beschreibt (Hauser, 2006).

2.4 Neurobiologische Grundlagen moralischer Entscheidungen

Schon im 19. Jahrhundert lieferte medizinische Hirnforschung wesentliche Erkenntnisse über den Zusammenhang der einzelnen Gehirnareale und menschlichem Verhalten. Die ersten Forschungen erfolgten auf der Grundlage von Verletzungen bestimmter Gehirnbezirke und die daraus folgenden Verhaltensänderungen des Patienten. Mit zunehmenden Fortschritten der neurologischen Diagnostik wurden auch Studien auf der Grundlage nicht-invasiver Untersuchungsverfahren (EEG, CT, MRT) möglich. Die aktuelle funktionelle Bildgebung (fMRT, PET) ermöglicht die Detektion von Hirnarealen, die bei moralischen Fragestellungen beteiligt sind.

Im Folgenden soll nun ein Überblick über Studien gegeben werden, die einen großen Beitrag zum heutigen Verständnis der menschlichen Moralität geleistet haben. Im Anschluss daran erfolgt eine kurze Beschreibung der bis dato gefundenen Hirnareale, denen eine Beteiligung an moralischen Denkprozessen zugeschrieben wird.

2.4.1 Läsionsstudien nach Damasio

Bereits in der Mitte des 19. Jahrhunderts lieferte der Unfall des Schienenarbeiters Phineas Gage erste Hinweise darauf, dass intakte neuronale Gehirnstrukturen eine Grundlage zur Ausübung eines integeren Sozialverhaltens darstellen. So überlebte Phineas Gage zwar eine Explosion, bei welcher sein linker orbitofrontaler Lappen sowie ein Teil des linken und wahrscheinlich auch des rechten Frontallappens von einer Eisenstange durchschossen wurde, jedoch beschrieb sein behandelnder Arzt Dr. Harlow in der Folge eine auffällige Wesensänderung: Bei unbeeinträchtigter Intelligenz, Motorik, Gedächtnisleistung sowie erhaltener Fähigkeit zur Wahrnehmung und Sprache kümmerten Gage keine sozialen Konventionen mehr, er verstieß gegen moralische Prinzipien und traf Entscheidungen, die seinen Interessen zuwiderliefen (Damasio et al., 1994; Harlow, 1848). Ausgehend von diesem berühmten Fallbeispiel wurden weitere Läsionsstudien entwickelt, die einen Zusammenhang zwischen Frontalhirnläsionen und damit einhergehenden Störungen des Sozialverhaltens postulierten (Anderson, Bechara, Damasio, Tranel & Damasio, 1999; Grafman et al., 1996; Grattan & Esslinger, 1992). Mit dem Aufkommen der bildgebenden Verfahren hatte man schließlich die Möglichkeit die neuronalen Strukturen, welche an einem definierten Denkprozess beteiligt sind direkt darzustellen und sie hinsichtlich ihrer Lokalisation und Funktion genauer zu erforschen.

Die daraus gewonnenen Erkenntnisse über den Einfluss bestimmter Hirnareale haben dazu beigetragen, bestimmte menschliche Handlungsweisen, aber auch Abweichungen davon, besser zu verstehen. So stellte Damasio als logische Fortsetzung der Läsionsstudien die Frage nach der Korrelation von morphologischen Veränderungen mit defizitären Verhaltensweisen in den Mittelpunkt seiner Forschung. Bei Untersuchungen von Patienten mit Schädigungen im ventromedialen präfrontalen Kortex machte er die Entdeckung, dass diese Probanden zwar durchaus die gesellschaftliche Relevanz sowie die Konsequenzen einer Handlung argumentativ erschließen und somit theoretisch ein Urteil mit gesellschaftlicher Akzeptanz fällen können, sie jedoch nicht in der Lage sind dies in konkreten Alltagssituationen praktisch umzusetzen (Damasio, 1994). Von diesen Erkenntnissen ausgehend schlussfolgerte Damasio, dass es zwischen dem theoretischen Wissen und der

letztlich ausgeführten Aktion oder Reaktion eine Art Schaltstelle oder Triebkraft geben müsse. Als diese proklamierte er mit seiner Theorie der somatischen Marker die Emotionen beziehungsweise das emotionale Erfahrungsgedächtnis. Dieses entstehe im Laufe der Entwicklung des Menschen, verleihe bestimmten Erlebnissen emotionale Wertigkeiten und beeinflusse die menschliche Entscheidungsfindung durch körperliche Signale. Während also Gesunde in Situationen, welche riskantes oder unangebrachtes Handeln erfordern zumindest ein ungutes Gefühl verspüren, welches zum Nachdenken über alternative, bessere Optionen anregt, entwickeln diese Patienten keine innere intuitive Ablehnung und agieren dementsprechend. Bei erhaltenen kognitiven Fähigkeiten und sozialen Wissen fehle ihnen also ein Urteilsvermögen in alltäglichen Fragen. Diese affektiven Defizite machen es ihnen unmöglich, in gewissen Lebenssituationen das berühmte Gespür für richtig oder falsch zu generieren (Damasio, 1996). Diese Hypothese räumt schlussendlich den Emotionen, vor allem in ihrer affektiven Funktion eine große Bedeutung in menschlichen Entscheidungsprozessen ein.

2.4.2 Untersuchungen nach Greene

Während eine Vielzahl von Studien die verschiedensten Aspekte des Sozialverhaltens erforscht, liegen zum moralischen Urteilen bis jetzt nur wenige Studien vor. Großen Einfluss erlangten hierbei die Untersuchungen Joshua Greenes, der sich in erster Linie auf die neuronalen Strategien zur Entscheidungsfindung in Dilemmata mit unterschiedlichem Aussagegehalt konzentrierte. Ein Dilemma ist definiert als Situation, die zwei Wahlmöglichkeiten bietet, welche beide zu einem unerwünschten Resultat führen (Duden, 1990; S. 186). In seinem Studiendesign unterscheidet Greene zwischen Dilemmata vom moralisch -persönlichen und moralisch-unpersönlichen Typ. Während erstere vom Probanden Handeln durch direkte (körperliche) Gewaltanwendung verlangen und somit sofort eine emotionale Bindung an den Sachverhalt auslösen, geht das zweite Konstrukt nur mit einer unbeabsichtigten, indirekten Schadensherbeiführung einher. Zudem wurden Fälle ohne moralische Relevanz als so genannte „nicht - moralische Dilemmata“ konstruiert (Greene & Haidt, 2002). Den zentralen Ausgangspunkt stellt die Hypothese dar, dass sich die Hirnareale, welche an der Entscheidungsfindung

in solchen Dilemmata beteiligt sind, je nach emotionalem Gehalt der Sachlage voneinander unterscheiden. Dementsprechend sollen moralische Fragestellungen unpersönlicher Art eher Areale, denen kognitive Funktionen im Bereich des Arbeitsgedächtnisses und der Aufmerksamkeit zugeschrieben werden beanspruchen und Dilemmata mit persönlichem Hintergrund emotionsverarbeitende Strukturen aktivieren (Greene, Nystrom, Engell, Darley & Cohen, 2004). Gestützt wird diese These durch Untersuchungen, welche eine signifikant gesteigerte Aktivität des beidseitigen medialen präfrontalen Kortex, des posterioren Gyrus cinguli sowie beidseitig im posterioren Sulcus temporalis superior bei den „moralisch-persönlichen Dilemmata“ im Vergleich zu den „moralisch-unpersönlichen“ und den „nicht-moralischen Dilemmata“ ergaben. Für den rechten Gyrus frontalis medius sowie den Parietallappen zeigte sich bei dieser Bedingung eine Abnahme des fMRT-Signals gegenüber den anderen beiden Dilemmata. Zudem wurden die Reaktionszeiten für die einzelnen Aufgaben gemessen mit dem Ergebnis, dass diejenigen Probanden, die sich für eine direkte Gewaltanwendung und somit gegen ihr Gefühl der Abneigung hinsichtlich einer solchen Handlung entschieden, hierfür signifikant länger brauchten als solche, die auf dieses Gefühl vertrauten und folglich den persönlichen Verstoß nicht begingen (Greene, Sommerville, Nystrom, Darley & Cohen, 2001).

Diese Ergebnisse bilden das Fundament von Greenes „Konflikt- Kontroll- Modell“: Demnach stellen Emotionen eine Art „Wegweiser“ dar, der Handlungsoptionen mit einem bestimmten Gefühl der Zustimmung oder Ablehnung unterlegt. Handelt eine Person also im Einklang mit ihrer Intuition, so vermögen positive Emotionen den Handlungswillen zu verstärken, helfen gegebenenfalls bei dessen Rechtfertigung vor sich, aber auch vor anderen und können außerdem ein Gefühl der Zufriedenheit mit der jeweiligen Ausführung implizieren. Wie die Untersuchungen zeigen, gibt es im Falle der Kongruenz zwischen Emotion und Handlung aufgrund deren Übereinstimmung kein langes Überlegen und Abwägen und somit keine verlängerten Reaktionszeiten (Greene et al., 2004). Anders stellt sich die Lage jedoch bei der Inkongruenz von beabsichtigter Aktion und Gefühleingebung dar: Der „Wegweiser“ Emotion stellt die innere Abneigung gegen eine gewisse Handlungsmöglichkeit fest. Dieses Widerstreben und Unbehagen, welches der Proband bewusst verspürt,

kann unter Umständen dazu führen, dass die Option nochmals durchdacht und hinsichtlich ihrer Konsequenzen neu bewertet wird. Für diesen Prozess wird die Einschaltung höherer kognitiver Areale postuliert (Greene, 2005). Durch den beschriebenen Vorgang wird also die längere Entscheidungsdauer erklärt, die für das Gegeneinander der beiden Komponenten bereits beschrieben wurde. Je nachdem welche Erfahrungen oder Erlebnisse eine Person gemacht hat, unterscheidet sich der Grad der Involviertheit sowie der individuellen Bewertung eines Sachverhaltes von Fall zu Fall. In den „unpersönlichen“ beziehungsweise „nicht - moralischen“ Szenarien wurden auch für unterschiedliche Entscheidungsoptionen keine wesentliche Differenz bezüglich der Reaktionszeit gemessen (Greene et al., 2001). Diese Erkenntnisse könnten also auf einen „pragmatischen Automatismus“ hinweisen, der bei Urteilsfindungen in Kraft tritt, die alltäglich zu treffen sind und wofür auf Grund ihrer Eindeutigkeit weder emotionale noch höhere kognitive Prozesse erforderlich sind. Hieraus lässt sich wiederum schlussfolgern, dass es von der „Art“ des Dilemmas (Aussagegehalt, individuelle Relevanz, Komplexität) abhängen könnte, welche neuronalen Strategien und somit welche anatomischen Netzwerke letzten Endes zur Bearbeitung eines moralischen Sachverhaltes herangezogen werden. Kritisch festzuhalten ist jedoch, dass Greenes Dilemmata („Soll ein Mensch von der Brücke gestoßen werden, um fünf andere zu retten?“) keine gewöhnlichen Konfliktsituationen widerspiegeln und somit die Untersuchungsergebnisse nicht deckungsgleich auf realistische Alltagssituationen übertragen werden können.

2.4.3 Untersuchungen nach Moll

Der größte Kritikpunkt an Greenes Theorie ist für Jorge Moll vor allem die ungenügende Differenzierung und Abgrenzung des Emotionsbegriffes. So bemängelt er, dass den „nicht - moralischen, emotionalen“ Bedingungen in diesem Versuchsdesign keine Beachtung geschenkt werde und proklamiert, dass die von Greene für den anterioren präfrontalen Kortex gefundene Aktivierung auch auf eine bloße Involviertheit emotionaler Prozesse zurückgeführt werden könne. Den Netzwerken, auf denen das moralische Denken und somit die menschliche Moralität beruht trage man auf diese Weise nur unzureichend Rechnung. Auch könne die Komplexität der verwendeten Dilemmata Prozesse der Aufmerksamkeit und Entscheidungsfindung in einem

hohen Maße beanspruchen und somit den alleinigen Grund für die beschriebenen längeren Reaktionszeiten sowie die gegebenenfalls daraus resultierende Aktivierung des PFC darstellen (Moll, Oliveira-Souza, Bramati & Grafman, 2002a). Diese Ausführungen begründen den Anspruch Molls, den neuronalen Unterschied bezüglich der Verarbeitung von moralischen Fragestellungen und emotional – gefärbten Urteilen, welche auf Basis - Emotionen beruhen, mittels der funktionellen Bildgebung zu untersuchen.

Definiertes Ziel war es also nur diejenigen Hirnareale zu erfassen, die unmittelbar an der Moralfindung beteiligt sind. Zu diesem Zweck wurden den Probanden visuell Sätze präsentiert, die entweder einen neutralen (NTR) („Dicke Kinder sollten Diät halten“), einen moralischen (M) („Das Gericht verurteilte einen Unschuldigen“) oder einen nicht - moralischen, aber unangenehme Emotionen auslösenden (NM) Aussagegehalt („Schwangere übergeben sich oft“) aufweisen. Die Versuchspersonen sollten jeden dieser Sätze als „richtig“ oder „falsch“ beurteilen. Hinter der Schaffung dieser unterschiedlichen Bedingungen steht also die Absicht Aktivierungen, die mit den hervorgerufenen Emotionen einhergehen zu identifizieren und somit von denen, die durch moralisches Urteilen ausgelöst wurden weitgehend abzugrenzen (Moll et al., 2002a; Moll et al., 2002b). Dabei generierten Moll et al. auf der Grundlage ihrer vorangegangenen Studien die Hypothese, dass der anteriore Anteil des präfrontalen Kortex vor allem durch die moralischen Sätze aktiviert werden würde, während die emotional abstoßenden Szenarien ohne einen moralischen Aussagegehalt eher Gehirnregionen wie die Amygdalae ansprechen würden, denen die Vermittlung von Basis – Emotionen zugeschrieben werden (Moll, Oliveira-Souza, & Eslinger, 2003). Bei der Auswertung zeigten sich im Vergleich zu den neutralen Sätzen unterschiedliche Aktivierungsmuster der moralischen beziehungsweise der emotionalen Aussagen: Während in M - Bedingungen eine Aktivierung des linken medialen orbitofrontalen Kortex, des linken Temporalpols sowie des superioren temporalen Sulcus erfolgte, aktivierten im Hinblick auf die NM - Kondition die linke Amygdala sowie der linke laterale orbitofrontale Kortex. Sodann wurde der Vergleich der moralischen mit der nicht - moralischen emotionalen Bedingung gerechnet: hierbei zeigten sich wiederum signifikante Aktivierungen im medialen orbitofrontalen Kortex und posterioren STS. Diese Beobachtung galt

nicht für den Temporalpol. Auf diese Erkenntnisse aufbauend legten Moll et. al. ihren Probanden in einer Folgestudie Bilder vor, die neutrale, moralische oder nicht-moralische, jedoch mit widerstrebenden Emotionen einhergehende Szenen zeigten.

Die Versuchspersonen wurden bei der lediglich passiven Betrachtung dieser Bilder mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie untersucht mit dem Ziel, diejenigen Gehirnareale herauszufiltern, die bei der bloßen visuellen Wahrnehmung moralischer Stimuli aktivieren. Anfangs stellte sich im Vergleich der moralischen mit der neutralen Bedingung ein aktiviertes Netzwerk dar, welches unter anderem präfrontale, temporale und limbische Strukturen umfasste. Im Anschluss erfolgte sodann wiederum der Vergleich der moralischen mit den nicht-moralischen emotionalen Bildern, zum Zweck der Identifikation und Herausrechnung des Anteils der unangenehmen Emotionen in der moralischen Bedingung. Hierbei wurde eine Aktivität des medialen orbitofrontalen Gyrus, des medialen präfrontalen Kortex, des superioren temporalen Sulcus und des rechten posterioren Gyrus temporalis medialis detektiert (Moll et al. 2002a; Moll et al., 2002b).

2.4.4 Zusammenfassung der Studienlage zur menschlichen Moralität

Für die bisher durchgeführten Untersuchungen bei erwachsenen Versuchspersonen wurden unterschiedliche Stimuli verwendet.

Greene et al. legten ihren Probanden komplexe moralische Dilemmata (moralisch-persönlich vs. moralisch-unpersönlich) vor. Diese sind sowohl auf Grund der unrealistischen und alltagsfremden Szenarien als auch wegen ihrer Eindimensionalität bezüglich der dargebotenen Handlungsoptionen kritisch zu bewerten. Zum einen löst vermutlich alleine schon die Option „persönliche Gewaltanwendung“ bzw. die fiktive Erhebung des Probanden zum „Herrscher über Leben und Tod“ (wie beispielsweise im sogenannten Footbridge-Dilemma) eine intensive emotionale Aktivierung entsprechender Gehirnareale aus. Inwieweit dies auf Basis-Emotionen, ausgelöst durch die existenziell bedrohliche Situation, zurückzuführen ist und wo bzw. wie die Grenze zu moralischen Emotionen gezogen werden kann bleibt fraglich. Auch könnte die vorgegebene Wahlmöglichkeit zwischen zwei unerwünschten Resultaten zur Beteiligung höherer kognitiver Einheiten führen. Beide Aspekte können zur

Folge haben, dass es zu einer Überdeckung derjenigen gesuchten Strukturen, welche moralische Entscheidungen direkt beeinflussen, kommt oder das gefundene Netzwerk mehr Strukturen umfasst als es dies bei geeigneteren Fragestellungen tun würde. Moll et. al. versuchten durch ihr Studiendesign (siehe dazu auch 2. Untersuchungen nach Moll) die Komponente Emotion besser darstellbar zu machen. Inwieweit jedoch eine Trennung von „Moralischem Urteilen“ und „Emotionalität“ überhaupt nötig bzw. sinnvoll und möglich ist, betrachtet man das Wesen Mensch ganzheitlich und nicht auf einzelne exekutive Funktionen reduziert, bleibt ungeklärt. Des Weiteren bleibt in der Gesamtschau der vorliegenden Studien festzuhalten, dass bei allen moralischen Fragestellungen stets ein Netzwerk aus verschiedenen anatomischen Strukturen an der Urteilsfindung beteiligt ist, welches konstant mediale präfrontale sowie temporale Areale beinhaltet. Zudem gibt es auch eine Reihe inkonsistenter Ergebnisse, welche vor allem die Rolle des Corpus cinguli und der Amygdala betreffen. Demzufolge leisten diverse neuronale Verbände mit ihren zum Teil sehr unterschiedlichen Funktionen ihren Beitrag. Dieser kann diverse Leistungen (z.B. Wahrnehmung eines Reizes, Theory of Mind, Erstellen einer Kosten-Nutzen-Rechnung, Impulskontrolle) umfassen. Ein definiertes Hirnareal, welches ausschließlich mit der Entwicklung und Ausführung menschlicher Moral betraut ist, gibt es wohl nicht. Man kann also davon ausgehen, dass die strukturelle und funktionelle Integrität einer jeden beteiligten anatomischen Region und die korrekte Vernetzung dieser Areale untereinander, die Grundlage für einen funktionierenden „Moralsinn“ darstellen.

Im Folgenden soll nun ein kurzer anatomischer Überblick über die Hirnareale gegeben werden, die in aktuellen Studien zur Moral zum Teil kontrovers diskutiert werden.

2.4.4.1 Präfrontaler Kortex

Als präfrontalen Kortex (PFC) bezeichnet man den neokortikalen Teil des Frontallappens, welcher sich vom Frontalpol nach kaudal bis zur prämotorischen Rinde erstreckt. Wichtige Afferenzen erhält dieses Areal von nahezu allen anderen kortikalen Anteilen. So steht der präfrontale Kortex eng mit sensorischen Assoziationsgebieten der Hirnrinde, aber auch mit dem limbischen System, medialen Kerngebieten des Thalamus und

Hirnstammzentren der *Formatio reticularis* in Verbindung. Efferent ist diese Struktur ebenso mit zahlreichen Großhirnrindenarealen und dem Thalamus verbunden.

Funktionell wird dem präfrontalen Kortex eine große Bedeutung bezüglich des Kurzzeitgedächtnisses sowie höherer sozialer, psychischer und geistiger Leistungen zugeschrieben. Diese umfassen sowohl kognitive Fähigkeiten wie Rechnen und planerisches Denken, als auch das Wissen um moralische Grundwerte und deren Achtung, sowie die Repräsentation von Zielen, Entscheidungsfindung und Handlungsmotivation. Mit Hilfe dieser Funktionen, unter Einbeziehung emotionaler Einflüsse aus dem limbischen System und Wahrnehmung sensorischer Signale kann der PFC menschliches Verhalten in gewissem Maße steuern. Er wird deswegen auch mit dem „Supervisory Attentional System“ in Verbindung gebracht und stellt eine Art Kontrollsystem dar, welches Handlungsoptionen in spezifischen Situationen als angemessen oder unangebracht bewertet. Eine-zumeist bilaterale-Schädigung des PFC führt zu gravierenden Wesensveränderungen. So ist bei Betroffenen eine drastische Minderung der Intelligenz, des psychomotorischen Antriebs, der Aufmerksamkeits- und Konzentrationsfähigkeit sowie ihrer moralischen Grundlagen beschrieben worden (Baddeley et al., 2000; Bechara, Tranel, Damasio, H. & Damasio, A., 1996; Damasio, 1995a; Posner & Peterson, 1990; Trepel, 2004).

Der präfrontale Kortex lässt sich topographisch in verschiedene Anteile untergliedern, welche für die unterschiedlichen funktionellen Komponenten verantwortlich sind. Inwieweit diese einzelnen Gebiete das menschliche Sozialverhalten beeinflussen, ist Gegenstand vieler Studien. Mit moralischem Urteilen und Handeln wurden bisher die folgenden neuronalen Strukturen in Zusammenhang gebracht:

- *Dorsolateraler präfrontaler Kortex (DLPFC)*

Der dorsolaterale präfrontale Kortex umfasst die Brodmann Rindenfelder 9 und 46. Er ist sowohl mit kortikalen (temporalen, parietalen, occipitalen Assoziationsarealen des Neokortex) als auch mit subkortikalen Strukturen (Hippocampus, dorsaler Teil des Nukleus caudatus) verbunden und scheint für kognitive Aufgaben wie problemlösendes Denken zuständig zu sein. Zudem

erfüllt der DLPFC Aufgaben im Bereich des Arbeitsgedächtnisses und der Inhibition (Aron, 2007; Koechlin, Ody & Kounheier, 2003; Simmonds, Pekar, Mostofsky, 2008; Smith & Jonides, 1997; Trepel, 2004).

- *Ventromedialer präfrontaler Kortex (VMPFC)*

Der ventromediale präfrontale Kortex kann topographisch in etwa der Hirnrinde 10 nach Brodmann zugeordnet werden, wobei unter Anatomen keine Einigkeit über dessen genaue Lokalisation herrscht. Bekannt ist allerdings, dass der ventromediale präfrontale Kortex (VMPFC) starke Verbindungen zum limbischen System und hierbei vor allem zu den Amygdalae aufweist.

Funktionell wird für diesen Teil des Frontalhirns unter anderem eine Rolle beim Erleben und Regulieren von moralischen Emotionen beschrieben (Aouizerate, Rotgé, Bioulac & Tignol, 2007; Greene & Haidt, 2002; Trepel, 2004; Van den Bos, McClure, Harris, Fiske & Cohen, 2007).

- *Orbitofrontaler Kortex (OFC)*

Unter dem orbitofrontalen Kortex, dessen Name schon auf seine topographische Beziehung zur Orbita hinweist, werden die Brodmann- Areale 10, 11 und 47 zusammengefasst. Für die anatomische Definition dieser Struktur werden jedoch in der Fachliteratur widersprüchliche Angaben gefunden. Auch zeigten Untersuchungen, dass bezüglich seiner Lokalisation eine beträchtliche interindividuelle Variabilität zwischen den Menschen herrscht. Der orbitofrontale Kortex erhält über den mediodorsalen Thalamus sensibel-sensorische Informationen und soll für die Regulation emotionaler Prozesse sowie damit verbundenen kognitiven Prozessen der Entscheidungsfindung verantwortlich sein (Bechara, Damasio, H. & Damasio, A., 2000; Trepel, 2004).

2.4.4.2 Temporallappen

Der Temporallappen stellt einen Teil des Großhirns dar. Er befindet sich unterhalb des Sulcus lateralis und lässt sich in drei Gyri unterteilen:

Gyrus temporalis superior, Gyrus temporalis medius und Gyrus temporalis inferior. Diese werden wiederum vom Sulcus temporalis superior beziehungsweise inferior voneinander getrennt (Trepel, 2004). Für ersteren

wurde eine erhöhte Aktivität bei moralischen Aufgabenstellungen postuliert (Greene et al., 2001; Moll et al., 2002a; Moll et al., 2002b).

- *Sulcus temporalis superior (STS)*

Der STS ist der erste Sulcus unterhalb der lateralen Fissur, anhand welcher die anatomische Abgrenzung des Temporallappens definiert wird. Diesem Sulcus wird die Eigenschaft zur Wahrnehmung der Blickrichtung von Mitmenschen und somit die Detektion ihrer gerichteten Emotionen zugeschrieben. Zudem soll er eine Rolle bei der Erkennung biologischer Bewegungssequenzen spielen (Allison, Puce & McCathy, 2000; Beauchamp, Lee, Haxby & Martin, 2002; Kilts, Egan, Gideon, Ely & Hoffman, 2003; Trepel, 2004).

- *Anteriorer temporaler Kortex (aTC)*

Der anteriore temporale Kortex steht in enger Verbindung zu den Amygdalae. Funktionell scheint er für das semantische Gedächtnis wichtig zu sein, indem er Konzepte, Regeln, Zusammenhänge und Bedeutungen abspeichert. Diese Informationen liegen unabhängig vom jeweiligen Kontext vor, sind eher nicht affektbesetzt und scheinen im Einklang mit präfrontalen Einheiten abrufbar zu sein. Schädigungen, insbesondere des rechten Temporalpols gehen gewöhnlich mit gravierenden Veränderungen des Sozialverhaltens einher. Die Konsequenzen einer solchen Läsion mit Einbeziehung seiner subkortikalen Verbindungen zu den Amydalae lassen sich mit dem Klüver-Bucy-Syndrom eindrucksvoll beschreiben. Dieses äußert sich klinisch durch einen ungehemmten Sexualtrieb, fehlende emotionale Empathie sowie den Verlust des Angstempfindens (Poeck, 1985; Trepel, 2004; Weintraub & Mesulam, 1983).

2.4.4.3 *Gyrus cinguli*

Das Cingulum liegt oberhalb des Corpus callosum und umfasst vier anatomische Untereinheiten: Pars anterior, Pars posterior, Area subcallosa und cinguläre Motor-Areale.

Für die beiden ersteren wurde eine Aktivität bei moralischer Entscheidungsfindung postuliert, weswegen sie im Folgenden gesondert vorgestellt werden. Der Gyrus cinguli wird als eine der wichtigsten

Komponenten des limbischen Systems erachtet. So steht er neben Verbindungen zum Assoziationskortex und Striatum in engem Kontakt mit dessen weiteren Zentren wie beispielsweise dem Hippocampus. Funktionell dient diese Struktur einerseits der Beeinflussung vegetativer Parameter, andererseits spielt sie für den psycho- und lokomotorischen Antrieb eine wichtige Rolle. Dementsprechend sind bei Schädigungen des Cingulums erhebliche Wesensänderungen zu erwarten. Patienten mit einer solchen Läsion scheinen ihrer Umwelt gegenüber indifferent und motorisch verlangsamt (Mesulam, 2000; Waldeyer, 2003).

- *Anteriorer cingulärer Kortex (ACC)*

Dem anterioren cingulären Kortex werden die Brodmann Areale 24, 25 und 34 zugeordnet und kann topographisch dem präfrontalen Kortex zugerechnet werden. Neben der Regulation autonomer Funktionen wie Blutdruck oder Herzfrequenz ist diese Struktur vor allem für Problemlösung von Bedeutung (Critchley et al., 2003). So wurde eine Aktivierung des ACC in konfliktreichen Situationen postuliert. Seine Rolle soll hierbei zunächst v. a. in der Erkennung von divergierenden Aufgabenstellungen oder Erwartungen liegen.

Konfliktsignale werden sodann zum Beispiel zum dorsolateralen präfrontalen Kortex weitergeleitet um eine breitere kognitive Kontrolle zu gewährleisten.

Zudem werden Informationen beispielsweise zum auditorischen Assoziationskortex oder dem Hirnstamm geleitet und liefern somit wichtige Inputs für emotionale Verarbeitungsstrategien (z.B. emotionale Erregung).

Zusammenfassend führt der anteriore cinguläre Kortex also über eine Fehlerdetektion und Antizipation der eingehenden Reize sowohl zu einer kognitiven Verarbeitung von Stimuli als auch zu einer Art Verhaltenskontrolle (Bush, Luu & Posner, 2000; Decety & Jackson, 2004). Aufgrund dieser Eigenschaften wird die Struktur häufig mit dem „Monitoring System“ in Verbindung gebracht. Die Koordination des Aufmerksamkeitssystems, sowie die Sicherstellung der erfolgreichen Interaktion zwischen Langzeit- und Arbeitsgedächtnis sind Effekte, welche wiederum einen entscheidenden Einfluss auf das Agieren des präfrontalen Kortex haben. Über diese Aufgaben hinaus, spielt der ACC noch eine wichtige Rolle beim Stimulus-Belohnungs-Lernen und bei der Entscheidung für eine gewisse damit verbundene

Handlungsoption. Auch hierzu dient in erster Linie wieder seine Fähigkeit zur Antizipation. Belohnungen genauso wie Sanktionen können vorausgesagt, bestimmte Handlungen hinsichtlich ihrer Konsequenzen somit bewertet werden. In der Folge dieser Denkprozesse können Verhaltensentscheidungen getroffen werden. Zudem ergibt sich aus diesen Eigenschaften aber auch das Lernen aus Fehlern (Botvinick, 2007; Kiehl, Liddle & Hopfinger, 2000; Nieuwenhuis, Ridderinkhof, Blom, Band & Kok, 2001; Paus, 2001; Rushworth, Behrens, Rudebeck & Walton, 2007; Walton & Mars, 2007; Winterer, Adams, Jones & Knutson, 2002). Des Weiteren wird dem ACC eine Beteiligung an der „Theory of Mind“ zugeschrieben. Hierzu könnte wiederum die Tatsache geführt haben, dass für diese Struktur eine Beschäftigung mit eigenen Gedanken und Vorstellungen (Innenwelt) und somit ein erheblicher Einfluss auf den internen Motivations-Zustand beschrieben wurde (Baird, Dewar, Critchley, Dolan, Shallice, & Cipolotti, 2006).

- *Posteriorer cingulärer Kortex (PCC)*

Der posteriore cinguläre Kortex wird den Hirnrindenfeldern 23 und 31 nach Brodmann zugerechnet. Ihm wird sowohl ein Beitrag zum Sprachverständnis als auch zum Wiedererkennen von Orten und Objekten sowie die Mitwirkung am Gedächtnisprozess zugeschrieben. Im Hinblick auf die sozialen Fähigkeiten des Menschen im Allgemeinen und auf das Thema dieser Arbeit im Speziellen, sind aber insbesondere seine Fähigkeit zur Wahrnehmung unterschiedlicher emotionaler Stimuli von Interesse. Diese Eigenschaft scheint sich sowohl auf das Nachdenken über autobiographische Daten und Selbstreflexion, als auch auf die Einschätzung von anderen Menschen zu beziehen. So wurden Aktivierungen des PCC einerseits für die Fähigkeit zur Selbsteinschätzung beschrieben, andererseits jedoch auch für explizite Formen der emotionalen Wahrnehmung detektiert. So ist beispielsweise der posteriore cinguläre Kortex an der Empfindung von Abscheu durch die kognitive Erkennung von bestimmten auslösenden Stimuli beteiligt (Awad, Warren, Scott, Turkheimer & Wise, 2007; Benuzzi, Lui, Duzzi, Nichelli & Porro, 2008; Mantani, Okamoto, Shirao, Okada & Yamawaki, 2005; Pujol, Reixach, Harrison, Timoneda-Gallart, Vilanova & Pérez-Alvarez, 2008; Sugiura, Shah, Zilles & Fink, 2005).

2.4.4.4 Amygdala

Die Amygdala, auch Mandelkern genannt, ist ein Komplex grauer Substanz und liegt im medialen Teil des Temporallappens. Das Corpus amygdaloideum tritt jeweils paarig auf, besteht aus mehreren Einzelkernen und ist Teil des limbischen Systems. Folglich besteht eine enge afferente und efferente Verbindung zu den anderen Substrukturen dieses Netzwerkes, aber auch zu neokortikalen Zentren. Da die Informationsverarbeitung schon in sekundären visuellen, sensorischen und auditorischen Arealen des Großhirns stattgefunden hat beziehungsweise eine thalamische Verschaltung erfolgt ist, bevor die Afferenzen den Mandelkern erreichen, sind diese bereits differenziert verarbeitet. So erreichen sie in erster Linie den basolateralen Kernkomplex der Amygdala (Trepel, 2004). Dem Corpus amygdaloideum werden eine Vielzahl von Funktionen zugeschrieben. Neben seinem modulierenden Einfluss auf vegetative Zentren des Hypothalamus (z.B. Hormonausschüttung, Regulation des Blutkreislaufs, Nahrungsaufnahme), wird vor allem seine Rolle hinsichtlich der menschlichen Emotionen betont. Der Mandelkern ist wesentlich an der Entstehung der Angst beteiligt und somit auch an der Vermittlung von Verhaltensweisen wie Fluchtreaktionen. Auch andere von Emotionen hervorgerufene motorische Reaktionen (Weinen, Lachen) werden ihm zugeordnet. Zudem erfolgt durch die Amygdala eine emotionale Bewertung bestimmter Erfahrungen und deren Speicherung im Gedächtnis. In ähnlichen Situationen kann dieses Wissen abgerufen werden und der Detektion und Analyse möglicher Gefahren dienen. Durch die Verarbeitung externer Signale können sodann vegetative Reaktionen eingeleitet werden. Eine Verletzung dieser Struktur kann Gedächtnisstörungen und das Unvermögen einer adäquaten emotionalen Wahrnehmung mit sich bringen. Dies bedingt wiederum den Verlust reaktiven Furcht- oder Aggressionsverhaltens und somit gegebenenfalls lebenswichtiger Warnfunktionen (Adolphs, Tranel & Damasio, 1998; Barbas, H., 2007; Harris & Fiske, 2006; Milad & Rauch, 2007; Trepel, 2004; Tsoory, Vouimba, Akirav, Kavushansky, Avital & Richter-Levin, 2008).

2.5 Moralentwicklung bei Jugendlichen

Da sich die vorliegende Arbeit mit adoleszenten Probanden im Alter von 14 bis 16 Jahren beschäftigt, soll im Folgenden auf diese Lebensphase und deren

entwicklungsspezifische Besonderheiten eingegangen werden. Anschließend wird ein orientierender Überblick bezüglich der vorliegenden Studienlage zur strukturellen und funktionellen Gehirnentwicklung bei Jugendlichen gegeben.

Die Adoleszenz ist eine Lebensphase zwischen Kindheit und Erwachsenenalter, in der vom Jugendlichen einerseits diverse Bewältigungsleistungen gefordert werden, sich ihm aber andererseits auch eine Reihe interessanter individueller Erfahrungen und Möglichkeiten hinsichtlich der Identitätsfindung bieten. So ist diese Lebensspanne gekennzeichnet von einer zunehmenden Verselbstständigung und Lösungstendenz vom Elternhaus, Erwachsenenmeinungen und Vorschriften im Allgemeinen. Die Jugendlichen treten aus dem geschützten Kreis der Familie, bauen soziale Bindungen zu Gleichaltrigen auf und erarbeiten sich somit eine selbstständige Rolle in der Gesellschaft (Steinberg & Morris, 2001). Dies führt zur Entwicklung einer eigenen Meinung und deren Vertretung sowie zu einer reflektierten Stellungnahme zur eigenen Persönlichkeit und zur Umwelt. Jedoch bringt dieser Prozess auch Gefühle der Unsicherheit, daraus resultierende Selbstzweifel und eine häufig beschriebene Neigung zu übertriebenen emotionalen Reaktionen mit sich. So ist die Adoleszenz auch eine Zeitspanne mit erhöhtem Risikoverhalten und einer steigenden Mortalitätsrate, die vor allem auf eine große Unfallrate in dieser Altersgruppe zurückzuführen ist (Steinberg, 2008). Daneben besteht eine erhöhte Anfälligkeit für Psychopathologien wie affektive Störungen bis hin zu suizidalen Krisen, Substanzmissbrauch oder Psychosen (Silk, Steinberg & Morris, 2003; Kessler et al., 2005; Paus, Keshavan & Giedd, 2008). Begrifflich abzugrenzen gilt es noch den Ausdruck Pubertät, welcher lediglich einen Teil der Adoleszenz darstellt und sich vor allem auf die biologischen Veränderungen insbesondere im Hinblick auf die Geschlechtsreife bezieht (Fend, 2000).

Den beschriebenen Verhaltensänderungen werden neben sozio-kulturellen Einflüssen und physiologischen hormonellen Faktoren auch strukturelle Hirnprozesse zugrunde gelegt. So wies in den letzten Jahren eine immer größer werdende Anzahl von Studien darauf hin, dass die Adoleszenz eine Phase der Wachstums- und Veränderungsvorgänge des Gehirns darstellt (Blakemore, Burnett & Dahl, 2010). Diese Erkenntnisse sprechen gegen althergebrachte Lehrmeinungen, welche postulierten, dass das Gehirn mit Ende

der Pubertät vollkommen ausgereift sei. Es scheint dagegen so zu sein, dass einige Hirnareale wie z.B. Teile des Frontallappens bis in die dritte Lebensdekade hinein nicht vollständig entwickelt sind (Johnson, Blum & Giedd, 2009). Diese neuronale Reifung könnten wiederum Konsequenzen für das Urteilsvermögen und die Entscheidungsfindung der heranwachsenden Individuen haben. Es ergibt sich daraus die zentrale Frage ob strukturelle Umbauprozesse mit funktionellen Veränderungen einhergehen.

2.5.1 Strukturelle Hirnentwicklung

Bereits in den siebziger und achtziger Jahren des 20. Jahrhunderts ließen Untersuchungen des Hirngewebes Verstorbener vermuten, dass der menschliche präfrontale Kortex einen langwierigen Prozess der Synapsenentwicklung durchlaufe, der weit in die Lebensphase der Adoleszenz hinein reiche (Huttenlocher, De Courten, Garey & Van der Loos, 1983). So wies Huttenlocher (1979) darauf hin, dass die Synapsendichte im menschlichen Gehirn ihr Maximum im primären auditorischen Kortex bereits um das erste Lebensjahr erreiche, während diese Entwicklung für den präfrontalen Kortex erst um das vierte Lebensjahr beschrieben werden konnte. Für das anschließende „Pruning“ stellte er für ersteren einen Abschluss im Alter von zwölf Jahren fest, wohingegen dieser Prozess sich im PFC bis in die Mitteladoleszenz fortsetze (Huttenlocher & Dabholkar, 1997). Unter Pruning versteht man hierbei einen Prozess, der die Verästelung bestehender Synapsen, aber auch deren Reduktion beschreibt, um eine effektivere Verschaltung der Hirnstrukturen zu gewährleisten. Die Einführung der bildgebenden Technologien ermöglichte schließlich die Erforschung der Gehirnentwicklung am lebenden Individuum. Insbesondere die strukturelle und funktionelle Magnetresonanztomographie spielen heutzutage für die Untersuchung von hirnspezifischen Entwicklungsveränderungen eine bedeutende Rolle. Die wichtigste Erkenntnis, die hierbei in den letzten Jahren gemacht wurde ist, dass sich die Gehirnstrukturen während der Adoleszenz, aber darüber hinaus auch im Laufe des gesamten menschlichen Lebens verändern und weiter entwickeln. Obwohl gemäß der heutigen Studienlage fast jedes Hirnareal eine strukturelle Veränderung durchmacht, ist vor allem die relativ späte Reifung des Frontallappens in den Mittelpunkt des

wissenschaftlichen Interesses gerückt. Im Hinblick auf diesen Vorgang erlangte wiederum vor allem die Differenzierung von grauer und weißer Hirnsubstanz Bedeutung. So bezeichnet man als graue Substanz (lat. Substantia grisea) die Anteile des Zentralnervensystems, welche in erster Linie aus den Perikaryen der zentralnervösen Neurone bestehen, während die weiße Substanz (lat. Substantia alba) von deren Fortsätzen und Gliagewebe gebildet wird (Trepel, 2004). Zahlreiche Studien berichten in Übereinstimmung von substanzziellen Änderungen bezüglich des Volumens an grauer und weißer Masse während der ersten zwei oder drei Lebensdekaden. Betroffen seien neben Teilen des PFCs auch der temporale Kortex, der parietale Kortex sowie eine Anzahl subkortikaler Strukturen (Giedd, 2004; Giorgio et al. 2009; Gogtay et al., 2004; Johnson et al. 2009; Paus et al., 2001; Schmithorst & Yuan, 2009).

Für die graue Substanz wurde eine Abnahme in der Adoleszenz-Phase postuliert. Demnach erreicht die graue Masse des Frontallappens um das elfte Lebensjahr zunächst einen Gipfel, der mit einer dendritischen Überproduktion erklärt wird. Es folgt ein Prozess des Prunings, welcher die Effizienz der funktionellen Netzwerke vergrößern und somit eine Anpassungsleistung des Gehirns an bestimmte Umwelteinflüsse darstellen soll. Der daraus resultierende Abbau grauer Substanz ist dabei nicht linear und variiert im Hinblick auf die betroffene Hirnregion. Im Allgemeinen vollzieht sich der Verlust an grauer Masse von rostral nach ventral, wobei die Frontallappen unter den letzten Strukturen sind, die diese Veränderungen durchmachen (Gogtay et al., 2004). Im Gegensatz dazu scheinen sowohl das Volumen als auch die Dichte der weißen Substanz in den beiden ersten Lebensdekaden mit einer gewissen Linearität zuzunehmen. Dieser Aspekt soll den langwierigen axonalen Myelinisierungsprozess widerspiegeln (Bartzokis et al., 2008; Paus et al., 2001). Synaptische Überproduktion, Pruning und Myelinisierung verbessern also die Effizienz und Verarbeitung der Informationsprozesse zwischen den einzelnen Hirnarealen. Diese neuronalen Reifungsvorgänge unterstützen wiederum die Weiterentwicklung sozialer Fähigkeiten sowie die Impulskontrolle. Obwohl kleine Kinder diese Kontrolleigenschaften bereits besitzen können, kann diese Fähigkeit erst durch die oben genannten Prozesse voll ausgebildet und in allen Situationen eingesetzt werden (Luna & Sweeney, 2004). Erkenntnisse aus Tierstudien legen den Verdacht nahe, dass die neuronalen Verbindungen

zwischen den Amygdalae und kortikalen Strukturen, welche auch die Frontallappen umfassen, während der Adoleszenz dichter werden (Cunningham, Bhattacharyya & Benes, 2002). Hierbei handelt es sich um eine Verbindung emotionaler mit kognitiven Strukturen, welche für die kontrollierte Verhaltensweisen von großer Bedeutung sein dürften. Zudem wurde das Konstrukt einer „Temporalen Lücke“ entworfen, welches die Diskrepanz in der Entwicklung zweier bedeutender Areale beschreibt. Auf der einen Seite steht das sozio-emotionale System des Gehirns, das während der Pubertät einen ersten Entwicklungsschub macht, auf der anderen Seite existiert das kognitive Kontroll-System, welches sich in der späten Adoleszenz formt. Diese Lücke soll mit einem bestimmten Risikoverhalten Jugendlicher korrelieren (Dahl, 2001; Steinberg, 2009).

Gemeinsam ist diesen Studien, dass von einer strukturellen Veränderung während der Adoleszenz ausgegangen wird, die vor allem mit einer daraus resultierenden effizienteren Verarbeitungsweise in Verbindung steht und auf Grund bestimmter umweltbedingter Anforderungen nötig wird. Inwieweit diese größere Effizienz funktionelle Netzwerke in ihrer Exekutionsfunktion beeinflusst und somit zur Änderung bestimmter Verhaltensweisen beiträgt ist eine häufig gestellte Frage im derzeitigen wissenschaftlichen Diskurs. Im Folgenden sollen deshalb kurz einige Erkenntnisse im Bezug auf soziale Fähigkeiten und Kompetenzen dargestellt werden.

2.5.2 Funktionelle Gehirnveränderungen in der Adoleszenz

Wenn es auch zum moralischen Urteilen bei Jugendlichen wenig Studien gibt, so wurden einige andere soziale Fähigkeiten, die wiederum zu den Grundlagen menschlicher Moralität zählen, durchaus gut untersucht. Vor allem die funktionelle Bildgebung wurde herangezogen, um zu beschreiben welche anatomischen Netzwerke bei bestimmten Fragestellungen in welchem Umfang aktiv sind. Hierbei legten Ergebnisse aus Studien zur Gesichtererkennung, zur Zuschreibung von Emotionen und zum Mentalisieren die Vermutung nahe, dass sich zumindest diese sozialen Fertigkeiten noch bis in die zweite Lebensdekade hinein entwickeln und verändern. So postulierten mehrere Studien zur Emotionsattribution in Übereinstimmung miteinander die Existenz eines „pubertären Leistungsknicks“ (Carey, Diamond & Woods, 1980; Diamond, Carey

& Back, 1983; McGivern, Andersen, Byrd, Mutter & Reilly, 2002). Dieser soll sich in bestimmten definierten Aufgaben (wie Erkennung von Gesichtern und Zuschreibung einer Emotion), durch schlechtere Leistungen bzw. längere Reaktionszeiten pubertärer Probanden im Vergleich zu prä- und postpubertären Altersgruppen zeigen. Als mögliche Ursache für das schlechtere Abschneiden der Jugendlichen wird der zeitliche Zusammenhang mit der synaptischen Elimination diskutiert. Eine logische Weiterführung dieser Studienarbeit lag in der Entwicklung geeigneter fMRT-Studien zu diesem Aufgaben-Komplex. Hierbei gelangte man durch mehrere Untersuchungen bezüglich unterschiedlicher Fragestellungen zu der These, dass die frontale Aktivität zwischen der Adoleszenz und dem Erwachsenenalter abnimmt (Blakemore, 2008). So wurde für das adoleszente Probandenkollektiv, beispielsweise beim Betrachten ängstlicher Gesichter, eine höhere Gehirnaktivität im Frontalkortex im Vergleich zu Kinder- und Erwachsenengruppen festgestellt (Yurgelun-Todd & Killgore, 2006). Bei einer ähnlichen Untersuchung mit neutralen Vergleichsstimuli fiel auf, dass Jugendliche im Gegensatz zu Erwachsenen sowohl den ACC als auch den linken OFC bei der Betrachtung des emotionalen Gesichtsausdruckes aktivierten (Monk et al., 2003). Dies könnte also den Schluss erlauben, dass je nach Alter und somit gegebenenfalls je nach Entwicklungsstand des Gehirns die Aufmerksamkeit von unterschiedlichen Stimuli erregt wird und somit in der Folge, je nach „eingeschaltetem Areal“, auch unterschiedliche Strategien zur Problemlösung angewendet werden. Auch Experimente zum Mentalisieren geben Hinweise auf eine Aktivitätsabnahme in frontalen Regionen zwischen der Lebensphase der Adoleszenz und dem Erwachsenenalter.

Sowohl Untersuchungen zum Erkennen von Ironie als auch zum Nachdenken über Intentionen beschrieben übereinstimmend eine höhere Aktivierung des medialen präfrontalen Kortexes von Jugendlichen im Vergleich zum Erwachsenenkollektiv (Blakemore, den Ouden, Choudhury & Frith, 2007; Wang, Lee, Sigman & Dapretto, 2006). Zudem wurde in der letztgenannten Studie mit dem rechten superioren temporalen Sulcus allerdings auch ein Hirnareal ermittelt, das bei erwachsenen Versuchspersonen stärker aktiviert wurde. Beide Experimente forderten von ihren Teilnehmern sowohl die intellektuelle Fähigkeit einen bestimmten Sachverhalt zu erkennen als auch die

soziale Fertigkeit diesen sodann in den entsprechenden sozialen Kontext zu transformieren. Die beschriebenen Ergebnisse lassen in der Gesamtschau vermuten, dass sich die neuronale Strategie zum Nachdenken über persönliche bzw. von der Umwelt geforderte Absichten vom Jugendlichen zum Erwachsenen ändert. Obwohl das gleiche neuronale Netzwerk aktiv ist, ändern sich die relativen Bedeutungen der unterschiedlichen Areale mit dem Alter. Die Änderung der Aktivierungsintensität weist somit gegebenenfalls auf die Übernahme einer neuen Rolle im Moralnetzwerk durch ein bestimmtes Areal hin. Für Blakemore (2007) verschiebt sich die Aktivität der beteiligten Hirnregionen beispielsweise von anterior (mPFC) nach posterior (STS). In einer weiteren Studie zum Mentalisieren wurden scheinbar Widersprüche zu obigen Erkenntnissen aufgedeckt. Mithilfe einer typischen false-belief Aufgabe sollten die Probanden hinsichtlich ihrer Fähigkeit getestet werden, falsche von richtigen Realitäten zu unterscheiden und die daraus resultierenden Handlungsabsichten von anderen Personen richtig einzuschätzen. Hierbei wurde eine positive Korrelation von Alter und Aktivität im dorsalen mPFC sowie eine negative Korrelation für Alter und Aktivität im ventralen mPFC beschrieben (Moriguchi, Ohnishi, Mori, Matsuda & Komaki, 2007). Auch wenn man zunächst wiederum für beide Areale erhöhte Aktivität im Jugendalter erwartet hätte, so kann man sich diesen Sachverhalt vielleicht mit den unterschiedlichen Aufgaben der beiden Areale erklären. So könnten die Adoleszenten eine emotionalere Strategie zur Bearbeitung des Sachverhaltes wählen (im Einklang mit der dem VMPFC zugeschriebenen Funktion), während Erwachsene sich einer objektiveren, kognitiven Strategie (s. Funktionen des DLPFC) bedienen.

Zusammenfassend kann man die Feststellung machen, dass es in den Studien zur sozialen Kognition Einigkeit bezüglich der Richtung des Wechsels in der frontalen Aktivität gibt. So hat eine Reihe von Untersuchungen mittlerweile gezeigt, dass die Gehirnaktivität in verschiedenen Frontalregionen zwischen der Lebensspanne der Adoleszenz und dem Erwachsenenalter abnimmt. Ein Zusammenhang zu strukturellen Umbauprozessen, die in der Adoleszenz stattfinden wird diskutiert. Möglicherweise haben diese Aspekte wiederum auch eine Konsequenz für das moralische Urteilen und Handeln Jugendlicher.

2.5.3 Sozio-kultureller Einfluss auf die Adoleszenz

Manche Wissenschaftler lehnen die Theorie der adoleszenzspezifischen strukturell und funktionell bedingten Gehirnveränderungen jedoch ab (Epstein, 2008). Für sie sind jugendliche Verhaltensauffälligkeiten ein Resultat der diversen Stressoren, die heutzutage auf die Heranwachsenden einwirken, und werden somit als Produkt der modernen westlichen Konsumgesellschaft angesehen. So weisen die Untersuchungen zur Adoleszenz in vorindustriellen Gesellschaften darauf hin, dass dieses Phänomen in solchen weitgehend unbekannt und von geringer gesellschaftlicher Relevanz war. Psychische Störungen wurden kaum vorgefunden. Jugendliche verbrachten in erster Linie Zeit mit ihren Eltern und versuchten sich an deren Vorbild zu orientieren. Die Bildung von Peer-Groups und die bewusste Lösung von Erwachsenenmeinungen wurden nicht beobachtet (Schlegel & Barry, 1991). Aus diesen Erkenntnissen wurde die These generiert, dass das Auftreten typischer Jugend-Probleme mit der Einführung westlicher Gepflogenheiten korreliere. So wurde beispielsweise die Einführung des Fernsehens mit den Verhaltensauffälligkeiten der Jugendlichen in Zusammenhang gebracht. Zudem spiele die künstliche Verlängerung der Kindheit eine gravierende Rolle (Epstein, 2007). Jugendliche werden durch Gesetze und Vorschriften in ihrer Entfaltung, entgegen ihren persönlichen Fähigkeiten und ihrer individuellen Reife, eingeschränkt. Vermeintliche Bestätigung, Förderung und Freude finden sie immer mehr in der medialen Welt. Gleichzeitig wird der jugendliche von dieser aber als Konsument ausgenutzt und in eine Scheinwelt geführt, in der Markenprodukte, Schönheit und Gewalt, als hohe Ideale angepriesen werden. Dass dieses entworfene Weltbild sowie der Konsumdruck große Stressfaktoren für einen Heranwachsenden darstellen, ist nachvollziehbar. Die daraus resultierende innere Leere wird folglich für adoleszente Verhaltensextrême verantwortlich gemacht.

Bezüglich der strukturellen Umbauprozesse des Gehirns wird argumentiert, dass bestimmte modifizierende Prozesse ein Leben lang und nicht nur in der Phase der Adoleszenz ablaufen würden (Pujol, Vendrell, Junqué, Martí-Vilata & Capdevila, 1993; Sowell, Thompson & Toga, 2004). So proklamiert eine Studie zur grauen Substanz, dass diese von der Kindheit bis ins hohe Erwachsenenalter abnimmt und nicht nur in der Adoleszenz. Die

Gehirnentwicklung bzw.-veränderung werde vielmehr individuell durch äußere Einflüsse wie Sport, Meditation oder Drogenmissbrauch beeinflusst. Gegen das Postulat des „pubertären Leistungsknicks“ wurden Studien zur Intelligenz, Wahrnehmung und Gedächtnis angeführt, die darauf hinweisen, dass hinsichtlich bestimmter Fähigkeiten (wie räumlichem Vorstellungsvermögen, logischen Verknüpfungen) die jugendliche Leistungsfähigkeit besonders hoch ist. In Testverfahren zur kognitiven Intelligenz erzielten jugendliche Teilnehmer im Alter von 13 bis 15 Jahren gar die höchsten Werte (Fend, 2000; Pujol et al. 1993; Sowell et al., 2004).

Die postulierte Beeinflussung der Gehirnentwicklung durch äußere Einflüsse kann für die Moralentwicklung und das Moralverhalten von Jugendlichen eine große Relevanz erlangen, insbesondere im Hinblick auf gewaltverherrlichende Computerspiele bzw. Fernsehsendungen und deren Auswirkungen auf die Realitätswahrnehmung.

2.6 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit

Die große Bedeutung der Moralität für ein funktionierendes Miteinander der Gesellschaft wurde bereits in der Einführung dargestellt. Diese Relevanz spiegelt auch das wissenschaftliche Interesse wider, welches dem moralischen Urteilen und Handeln zuteil wird. Bis dato wurden mit Hilfe der funktionellen Bildgebung Untersuchungen zu den neuronalen Korrelaten der Moral bei Erwachsenen durchgeführt, die zeigen, dass es Hirnareale gibt, die bei moralischen Fragestellungen regelmäßig aktiviert werden. Hierbei handelt es sich in erster Linie um den medialen präfrontalen Kortex und den superioren temporalen Sulcus. Zudem gibt es auch eine Reihe inkonsistenter Ergebnisse (z. B. Gyrus cinguli, Amygdala).

Hingegen ist die aktuelle Studienlage zur Moralität von Jugendlichen dürftig. Es ist deshalb folgerichtig, gerade diese Altersgruppe in den Fokus unserer Forschung zu stellen, nicht zuletzt vor dem Hintergrund, dass es in der öffentlichen Wahrnehmung in den letzten Jahren scheinbar zu einer Zunahme der Probleme in dieser Altersgruppe (z.B. erhöhte Gewaltbereitschaft, verstärkter Alkohol- und Drogenkonsum) gekommen ist. Ein weiterer wichtiger Aspekt für unsere wissenschaftliche Betrachtung sind die postulierten neuronalen Umbauprozesse während der Adoleszenz, die eine weitergehende

Erforschung begründen. Somit wurde als Ziel der vorliegenden Arbeit definiert, die neuronalen Korrelate moralischen Urteilens bei gesunden Jugendlichen im Alter zwischen 14 und 16 Jahren mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie zu untersuchen.

Hierzu wurden den Probanden moralische Konfliktsituationen mit zwei alternativen Handlungsoptionen präsentiert. Während eine Antwortmöglichkeit immer eine moralische Reaktion auf den dargestellten Sachverhalt anbot, ging die andere Option mit einem nicht-sanktionierten, jedoch unmoralischem Verhalten im allgemeinen gesellschaftlichen Kontext einher. Im Hinblick auf die Präsentation der jeweiligen Konfliktsituationen erhoben wir den Anspruch die Lebenswirklichkeit der Jugendlichen so gut wie möglich zu erfassen und alltagsnahe Konfliktsituationen zu erschaffen. Des Weiteren wurde den jugendlichen Versuchspersonen eine gleiche Anzahl neutraler Konfliktsituationen vorgestellt, um eine Vergleichbarkeit zur moralischen Bedingung zu gewährleisten. Der „Konflikt“ bestand hierbei in der Entscheidung zwischen zwei Antwortmöglichkeiten, die unabhängig vom Wohlergehen anderer oder dem gesellschaftlichen Nutzen waren. Die Einführung dieser neutralen Stimuli sollte zur Differenzierung zwischen moralischen Hirnarealen und Arealen zur allgemeinen Aufgabenbearbeitung (gerichtete Aufmerksamkeit, Perspektivenübernahme, Konzentration, etc.) beitragen. Um eine Basis für spätere Vergleiche zu schaffen, wurde zudem eine Erwachsenen-Kontrollgruppe gebildet, welche unter gleichen Versuchsbedingungen am Experiment teilnahm.

Im Hinblick auf die Besonderheiten des jugendlichen Probandenkollektivs, das sich gemäß der aktuellen Studienlage in einer Phase struktureller und funktioneller hirnspezifischer Veränderungen befindet (siehe Gliederungspunkt 2.5), stellte sich die Frage nach den Konsequenzen dieser Umbauprozesse: Bezogen auf die Verhaltensebene wurde hierfür gemäß dem postulierten Leistungsknick hinsichtlich funktioneller sozialer Fähigkeiten ein „schlechteres Abschneiden“ der Jugendlichen im Sinne einer Tendenz zu „unmoralischem Handeln“ erwartet, also einem Handeln, das inkohärent zu üblichen gesellschaftlichen Wertevorstellungen ist. Mit den Kenntnissen aus den beschriebenen Erwachsenenstudien gingen wir bezüglich der neuronalen Korrelate zunächst davon aus, dass auch für das jugendliche

Probandenkollektiv ein entsprechendes anatomisches Netzwerk gefunden werden würde, welches bei der moralischen Urteilsfindung aktiv ist. Was jedoch die daran beteiligten Hirnregionen betraf, so vermuteten wir deutliche Unterschiede. Dieser Annahme legten wir die Überlegung zugrunde, dass für moralische Entscheidungsprozesse des jugendlichen Gehirns ein intensiverer Bearbeitungsaufwand erforderlich sei als beim Erwachsenen: Zunächst müssten die Jugendlichen den Konflikt inhaltlich und emotional erfassen, um schließlich in der Lage zu sein durch Abwägen eine Entscheidung zu treffen. Während Erwachsene durch Lebenserfahrung und Lernen bereits Automatismen der Handlungskompetenz entwickelt haben, auf welche sie in bestimmten Situationen zurückgreifen können, könnte der zugrunde liegende Verarbeitungsprozess bei Jugendlichen durch die fehlende Routine komplexer sein und deshalb Mehraktivierungen in den betroffenen Hirnarealen hervorrufen.

So gaben sowohl die These der Abnahme der frontalen Gehirnaktivität zwischen Adoleszenz und Erwachsenenalter, als auch die Untersuchungen zur Mentalisierung und zur Emotionsattribution Grund zu der Annahme, dass Jugendliche zur moralischen Problemlösung ein viel breiteres frontales Areal aktivieren als dies bis dato für Erwachsene postuliert wird: Neben der Beteiligung „klassischer Moralareale“, wie dorsolateraler, medialer präfrontaler Kortex und superiorer temporaler Sulcus, erwarteten wir Mehraktivierungen beispielsweise im anterioren cingulären Kortex (ACC) und den Amygdalae. Für diese Areale wurden in Erwachsenenstudien zur Moral bis dato nur inkonsistent Aktivierungen gefunden. Möglicherweise werden diese Areale insbesondere in jüngeren Jahren im Sinne einer „Mehrarbeit“ eingeschaltet und mit steigendem Alter durch effektiver verschaltete Neuronennetzwerke nicht mehr regelmäßig benötigt. Der neuronale Mehraufwand könnte sich beispielsweise durch die Beteiligung des ACC äußern, welchem unter anderem die Koordination des Aufmerksamkeitssystems sowie die Detektion divergierender Erwartungen zugeschrieben wird. Diese Fähigkeiten könnten die jugendlichen Versuchsteilnehmer gemäß unserer Hypothese benötigen, um sich bewusst zu machen, worin der beschriebene Konflikt besteht und welche Gedankengänge zu dessen Lösung mit einbezogen werden müssen. Die erwachsenen Probanden sind möglicherweise in der Lage das Konfliktpotential aufgrund

Erfahrung schneller zu erfassen, weswegen der ACC dazu nicht explizit aktiviert werden müsse. Den Amygdalae wird eine wichtige Rolle bei der emotionalen Bewertung bestimmter Sachverhalte sowie bei der Analyse von Gefahren zugeschrieben. Diese Zuschreibungen, so vermuteten wir, könnte sich das jugendliche Gehirn zu Nutze machen, um mögliche negative Auswirkungen einer Handlungsentscheidung zu projizieren und die Lösungsoptionen von allen Seiten her zu betrachten. Auch Gefühle, wie z. B. Furcht vermögen die Verhaltensweise in eine bestimmte Richtung lenken. Hingegen wäre es denkbar, dass das erwachsene Probandenkollektiv routinierter agiert um sich über die Handlungskonsequenzen umfassend klar zu werden und somit diese emotionale Färbung durch die Amygdalae in den Hintergrund tritt. Durch diese Folgerungen liegt für uns der Schluss nahe, dass das moralische Netzwerk der Erwachsenen durch neuronale Reduktion effektiver verschaltet sein könnte.

3. METHODEN

Für die Untersuchungen, die im Rahmen des Experiments durchgeführt wurden, kam die funktionelle Magnetresonanztomographie zum Einsatz. Mit Hilfe dieses bildgebenden Verfahrens können die Korrelate neuronaler Aktivität im menschlichen Gehirn während einer definierten Aufgabenstellung in vivo untersucht werden. Bevor im Folgenden auf die spezielle Methodik der vorliegenden Arbeit eingegangen wird, sollen zunächst kurz die Grundlagen der funktionellen Magnetresonanztomographie erläutert werden.

3.1 Grundlagen der funktionellen Magnetresonanztomographie

Mit dem Aufkommen der fMRT Anfang der 90er Jahre wurden die etablierten Verfahren zur Ermittlung hirnspezifischer Parameter (EEG, PET, SPECT) um eine wichtige Untersuchungsmethode erweitert. Die Vorteile dieser Methode sind insbesondere in ihrer nicht - invasiven Natur und ihrem höheren räumlichen und zeitlichen Auflösungsvermögen zu sehen (Saur & Weiller, 2009). Zugrunde liegt der fMRT die Tatsache, dass es bei neuronaler Stimulation zu Änderungen der zerebralen Hämodynamik kommt. Den entscheidenden Faktor stellt hierbei der Sauerstoffgehalt des Blutes dar, welcher wiederum die Signalintensität beeinflusst (Logothetis, 2003). Bei neuronaler Aktivität steigt im entsprechenden Hirnareal der Sauerstoffbedarf. Kurzfristig wird dieser Bedarf durch eine reaktive Steigerung der Sauerstoffausschöpfung gedeckt. Dieses physiologische Phänomen geht mit einer Zunahme der Desoxyhämoglobin-Konzentration einher. Langfristig treten jedoch andere Regulationsmechanismen in Kraft: Infolge der Steigerung der kortikalen Metabolismusrate kommt es zu einem lokalen Anstieg des Blutflusses und -volumens. Da aufgrund dieser Prozesse mehr oxygeniertes Hämoglobin antransportiert als zur tatsächlichen Bedarfsdeckung benötigt wird, steigt im venösen Schenkel des Kapillarnetzes der Sauerstoffgehalt. Somit verschiebt sich das Verhältnis von Oxyhämoglobin zu Desoxyhämoglobin zu Gunsten des Oxyhämoglobins. Seine Konzentration ist im Vergleich zum Ruhezustand erhöht (Saur & Weiller, 2009). Oxygeniertes und desoxygeniertes Blut haben unterschiedliche magnetische Eigenschaften. Hierfür ist das an Hämoglobin gebundene Eisen verantwortlich. Dieses ist im oxygenierten Zustand für den Sauerstofftransport zuständig, seine magnetische Eigenschaft

wird hierbei jedoch weitgehend maskiert. Deshalb wird es als diamagnetisch bezeichnet. Dagegen sind die Eisenatome des Desoxyhämoglobins voll magnetisch wirksam und verhalten sich paramagnetisch. Dies bedeutet, dass diese Atome in ihrem Umfeld Magnetfeldinhomogenitäten erzeugen und somit in der Umgebung der Gefäße einen lokalen Magnetfeldgradienten erschaffen. Durch die beschriebene Abnahme des Desoxyhämoglobins kommt es folglich zu einer Abnahme dieser Phänomene, was letzten Endes zu einer langsameren Dephasierung des Protonenspins und somit zu einem Signalanstieg im T2*-gewichteten Gradientenbild in der aktiven Hirnregion führt. Diesen Zusammenhang zwischen T2 Signalintensität und Oxygenierungsgehalt des Blutes wird als BOLD-Effekt (Blood-Oxygenation-Level-Dependent- Effekt) bezeichnet (Ogawa et. al., 1992). Die stimulusgebundene BOLD- Antwort weist einen charakteristischen zeitlichen Verlauf auf. Nach einem initialen Dip kommt es 1 bis 2 Sekunden nach Stimuluswahrnehmung zu einem Ansteigen des Signals, welches nach 6 bis 8 Sekunden sein Maximum erreicht (Boynton, Engel, Glover & Heeger, 1996). Durch das BOLD-Signal wird somit eine indirekte Aufzeichnung der kortikalen Aktivität beim Menschen erreicht (Ogawa et. al. 1992).

3.2 Stichprobe

An der vorliegenden Studie nahmen insgesamt 24 Probanden teil. Davon waren 12 Jugendliche (im Alter zwischen 14 und 16 Jahren), die anderen 12 Versuchsteilnehmer bildeten die erwachsene Kontrollgruppe. Auf eine ausgeglichene Geschlechterverteilung wurde geachtet.

• Jugendliche Probanden

Die sechs Mädchen und sechs Jungen waren zum Zeitpunkt der Erhebung im Durchschnitt 15.0 Jahre alt ($SD=0.85$). Die Altersspanne reichte hierbei von 14 bis 16 Jahren. Unter ihnen befanden sich neun Gymnasiasten und zwei Realschüler, ein Proband besuchte die Fachoberschule. Bei der Auswertung des CTF 20 Intelligenztests (Cattell & Weiß, 1963) konnte für dieses Probandenkollektiv ein durchschnittlicher Intelligenzquotient von 108.8 ermittelt werden ($SD=10.7$). Elf Versuchspersonen gaben an Rechtshänder zu sein, eine Person war Linkshänder.

- Erwachsene Probanden

Die Probanden der erwachsenen Kontrollgruppe, die sich aus sechs Frauen und sechs Männern zusammensetzte, erreichten zum Zeitpunkt der Datenerhebung ein Durchschnittsalter von 25.5 Jahren ($SD=3.2$), wobei sich die Altersspanne zwischen 22 und 31 Jahren erstreckte. Alle Probanden hatten die Hochschulreife und erreichten beim durchgeführten Mehrfach-Wortschatz-Intelligenztest (MWT-B) im Durchschnitt einen Intelligenzquotienten von 119.6 ($SD=11.7$) (Lehrl, 2005). Bezüglich des IQ-Wertes konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Probandenkollektiven ermittelt werden. Alle Versuchsteilnehmer gaben an Rechtshänder zu sein.

Ausschlusskriterien für die Teilnahme an dem Experiment stellten neurologische und psychiatrische Erkrankungen, eine Schwangerschaft und metallische Implantate, v. a. im Kopfbereich der Probanden, dar. Bei allen Versuchspersonen konnten diese Kontraindikationen ausgeschlossen werden. Die Probanden wurden entweder über Anschreiben mit einer kurzen Beschreibung des Experiments an Regensburger Schulen und Sportvereinen bzw. an der Universität Regensburg rekrutiert oder direkt angesprochen und dabei kurz über die Studie informiert. Alle Probanden nahmen freiwillig sowie im Falle der Minderjährigen mit der Erlaubnis ihrer Eltern bzw. Sorgeberechtigten an der Studie teil und unterzeichneten die Einverständniserklärung gemäß den Richtlinien der Ethikkommission (vgl. Anhang, Anlagen A und B). Der Antrag zur Beurteilung ethischer und rechtlicher Fragen am Menschen für dieses Experiment wurde von der Ethikkommission der Universität Regensburg genehmigt. Den Probanden wurde bezüglich ihrer personenbezogenen Daten die Einhaltung der gesetzlichen Datenschutzbestimmungen zugesichert. Als Entlohnung erhielt jeder jugendliche Proband einen Kino- oder Einkaufsgutschein im Wert von 20 Euro sowie auf Wunsch eine CD-Rom mit den MRT-Aufnahmen seines Gehirns. Die erwachsenen Teilnehmer wurden mit 10 Euro entlohnt.

3.3 Material

3.3.1 Experimentelles Design

Für die vorliegende Studie wurde ein sog. Blockdesign gewählt. Dieses schien aufgrund der ihm zugeschriebenen Sensitivität für die Ermittlung von

Netzwerken neuronaler Aktivität (Liu, Frank, Wong & Buxton, 2001) im Hinblick auf das Ziel der Arbeit, die Darstellung von aktiven Neuronenverbänden beim moralischen Urteilen, als besonders geeignet.

3.3.2 Stimuli

Den Probanden wurden insgesamt 56 Szenarien in Satzform dargeboten, die entweder „neutrale“ oder „moralische“ Konflikte zum Inhalt hatten. Gemäß der Begriffsdefinition ist ein Konflikt durch die Unvereinbarkeit von Zielen, Zwecken und Werten gekennzeichnet. Die 28 Szenarien mit moralischem Gehalt (Moralische Bedingung) beschrieben Konflikte, in denen es zur Kollision von moralischen Maximen mit persönlichen Interessen kam. Die Konflikte in den 28 neutralen Szenarien (Neutrale Bedingungen) bestanden hingegen lediglich in der Entscheidung zwischen zwei Antwortoptionen, die vom Wohlergehen anderer Personen oder dem gesellschaftlichen Nutzen gänzlich unabhängig waren. Stattdessen wurden individuelle Präferenzen (z. B. bezüglich der Freizeitgestaltung) und persönliche Vorlieben (z.B. für bestimmte Nahrungsmittel) abgefragt. Beispiele für moralische und neutrale Konflikte sind im Anhang (vgl. Anlage C) zu finden. Jedes Szenario wurde zunächst in Textform auf dem Bildschirm präsentiert und mit Hilfe von drei nacheinander dargebotenen Sätzen erläutert: So stellte der Einführungssatz die fiktive Situation vor, in die sich der Proband hineinversetzen sollte. Im zweiten Satz wurde schließlich der „neutrale“ bzw. „moralische“ Konflikt eingeführt, während der letzte Satz die Versuchsperson auf die Entscheidungsfindung vorbereiten sollte. Diese wurde schließlich durch die abschließende Frage „Wie verhalte ich mich?“ eingefordert. Für die Präsentation der Szenarien wurde die Erzählperspektive der Ich-Form gewählt. Die Sätze wurden den Probanden mit schwarzer Schrift auf weißem Hintergrund präsentiert. Die Präsentationsdauer betrug für jede Konflikt-Situation 15 Sekunden. Im Anschluss daran wurden der Versuchsperson auf dem Bildschirm zwei Antwortalternativen vorgestellt. Diese wurden für 5 Sekunden auf die Mitte der Leinwand projiziert. Auch die Antworten wurden in der Perspektive eines Ich-Erzählers dargeboten. Nach Ablauf der Zeit wurden über den Antwortoptionen die Buchstaben A bzw. B eingeblendet. Mit dem Erscheinen der Buchstaben sollten die Probanden sodann ihre Entscheidung durch Drücken des entsprechenden Knopfes auf der

Tastatur mitteilen. Um die neuronale Aktivität, die lediglich auf motorische Prozesse zurückzuführen war, so gering wie möglich zu halten, wurden die Versuchspersonen ausdrücklich darauf hingewiesen den Knopf nicht vor dem Erscheinen der Buchstaben zu drücken. Die Einblendung von „A“ und „B“ mit der Handlungsaufforderung an den Versuchsteilnehmer erschien für 2 Sekunden auf dem Bildschirm. Insgesamt wurden somit pro Szenario je drei Bilder verwendet, folglich handelte es sich um einen dreigliedrigen Trial. Das erste Bild stellt die Konflikt-Situation dar, in welche sich der Proband hineinversetzen soll und stellt die Frage nach seinem resultierenden Verhalten, das zweite stellt die Handlungsalternativen vor und das letzte verlangt die Bekanntgabe der Entscheidung. Jedem Trial folgte eine Fixierungsphase mit einer randomisierten variierenden Dauer zwischen 8 und 12 Sekunden, in welcher die Versuchspersonen dazu angehalten wurden ein in der Mitte des Bildschirms präsentiertes Kreuz zu betrachten. Dieser Einschub erfolgte, um die Trials für die anschließende Auswertung besser voneinander trennen zu können. Ein Beispiel für einen Pfad ist in Abbildung 3.1 dargestellt.

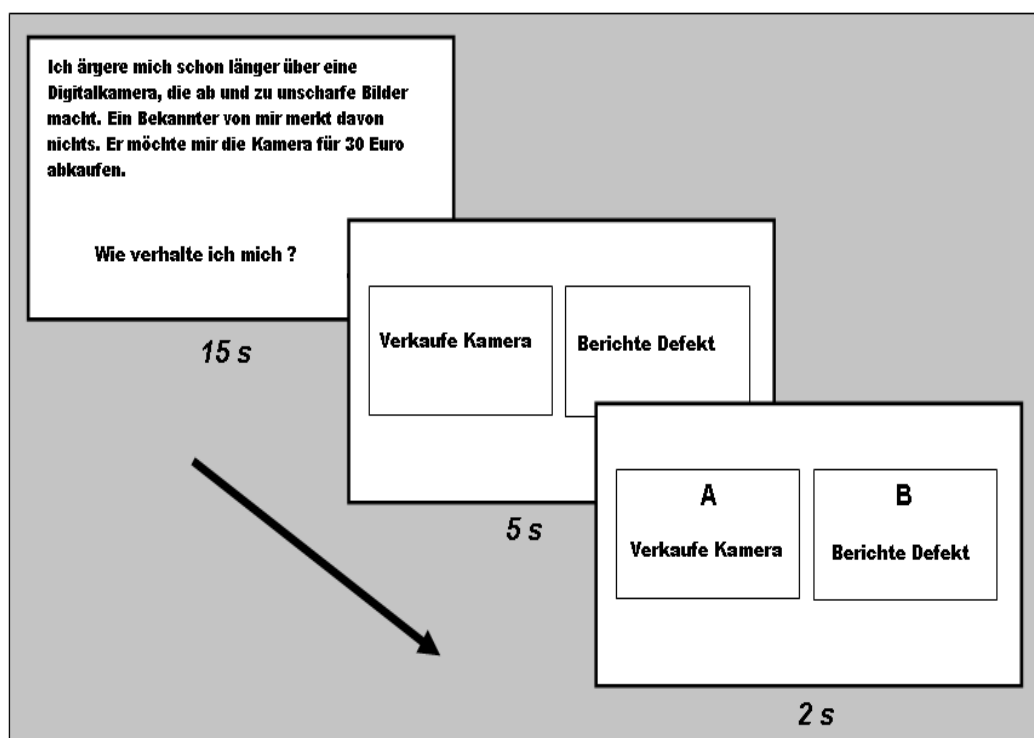


Abbildung 3.1

Schematische Darstellung eines Pfades in der moralischen Bedingung. Im ersten Bild wurden die Probanden dazu angehalten darüber nachzudenken was

sie in dem präsentierten Konflikt tun würden. Sodann wurden die zwei möglichen Antwortalternativen präsentiert, gefolgt vom Einblenden der Buchstaben „A“ und „B“. Diese Buchstaben waren das Zeichen für die Probanden ihre Entscheidung durch Tastendruck bekannt zu geben.

Moralische Konflikte und neutrale Konflikte wurden in randomisierter Reihenfolge gezeigt. Auf eine annähernd übereinstimmende Anzahl an Wörtern wurde geachtet, um somit die Lesezeiten für beide Bedingungen einander anzugleichen. Die Gesamtdauer der Messung im Scanner betrug in etwa 36 Minuten, wobei der funktionelle Datenerwerb 30 Minuten und das am Ende des Experiments angefertigte anatomisch-strukturelle Bild sechs Minuten in Anspruch nahmen. Im Vorfeld des Experiments wurden den Versuchspersonen standardisierte Anweisungen gegeben. Sie wurden beispielsweise explizit darauf hingewiesen sich so gut wie möglich in die dargebotenen Situationen hineinzusetzen und sich während der Untersuchung so wenig wie möglich zu bewegen. Zur Darbietung des Stimulationsmaterials sowie zur Erfassung der Verhaltensdaten (Anzahl der moralischen bzw. neutralen Antworten) und der Reaktionszeiten wurde die Software Presentation 11.3 (Neurobehavioral Systems Inc., Albany, CA) verwendet. Die Stimuli wurden mit Hilfe eines D-ILA-LCD Projektors (JVC Corp., Yokohama, Japan) auf eine Leinwand im Inneren des Kernspin-Gerätes projiziert, die von den am Rücken liegenden Probanden über einen an der Kopfspule befestigten Spiegel eingesehen werden konnte. Die Kopfspule war systemkonform angepasst. Die Probanden wurden instruiert ihre Entscheidung für die jeweilige Antwortalternative (A oder B) per Tastendruck mitzuteilen, wobei sie dafür entweder den Zeigefinger (für A) oder den Mittelfinger (für B) der rechten Hand benutzen sollten. Die Antwortmöglichkeiten wurden in randomisierter Reihenfolge bei A bzw. B dargeboten. Diese Reaktion wurden sodann über zwei Tasten einer fMRT kompatiblen Reaktionsbox der Firma Lumitouch (Photon Control, Burnaby, Canada) erfasst.

3.3.3 fMRT-Datenaquisition

Zur Erhebung der Daten wurde ein Siemens Allegra Head Scanner (Siemens Inc., Erlangen, Deutschland) mit einer Magnetfeldstärke von 3 Tesla verwendet.

Die funktionellen Aufnahmen wurden durch die Erfassung der BOLD-Signale erreicht. Diese Signale wurden durch 966 T2*-gewichtete EPI (Echo-Planar-Imaging-)Sequenz Messungen mit den Parametern Time-to-Repeat (TR) = 2000ms, Time to Echo (TE) = 30ms, Flip-Winkel = 90° und Field of View (FoV) = 192 mm aufgenommen. Das Echo-Planar-Imaging stellt ein MRT-Aufnahmeverfahren dar, welches auf Grund seiner hohen Aufnahmegeschwindigkeit zur Untersuchung des BOLD-Signals gut geeignet ist. Eine EPI-Sequenz bestand aus 32 axialen Schichten, wobei die jeweilige Schichtdicke 3 mm und die Voxelgröße 3 mm x 3mm x 3 mm betrug. Es bestand kein Abstand zwischen den einzelnen Schichten.

Des Weiteren erfolgte nach der Erhebung der EPI-Sequenzen eine hoch auflösende strukturelle T1-gewichtete isotrope 3D-Gradienten-Echo-Sequenz (Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo, kurz: MPRAGE) mit den Parametern 160 axiale Schichten, TR = 2250 ms, TE = 3,93 ms, Flip-Winkel = 9°, FoV = 256 x 256 mm, Voxelgröße = 1 x 1 x 1 mm.

3.3.4 Versuchsablauf

Die Probanden wurden an den vereinbarten Terminen am Bezirksklinikum Regensburg von der Versuchsleiterin in Empfang genommen. Vor Beginn der Untersuchung wurden die Probanden und im Falle der minderjährigen Jugendlichen auch deren Eltern bzw. Sorgeberechtigte über den Ablauf des Experiments und das Messverfahren aufgeklärt. Zudem wurde nochmals das Vorliegen der Kontraindikationen einer MRT-Untersuchung geprüft. Hierzu erhielten die Versuchsteilnehmer ein Informationsblatt, welches sowohl die Funktionsweise einer Kernspin-Untersuchung, das Vorgehen bei diesem Experiment als auch Erklärungen zum Datenschutz in schriftlicher Form erläuterte. Nachdem alle offenen Fragen der Probanden bzw. deren Erziehungsberechtigten ausführlich geklärt waren, leisteten die Teilnehmer ihre Unterschrift zur Einverständniserklärung. Zusätzlich wurden Daten zu Alter, Gewicht, Händigkeit und besuchttem Schulzweig bzw. Bildungsabschluss erhoben. Um die intellektuellen Fähigkeiten der Probanden in etwa einschätzen zu können erfolgte sodann die Durchführung eines Intelligenztestes. Dabei wurde für die Jugendlichen der CFT 20-Test (Cattell & Weiß, 1963) angewendet, welcher sich aus 4 Einzeltests zusammensetzt und die Lösung

räumlich-visueller Problemstellungen erfordert. Für die Erwachsenen wurde der MWT-B Intelligenztest (Lehrl, 2005) gewählt. Danach wurde den Probanden an einem Standard-Computer das Prinzip der Aufgabenstellung und der Umgang mit der Tastatur erklärt. Hierfür wurden vier exemplarische Trials gewählt, wovon zwei neutrale und zwei moralische Konflikt-Potentiale beinhalteten. Die hierbei verwendeten Szenarien waren nicht Inhalt des folgenden Experiments im Kernspintomographen. Schließlich vergewisserte sich die Versuchsleiterin ob das Experiment von den Versuchspersonen verstanden wurde und sie zu dessen korrekter Bearbeitung in der Lage waren. War dies der Fall, so konnte mit der eigentlichen Untersuchung begonnen werden. Bevor die Probanden den Raum des Kernspin-Gerätes betraten, wurden sie angewiesen alle metallischen Gegenstände wie Schmuck oder bestimmte Kleidungsstücke (z.B. Gürtel) abzulegen. Bei den Vorbereitungen auf die fMRT-Messung wurden den Versuchspersonen alle Teilschritte ausführlich erklärt: Zunächst erhielten die Probanden Ohropax und Kopfhörer als Lärmschutz, da während der Untersuchung hohe Lärmpegel erreicht werden können. Dann wurden sie aufgefordert sich auf die Liegefläche des MR-Systems zu legen. Um eine möglichst bequeme Rückenlage zu schaffen, erhielten die Probanden Schaumstoffkissen für Kopf, Wirbelsäule und die Extremitäten. Danach wurde ihnen eine Alarmglocke für Notfälle, mit welcher eine gewünschte sofortige Unterbrechung des Experiments mitgeteilt werden konnte, in die linke Hand gegeben. Für die rechte Hand erhielten die Versuchsteilnehmer die Tastatur und wurden nochmals instruiert mit welchem Finger die zutreffende Antwort zu geben sei. Zudem wurde der Kopf in der Kopfspule fixiert und der daran befestigte Spiegel so justiert, dass die Szenarien einwandfrei sichtbar und lesbar waren. Schließlich wurden die Probanden gebeten v. a. den Kopf während der Dauer der Untersuchung so wenig wie möglich zu bewegen und wurden sodann in den Magnetresonanztomographen gefahren. Nachdem die Versuchsleiter überprüft hatten, dass die Versuchspersonen korrekt im Messfeld des Geräts positioniert waren, wurde mit dem Experiment begonnen. Keiner der Teilnehmer äußerte körperliche oder psychische Beeinträchtigungen oder brach das Experiment zu einem späteren Zeitpunkt ab. Nach der Präsentation der 56 Szenarien in randomisierter Reihenfolge erfolgte die anatomisch-strukturelle Aufnahme des Gehirns. Nach Beendigung der Messung

wurden alle experimentellen Anordnungen abmontiert und die Probanden aufgefordert langsam aufzustehen und den Raum zu verlassen. Vor der Verabschiedung erhielt jede Versuchsperson ihre Entlohnung und offene Fragen wurden beantwortet.

3.4 Statistische Analyse

3.4.1 Analyse der Verhaltensdaten

Die Berechnung der Verhaltensdaten sowie der statistische Vergleich der Entscheidungen und Reaktionszeiten der einzelnen Versuchspersonen erfolgte mittels des Programms SPSS 16 (SPSS Corp., Chicago, IL).

3.4.2 Analyse der fMRT-Daten

Nach der Erhebung und Aufzeichnung der Datensätze mit Hilfe des Scanners erfolgte deren Auswertung. Diese umfasste zunächst die Vorverarbeitung der fMRT-Daten, bevor mit der statistischen Analyse begonnen werden konnte.

3.4.2.1 Datenvorverarbeitung

Das sog. Preprocessing erfolgte in mehreren Schritten, welche im Folgenden in ihren Grundzügen erläutert werden sollen.

- *Slice-timing*

Zunächst wurden alle funktionellen Datensätze bezüglich ihrer Aufnahmezeit korrigiert. Das sog. Slice-timing trägt hierbei der Tatsache Rechnung, dass nicht alle Schichten gleichzeitig aufgenommen werden können und somit zeitliche Verschiebungen zwischen den einzelnen Schichten entstehen. Da jedoch die zeitgleiche Erhebung aller Schichten eine Voraussetzung für die spätere Datenanalyse darstellt, wird diese mit Hilfe des Slice-timings simuliert und somit eine Korrektur der Scanzeiten durchgeführt. Als Referenzmessung, an die die einzelnen Schichten eines Volumes angepasst wurden, diente dabei die mittlere Schicht (Henson, Buechel, Josephs & Friston, 1999).

- *Bewegungskorrektur (Realignment)*

Anschließend wurde eine Bewegungskorrektur durchgeführt. Diese ist erforderlich, um Artefakte zu korrigieren, welche durch Kopfbewegungen des Probanden verursacht wurden. Diese Störfaktoren können sodann stimulusbezogene Aktivierungen vortäuschen, die lediglich auf die motorische

Unruhe der Versuchsperson zurück zu führen sind oder aber „echte“ Stimulus-Aktivierungen überdecken. Dieser Prozess hat also zum Ziel Signaländerungen, denen lediglich eine Bewegung zugrunde liegt, heraus zu filtern. Für das sog. Realignment wird ein Referenzbild aus einer Zeitreihe ausgewählt und Bewegungen in Form einer Translation bzw. Rotation festgestellt, welche die Transformation zwischen dem jeweiligen Bild und dem Referenzbild detektieren. Anhand dieser Parameter kann die Bewegung des Kopfes beschrieben und letzten Endes korrigiert werden.

- *Koregistrierung*

Das beim Realignment gemittelte funktionelle Bild wurde im Schritt der Koregistrierung über das jeweilige strukturelle Bild einer jeden Versuchsperson gelegt. Somit konnten eine Anpassung der funktionellen Bilder an die anatomischen erreicht werden. Die Koregistrierung vereinfacht zudem eine Normalisierung der funktionellen Daten (Saur & Weiller, 2009).

- *Normalisierung*

Da sich die Gehirne der einzelnen Individuen hinsichtlich ihrer Anatomie erheblich unterscheiden, ist eine statistische Vergleichbarkeit unter diesen Umständen nur sehr eingeschränkt möglich. Um also verschiedene Probanden hinsichtlich der neuronalen Korrelate innerhalb einer Studie als Gruppenanalyse, aber auch die Ergebnisse verschiedener Studien vergleichen zu können, ist die Anpassung der individuellen Daten an einen standardisierten anatomischen Raum sinnvoll. Zur Überführung der Daten in diese Form erfolgt der Prozess der Normalisierung. In der vorliegenden Studie wurde das Referenzgehirn des Montreal Neurological Institutes (MNI) (Collins, Neelin, Peters & Evans, 1994) verwendet. Dieses Standard-Gehirn wurde mit Hilfe einer Transformationsmatrix geschaffen, in welche die strukturellen Daten von 152 Gehirnen eingingen. Die Datensätze anatomisch unterschiedlicher Gehirne wurden somit direkt vergleichbar gemacht.

- *Glättung (Smoothing)*

Zum Abschluss des Preprocessing wurde eine räumliche Korrektur, die sog. Glättung mit einem full-width half-maximum (FWHM) Gaussschen Filter von 8 mm durchgeführt. Hierbei soll eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses erreicht werden (Saur & Weiller, 2009).

3.4.2.2 Datenanalyse

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels des Allgemeinen Linearen Modells (general linear model; GLM), wobei die Bewegungsparameter als Kovariaten eingingen (Friston, Frith, Turner & Frackowiack, 1995). Als Referenzfunktion fand die box car waveform Anwendung, um räumliche und zeitliche Verschiebungen in der hämodynamischen Antwort auf die Stimuli zu berücksichtigen (Friston, Josephs, Rees & Turner, 1998). Die Auswertung wurde zunächst einzeln für jeden Probanden durchgeführt (first-level Analyse). Hierbei gingen sechs Kovariablen, durch die Bewegungsartefakte berücksichtigt wurden, und eine Fehlerkonstante über alle Scans in die Analyse ein. In der vorliegenden Studie stand der Kontrast *Moral* > *Neutral* ($M > N$) sowohl für das jugendliche als auch für das erwachsene Probandenkollektiv im Mittelpunkt des Interesses. Sowohl für die moralische als auch für die neutrale Bedingung wurden je drei individuelle first-level Regressoren geschaffen: Ersterer enthielt die Gesamtdauer der Konfliktpräsentation (15s), während der zweite Regressor der Präsentationszeit der Antwortalternativen (5s) Rechnung trug. Der dritte wiederum umfasste schließlich die Bildschirmpräsentation der Buchstaben A und B über den Antwortmöglichkeiten, welche die Versuchsperson zur Bekanntgabe ihrer Entscheidung aufforderte (2s). Um diejenigen Hirnareale zu identifizieren, welche mit moralischem Nachdenken assoziiert sind, wurde der Regressor, welcher die Konfliktpräsentation der moralischen Bedingung enthielt mit dem entsprechenden Regressor der neutralen Bedingung kontrastiert. Die für jede Versuchsperson berechneten Kontraste gingen dann in eine second-level random-effects Analyse pro Gruppe über alle Probanden ein. Hierzu wurden über alle 12 Versuchspersonen der zwei Probanden-Kollektive für die Kontraste t-Tests gerechnet. Für jeden Kontrast ergab sich dadurch eine SPM map. Für diese SPM maps wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0.001$ (unkorrigiert für mehrere Vergleiche) festgelegt. In einer weiteren second-level random-effects Analyse wurde sodann die Aktivität für den Kontrast $M > N$ in der jugendlichen mit der Aktivität für den Kontrast $M > N$ in der erwachsenen Probandengruppe kontrastiert.

4. ERGEBNISSE

4.1 Verhaltensdaten

4.1.1 Verhaltensdaten Jugendliche

In der moralischen Bedingung wählten die jugendlichen Versuchsteilnehmer in durchschnittlich 62.2% ($SD=11.1\%$) der Konflikte die moralische Antwortalternative. Dagegen gaben sie in 33.6% ($SD=11.6\%$) der Erfüllung des persönlichen Bedürfnisses den Vorzug. Des Weiteren betrug die Versager-Quote, mit welcher der Anteil ungültiger oder nicht getätigter Tastenklicks angegeben wird, 5.95% ($SD=4.5\%$). Innerhalb der neutralen Bedingung entschieden sich die Jugendlichen je nach persönlichen Vorlieben zwischen zwei vorgegebenen Lösungsoptionen in 97.3% ($SD=3.1\%$) der dargebotenen Konflikte. Die Quote des sog. Miss-Matches lag somit bei 2.7% ($SD=3.1\%$). Bezüglich der Reaktionszeiten, welche die Versuchspersonen für die einzelnen Teilaufgaben benötigten, wurden folgende Ergebnisse ermittelt: Die durchschnittliche Reaktionszeit für Probanden, die innerhalb der moralischen Bedingung die moralische Antwort wählten betrug 698.3 ms ($SD=165.9$), hingegen dauerte es im Durchschnitt 744.8 ms ($SD=239.7$), wenn sich die Teilnehmer für die unmoralische Alternative entschieden. Insgesamt betrug die Reaktionszeit innerhalb der moralischen Bedingung unabhängig von der gewählten Antwortoption des Probanden 707.3 ms ($SD=183.2$). Die durchschnittliche Reaktionszeit für die neutrale Fragestellung betrug 709.8 ms ($SD=183.3$).

4.1.2 Verhaltensdaten Erwachsene

Innerhalb der moralischen Bedingung entschieden sich in der erwachsenen Kontrollgruppe durchschnittlich 73.5% ($SD=10.9\%$) für die moralische Konfliktlösung, während auf die unmoralische Antwortalternative 24.1% ($SD=11\%$) entfielen. Die Quote der Misses betrug hierbei 2.4% ($SD=2.3\%$). In der neutralen Bedingung erfolgte die Wahl einer Lösungsoption in 98.5% ($SD=2.4\%$) der angebotenen Konflikte, wobei das Miss-Match folglich 1.5 % ($SD=2.4\%$) betrug. Im Hinblick auf die Reaktionszeiten benötigten die Versuchspersonen im Durchschnitt 754.8 ms ($SD=261.8$) um sich für die moralische Antwort-, und 796.7 ms ($SD=188.7$) um sich für die unmoralische Antwortoption zu entscheiden. Ohne Differenzierung der Antwortmöglichkeiten

ergab sich für die moralische Fragestellung insgesamt eine Reaktionszeit von 754.7 ms ($SD=206.3$). Für die neutrale Bedingung wurde dagegen durchschnittlich 729.4 ms ($SD=142.9$) gemessen. Ein Vergleich der beiden Probandengruppen hinsichtlich ihrer Verhaltensdaten ergab keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Anzahl moralischer Antworten ($t(22)=1.901$; $p=0.07$).

4.2 fMRT-Daten

Um diejenigen Hirnareale zu ermitteln, welche für das alltägliche moralische Entscheiden zuständig sind, subtrahierten wir die Aktivierungen, die sich bei der Konfrontation mit der neutralen Fragestellung ergaben von den Aktivierungen, die sich bei Bearbeitung der moralischen Konfliktsituationen zeigten. Somit sollten die für das moralische Denken entscheidenden Gehirnregionen dargestellt werden. Parameter wie Lesezeit, visuelle Inputs, Dauer der Bildschirmpräsentation, etc. wurden in beiden Bedingungen konstant gehalten um somit das Nachdenken über moralische Standards als den entscheidenden Unterschied zwischen den beiden Bedingungen in den Vordergrund zu rücken. Im Folgenden werden nun zunächst die Ergebnisse der fMRT-Datenanalyse der beiden Probandengruppen angeführt, ehe im Anschluss ein Vergleich der Ergebnisse hinsichtlich Moralische Bedingung > Neutrale Bedingung erfolgt.

4.2.1 Jugendliche: Moralische Bedingung > Neutrale Bedingung

Signifikante Aktivierung im Vergleich Moralische Bedingung > Neutrale Bedingung zeigte sich bei einem voxel-basierten T-Wert von $T=4$ und einem korrigierten p-Wert auf cluster-Ebene von $p \leq .05$ für das jugendliche Probandenkollektiv im medialen präfrontalen Kortex (BA 6, 9, 10, 47), der bilateralen TPJ (BA 39, 40), dem bilateralen mittleren und oberen Temporalkortex (BA 21, 22), sowie dem Präcuneus (BA 7), Gyrus parahippocampalis und Gyrus fusiformis (BA 19, 37). Eine detaillierte Beschreibung der signifikanten Aktivierungen im Vergleich Moralische Bedingung > Neutrale Bedingung wird in Tabelle 4.1 aufgeführt.

Tabelle 4.1

Signifikante Gehirnaktivierung für den Kontrast M > N. Diese Tabelle enthält Informationen über die Bezeichnung und Hemisphäre der aktivierten Hirnareale sowie über die assoziierten Brodmann Areale, die Clustergröße in Voxel, die MNI Koordinaten und die T-Werte

Hemisphäre & Areal	Brodmann	Clustergröße	MNI	T-Werte		
	Areale	in Voxel	Koordinaten	x	y	z
R Gyrus temporalis medius	21	855	50	-16	-22	9,81
L Gyrus parahippocampalis , L Gyrus fusiformis	19, 37	422	-34	-42	-14	9,78
R Gyrus temporalis superior	40	1329	48	-48	18	8,97
L Gyrus temporalis superior und medius, L Gyrus supramarginalis	22, 39, 40	1675	-64	-48	38	8,46
R Gyrus frontalis superior und medius	9, 10	1365	22	24	36	8,28
R Gyrus frontalis inferior	47	374	54	34	-8	7,80
L Gyrus frontalis inferior	47	251	-32	32	-4	7,76
R Gyrus frontalis superior	6	218	14	22	64	7,39
L Präcuneus	7	2264	-2	-44	46	6,99
R Gyrus frontalis inferior	47	118	28	24	-2	6,02
L Gyrus frontalis medius	9	177	-30	28	38	5,91

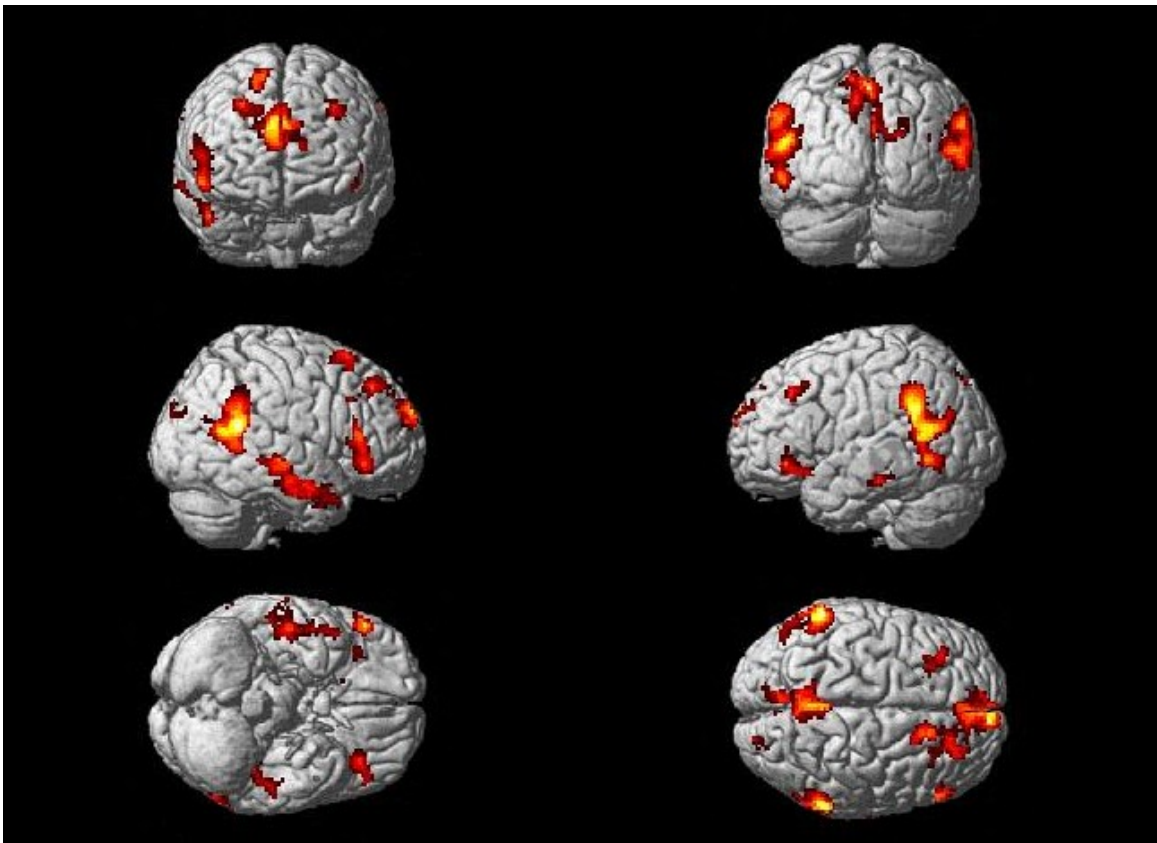


Abbildung 4.1

*Signifikante Mehraktivierung der moralischen im Vergleich zur neutralen Bedingung für das jugendliche Probandenkollektiv ($T=4$; $p \leq .05$)
Eine detaillierte Beschreibung der aktivierten Areale kann in Tabelle 4.1 gefunden werden*

4.2.2 Erwachsene: Moralische Bedingung > Neutrale Bedingung

Signifikante Aktivierung im Vergleich Moralische Bedingung > Neutrale Bedingung erhielten wir für die erwachsene Kontrollgruppe bei einem T-Wert von $T=4$ und einem korrigiertem p-Wert von $p \leq .05$ in einem breiten Netzwerk, welches den medialen präfrontalen Kortex (BA 8, 9, 10, 47), mediale und obere Anteile des Temporallappens (BA 21, 22, 39, 40) sowie Präcuneus (BA 7), Gyrus parahippocampalis und Gyrus fusiformis (BA 36, 37) umfasste. Die detaillierte Beschreibung der signifikanten Aktivierungen im Vergleich Moralische Bedingung > Neutrale Bedingung wird in Tabelle 4.2 aufgeführt.

Tabelle 4.2

Signifikante Gehirnaktivierung für den Kontrast M > N. Diese Tabelle enthält Informationen über die Bezeichnung und Hemisphäre der aktivierten Hirnareale sowie über die assoziierten Brodmann Areale, die Clustergröße in Voxel, die MNI Koordinaten und die T-Werte

Hemisphäre & Areal	Brodmann	Clustergröße	MNI	T-Werte			
	Ar	in	Koordinaten				
	e	Vo	x	y	z		
	al	xel					
	e						
L Gyrus temporalis superior und medius, L Gyrus supramarginalis	22, 39, 40	1985	-64	-50	36	9,97	
R, L Präcuneus	7	3542	6	-72	34	9,18	
R Gyrus temporalis superior und medius, R Gyrus supramarginalis	21, 22, 39	2972	48	-62	18	9,10	
R Gyrus frontalis superior und medius	9, 10	4491	4	56	8	8,56	
L Gyrus frontalis inferior	47	547	-36	20	-10	8,54	
R Gyrus frontalis inferior	47	839	32	20	-14	7,77	
L Gyrus frontalis superior und medius	8, 9	265	-26	46	42	7,04	
L Gyrus parahippocampalis, L Gyrus fusiformis	36, 37	78	-34	-40	-14	5,88	

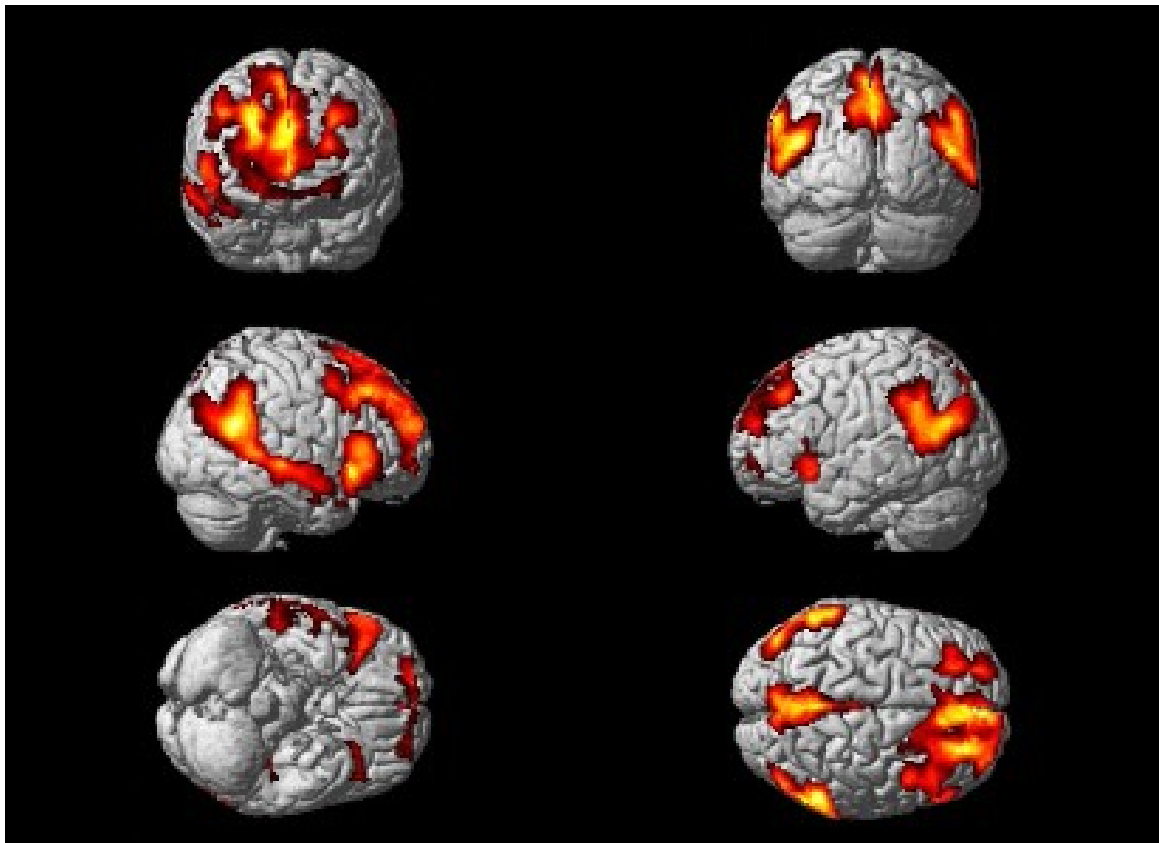


Abbildung 4.2

*Signifikante Mehraktivierung der moralischen im Vergleich zur neutralen Bedingung für das erwachsene Probandenkollektiv ($T=4$; $p \leq .05$)
Eine detaillierte Beschreibung der aktivierten Areale kann in Tabelle 4.2 gefunden werden*

4.2.3 Vergleich der Probandengruppen

Für den Vergleich $M > N$ zeigte sich für das jugendliche Probandenkollektiv im Gegensatz zur erwachsenen Kontrollgruppe bei einem T-Wert von $T=2$ und einem korrigiertem p-Wert von $p \leq .05$ eine signifikante Mehraktivierung im Gyrus occipitalis medius, Gyrus parahippocampalis und Gyrus fusiformis (BA 19, 30, 37). Dagegen konnte für diese Bedingung keine signifikante Mehraktivierung der erwachsenen Probanden gegenüber den Jugendlichen ermittelt werden.

Tabelle 4.3

Signifikante Gehirnaktivierung für den Kontrast M > N beim Vergleich Jugendliche > Erwachsene. Diese Tabelle enthält Informationen über die Bezeichnung und Hemisphäre der aktivierten Hirnareale sowie über die assoziierten Brodmann Areale, die Clustergröße in Voxel, die MNI Koordinaten und die T-Werte

Hemisphäre & Areal	Brodmann	Clustergröße	MNI	T-Werte			
	A	in	Koordinaten				
	r	Vox	x y z				
	e	el					
	a						
	l						
	e						
R Gyrus occipitalis medius, R Gyrus fusiformis, R Gyrus parahippocampalis	19, 30, 37	2139	36 -56 -8	4,86			

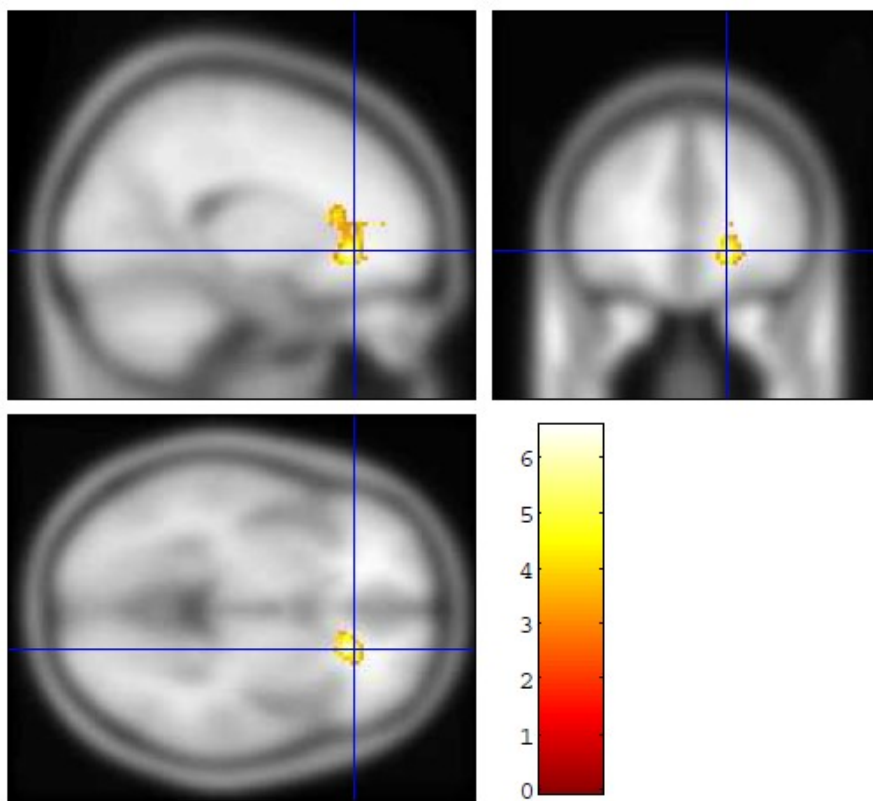


Abbildung 4.3

Signifikante Mehraktivierung der moralischen im Vergleich zur neutralen Bedingung für die Bedingung Jugendliche > Erwachsene ($T=2$; $p \leq .05$). Eine detaillierte Beschreibung der aktivierten Areale kann in Tabelle 4.3 gefunden werden

5. DISKUSSION

Zielsetzung der vorliegenden Studie war die Erforschung der neuronalen Korrelate menschlicher Moralität bei 14- bis 16-jährigen Jugendlichen.

Hierzu wurden die Studienteilnehmer sowohl mit moralischen Konfliktsituationen als auch mit moralisch neutralen Sachverhalten konfrontiert und die von ihnen gewählte Handlungsoption jeweils dokumentiert. Zudem wurde eine Kontrollgruppe Erwachsener bezüglich der gleichen Fragestellungen untersucht und die beiden Probandenkollektive hinsichtlich der jeweils ermittelten Ergebnisse miteinander verglichen. Innerhalb der moralischen Bedingung wurden die Versuchsteilnehmer aufgefordert zwischen zwei alternativen Verhaltensstrategien die ihnen näher liegende auszuwählen: Dabei konnten sie sich entweder für das Einhalten eines moralischen Standards oder die Erfüllung eines persönlichen Bedürfnisses entscheiden, welches zu diesem jedoch im Widerspruch stand. In der neutralen Bedingung hingegen sollte die Antwort lediglich aufgrund persönlicher Vorlieben erfolgen. Im Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses standen die durch die funktionelle Kernspintomographie nachweisbaren Hirnaktivierungen, die sich bei der Bedingung Moralische Konflikte > Neutrale Konflikte ergaben.

Während wir aufgrund des postulierten pubertären Leistungsknicks auf der Verhaltensebene ein „schlechteres Abschneiden“ der Jugendlichen im Sinne einer größeren Anzahl von Antworten, welche den moralischen Standards nicht entsprachen voraussagten, erwarteten wir bezüglich der aktivierten Hirnareale für beide Versuchsgruppen die Beteiligung klassischer „Moralareale“ im präfrontalen Kortex. Aufgrund der beschriebenen altersbedingten Gehirnveränderungen (siehe Gliederungspunkt 2.5) vermuteten wir jedoch darüber hinaus eine Mehraktivierung der jugendlichen Probanden im Vergleich zu den Erwachsenen: Während wir nämlich davon ausgingen, dass das erwachsene Kollektiv auf bestimmte Fragestellungen bereits feste Denkmuster sowie Handlungsautomatismen generiert habe, welche durch das gängige „Moralnetzwerk“ abgespeichert und abrufbar seien, unterstellten wir den Jugendlichen eine „intensivere neuronale Aktivitätserfordernis“ bei der Auseinandersetzung mit dem für sie teilweise neuartigen moralischen Aussagegehalt der jeweiligen geschilderten Situation. Dieser höhere Aufwand, so folgerten wir, werde sich durch die Aktivierung einer größeren Anzahl von

Arealen, beispielsweise im ACC oder den Amygdalae, als Ausdruck einer gesteigerten emotionalen Involviertheit sowie in Verbindung mit einer höheren Konzentrationsleistung der Jugendlichen, zeigen. Wir vermuteten, dass diese Mehraktivierungen notwendig seien um zu einer suffizienten subjektiv plausiblen Entscheidungsfindung beizutragen. Sowohl für die Jugendlichen als auch für die Erwachsenen wurden für den Kontrast M > N in unserer Untersuchung Aktivierungen gefunden, welche sich über ventrale, orbitale (BA 10, 47) und dorsale (BA 9) Anteile des präfrontalen Kortex, die bilaterale TPJ (BA 39, 40), mittleren und oberen Temporallappen (BA 21, 22), sowie Präcuneus (BA 7), Gyrus parahippocampalis und Gyrus fusiformis (BA 19, 37) erstrecken. Die Bedeutung dieser Regionen für moralisches Denken wurde bereits in vorausgegangenen Studien, welche stets erwachsene Probandenkollektive untersuchten, regelmäßig betont. Die konsistentesten Übereinstimmungen fanden sich hierbei im medialen und ventromedialen präfrontalen Kortex, sowie im temporalen Pol.

Entgegen unserer Hypothese zur Existenz eines umfangreicheren jugendlichen Netzwerks der moralischen Entscheidungsfindung, stellte sich für die Jugendlichen ein nahezu identisches Muster an aktiven Hirnarealen dar. Regionen wie VMPFC, DMPFC, OFC, STS und TPJ wurden aktiviert und zeigten somit keine altersabhängigen Besonderheiten.

Lediglich der rechte Gyrus parahippocampalis und Gyrus fusiformis zeigten eine Mehraktivierung beim jugendlichen im Vergleich zum erwachsenen Probandenkollektiv. Zudem wurde bei der Auswertung der Verhaltensdaten kein signifikanter Unterschied bezüglich der Anzahl an moralischen bzw. unmoralischen Antworten zwischen den beiden Probandengruppen detektiert. Ein „schlechteres Abschneiden“ der Jugendlichen im Sinne eines willkürlichen oder unmoralischen Handelns kann folglich nicht beschrieben werden. Trotz wachsendem Interesse an der Erforschung der neuronalen Korrelate der Moralität liegen bisher kaum Studien vor, welche diese Thematik bei der von uns in den Fokus gestellten Altersgruppe untersuchen. Im Folgenden sollen zunächst die für Jugendliche und Erwachsene identisch ermittelten Gehirnareale, welche bei moralischen Entscheidungen aktiv sind gemeinsam diskutiert werden. Dabei soll jedoch der Schwerpunkt auf den Untersuchungsergebnissen der jugendlichen Versuchsteilnehmer liegen. Im

Anschluss daran wird auf die oben beschriebenen Mehraktivierungen bestimmter Hirnareale auf Seiten der 14- bis 16-Jährigen gesondert eingegangen.

5.1 Kontrast M > N: Identische Aktivierungen bei Jugendlichen und Erwachsenen

In unserem Experiment wurden für die Jugendlichen mit der Aktivierung ventraler, orbitaler (BA 10, 47) und dorsaler (BA 9) Anteile des präfrontalen Kortex, der bilateralen TPJ (BA 39, 40), des mittleren und oberen Temporallappens (BA 21, 22), sowie des Präcuneus (BA 7), des Gyrus parahippocampalis und Gyrus fusiformis (BA 19, 37) Hirnareale gefunden, die auch für die erwachsene Kontrollgruppe ermittelt wurden.

Diese Ergebnisse sind weitgehend deckungsgleich mit den Erkenntnissen aus vorangegangenen Erwachsenenstudien zu den neuronalen Korrelaten der Moralität (Greene et al., 2001; Moll et al., 2002a; 2002b; Sommer et al., 2010). Diese Tatsache lässt den Schluss zu, dass moralisches Reasoning bereits im Jugendalter ein abstrakter und komplexer Prozess ist, welcher die Inputs verschiedener Hirnareale benötigt um zielführend ablaufen zu können: So ist die Fähigkeit zur Empathie und Perspektivenübernahme wichtig, um die Erwartungshaltung anderer Mitmenschen einschätzen zu können – diesen Beitrag leisten typische ToM-Areale wie STS und TPJ, aber auch der Präcuneus. Zudem bedarf es emotionaler und kognitiver Prozesse um zu einer Lösungsfindung zu kommen (VMPFC, DLPFC, OFC). Des Weiteren wird die These gestützt, dass diese Komplexität nicht nur durch menschliche Grenzsituationen ausgelöst wird, sondern auch beim alltäglichen moralischen Argumentieren vorhanden und von entscheidender Bedeutung ist (Sommer et al. 2010, Casebeer, 2003; Greene & Haidt, 2002; Greene et al, 2004). Die identischen Untersuchungsergebnisse für das erwachsene Probandenkollektiv scheinen die Thesen der Existenz eines Moralnetzwerks wie auch dessen Eingebundenheit in moralische Fragestellungen aller Art erneut zu untermauern. Entgegen unserer Hypothese, dass bei der moralischen Entscheidungsfindung bei den Jugendlichen Mehraktivierungen der entsprechenden Hirnareale im Sinne eines umfangreicheren beteiligten Neuronenverbandes auftreten würden, zeigte sich für beide Versuchsgruppen

ein nahezu identisches anatomisches Netzwerk. Dieses Ergebnis lässt den Schluss zu, dass die beteiligten Hirnareale bereits bei den Jugendlichen so weit ausgereift zu sein scheinen, dass moralisches Entscheiden möglich ist. Diese Folgerung wird durch die Verhaltensdaten bestätigt, welche keinen signifikanten Unterschied bezüglich dem moralischen Urteilen der beiden Probandengruppen ergaben. Das moralische Netzwerk scheint also bereits bei den Jugendlichen voll funktionsfähig zu sein. Der pubertäre Leistungsknick scheint zumindest für den Teilbereich der Lösung von Problemen mit moralischer Relevanz keine Rolle zu spielen. Aufgrund dieser Ausführungen stellt sich die Frage, in welchem Lebensalter diese Kompetenz der moralischen Problemlösung noch nicht in vollem Umfang möglich ist. Zur Beantwortung der gleichen könnten weitere Untersuchungen mit einem jüngeren Probandenkollektiv angestrebt werden.

5.1.1 Aktivierungen im Präfrontalkortex

Eine signifikante Aktivität zeigte sich für die moralische Bedingung in ventralen, orbitalen bis hin zu dorsalen Regionen des medialen präfrontalen Kortex. Die wichtige Rolle dieser Areale für die menschliche Moralität wird durch Läsions- sowie fMRT-Studien proklamiert (Greene & Haidt, 2002; Greene, 2007). So zeigten erstere, dass Schädigungen des ventralen mPFC zu einer Inkongruenz zwischen moralischem Denken auf der einen und aktivem moralischen Handeln auf der anderen Seite führten (Anderson, Bechara, Damasio, Tranel & Damasio, 1999; Koenigs et al. 2007). Mithilfe der bildgebenden Verfahren wurde die Aktivierung des mPFC in moralischen Konflikten im Vergleich zu nicht-moralischen Urteilen detektiert (Greene et al., 2001; Moll et al., 2002a). Dem dorsalen Anteil (DLPFC) des medialen präfrontalen Kortex (BA 9) werden inhibitorische Aufgaben zugeschrieben (Aron, 2007; Sommer et al. 2010). So erfordert die Darbietung der beiden Antwortalternativen im Experiment von den Probanden sich entweder für den persönlichen Wunsch oder das Einhalten moralischer Grundsätze zu entscheiden. Beide Alternativen sind folglich mit starken Tendenzen verbunden, doch den anderen Lösungsweg einzuschlagen. Im Prozess der Entscheidungsfindung spielt somit die Unterdrückung des Wissens um die Vorteile der jeweils anderen Option durch den DLPFC eine entscheidende Rolle. Des Weiteren erfüllt der DLPFC Aufgaben im Bereich des

Arbeitsgedächtnisses (Mars & Grol, 2007; Smith & Jonides, 2007). Seine Analysefähigkeit soll für die Handlungsplanung von großer Bedeutung sein: Zum einen könne ein bestimmtes Vorgehen auf mögliche Konsequenzen und Alternativen geprüft werden, zum anderen diene dieser Anteil des Frontalhirns zur Einbeziehung sozialer Regeln. So zeigen Untersuchungen, dass Patienten mit einer Läsion im Bereich des DLPFC zwar noch dazu in der Lage sind alltägliche Routine-Handlungen (z.B. Wahrnehmen von Terminen) durchzuführen, für komplexere Aufgaben fehlen jedoch scheinbar die intellektuellen Möglichkeiten (Tassy, Oullier, Cermolacce & Wicker, 2009). Die Eigenschaft als höhere kognitive Kontrollinstanz könnte diesem Hirnareal auch hinsichtlich moralischen Urteilens zuteil werden: Für Greene (2004) stellt der DLPFC eine Art „Schlichter“ dar, welcher durch utilitaristisches Argumentieren zur Problemanalyse herangezogen wird und dazu beiträgt Handlungskonsequenzen darzustellen und diese einer Plausibilitätskontrolle zu unterwerfen. Dies könnte eventuell dazu dienen, emotionale Hürden aufgrund von rationalen Überlegungen zu überwinden bzw. zumindest noch einmal zu durchdenken. Die ermittelte Aktivierung in der moralischen Bedingung könnte also auf der Tatsache beruhen, dass hierbei ein gewisses Konfliktpotential detektiert werden kann, welches eine Problemanalyse mit dem Abwägen von möglichen Konsequenzen durch den DLPFC erfordert. Während der dorsale Anteil des mPFC also unter anderem für Hemmprozesse zuständig zu sein scheint, könnten der ventrale (BA 10) und der orbitale Anteil des mPFC (BA 10,47) an der Zuschreibung mentaler Zustände anderer Personen beteiligt sein und somit die Entscheidungsfindung nachhaltig beeinflussen (Carrington & Bailey, 2009; Greene & Haidt, 2002; Heekeren, Wartenburger, Schmidt, Schwintowski & Villringer, 2003): Entscheidungen in sozialen Situationen erfordern die Fähigkeit sich in eine andere Person hineinzuversetzen, um ihre Erwartungshaltung und Gefühle bestmöglich verstehen zu können. Die Fähigkeit mentale Zustände von Mitmenschen zu detektieren, macht es möglich die Konsequenzen einer Handlung im sozialen Kontext zu betrachten und ist Grundvoraussetzung für menschliche Interaktionen. Wichtig ist dieses Mentalisieren vor allem in Situationen, in denen ein moralischer Standard mit einem persönlichen Wunsch kollidiert. In solchen Situationen muss eine Entscheidung zwischen dem eigenen Vorteil und den negativen Konsequenzen

für eine andere Person getroffen werden. Im Gegensatz dazu haben die Entscheidungen innerhalb der neutralen Bedingung kaum Konsequenzen für andere. Auf Grund dieser Ausführungen scheint es plausibel, dass die erhöhte Aktivität des ventromedialen präfrontalen Kortex während des Nachdenkens über moralische Konfliktsituationen mit der Zuschreibung mentaler Zustände anderer Personen verbunden sein könnte. Diskutiert wird in diesem Zusammenhang insbesondere das Wahrnehmen negativer Emotionen anderer Menschen, was wiederum die Ablehnung unsozialen Verhaltens begünstigen könnte (Blair & Cipolotti, 2000). Des Weiteren sollen ventraler und orbitaler präfrontaler Kortex für eine Bewertung des möglichen Handlungsergebnisses zuständig sein (Amodio & Frith, 2006; Rolls, 2004): Hierbei könnte also wiederum das Abwägen zwischen persönlichem Benefit und moralischem Gewissen eine Rolle spielen. Da die Konfliktpotentiale nicht mit gesellschaftlichen Sanktionierungen einhergingen, sollte das Zurückstellen persönlicher Bedürfnisse aufgrund der vermuteten sozialen Erwünschtheit der moralischen Entscheidungsalternative vermieden werden. Eine weitere Funktion wurde für diese Anteile des Frontalhirns hinsichtlich des Erlebens und Regulierens von moralischen Emotionen beschrieben (Aouizerate et al., 2007; Decety & Chaminade, 2003; Goel & Dolan, 2003; Greene & Haidt, 2002). So vermittelt der VMPFC womöglich die Ausrichtung menschlichen Verhaltens an antizipierten intuitiven Konsequenzen (Belohnung/Bestrafung), die auf früheren Erfahrungen basieren und mit einer bestimmten Verhaltensweise assoziiert werden. Die jeweilige dargebotene Konfliktsituation könnte also, sofern der Proband bereits ähnliche Erfahrungen gemacht hat, zustimmende oder ablehnende Emotionen bezüglich einer bestimmten Fragestellung auslösen. Damasio et al. (1994) untersuchten Patienten mit einer Schädigung des VMPFC und kamen zu dem Ergebnis, dass bei gleich bleibenden intellektuellen Fähigkeiten eine deutliche Einschränkung der Probanden hinsichtlich des Empfindens von affektiven Emotionen festzustellen war. Auch Greene (2004) misst dem VMPFC eine wichtige Bedeutung bei und beschreibt ihn in seinem Konflikt- Kontroll- Modell als nahezu entscheidende Komponente in moralischen Entscheidungsprozessen. Durch die intuitive Färbung eines Sachverhaltes mit Zustimmung oder Ablehnung wird eine emotionale Hürde errichtet, die im

folgenden Denkprozess, unter anderem vermittelt durch den DLPFC, als richtungweisend für die Entscheidungsfindung zu erachten ist.

Der orbitofrontale Kortex (OFC) soll für die Regulation emotionaler Prozesse sowie damit verbundenen kognitiven Prozessen der Entscheidungsfindung verantwortlich sein. So wird beschrieben, dass der OFC in solche Vorgänge soziale Aspekte mit einbezieht und zudem mit der Detektion von Belohnung oder Bestrafung verbunden sei (Bechara et al., 2000). Indem in unserem Experiment ausdrücklich keine Sanktionierung einer bestimmten Entscheidung erfolgte, sollte der Faktor „soziale Erwünschtheit“ möglichst ausgeschaltet werden und der Proband sich somit auf den bloßen intrapersonellen moralischen Aussagegehalt konzentrieren. Der OFC gilt als bedeutende Struktur für den Erwerb moralischen Wissens in der Kindheit und für dessen adäquate Ausübung im Erwachsenenalter. Diesen altersbedingten Unterschied machen auch Läsionsstudien deutlich, welche zeigten, dass Schädigungen des OFC, welche im Erwachsenenalter erworben wurden zu einer Beeinträchtigung des moralischen Handelns, nicht aber des moralischen Urteilens führten, während Läsionen, die bereits in der Kindheit aufgetreten waren das moralische Denken erheblich störten (Bechara et al., 2000; Eslinger & Damasio, 1985).

Die Aktivierung des OFC im Jugendalter weist womöglich darauf hin, dass der Übergang vom bloßen moralischen Wissenserwerb hin zu einem gespeicherten, automatisch abrufbaren Moralverhalten bereits erfolgt ist, und der Jugendliche dieses Hirnareal zum moralischen Urteilen in vollem Umfang zu nutzen vermag. Zumindest aber verdeutlichen diese Aspekte die Wichtigkeit des OFCs für das Erlernen und Ausüben sozialer Regeln (Anderson et al., 1999). Zusammenfassend kann man also feststellen, dass Aktivität im mPFC nicht nur mit dem Treffen von Entscheidungen in komplexen ethischen Dilemmata (Greene et al., 2001) oder mit dem Verarbeiten von Stimuli, welche moralische Emotionen auslösen (Moll et al., 2002) verbunden ist, sondern auch mit dem Treffen von Entscheidungen in alltäglichen Konfliktsituationen. Dass Jugendliche und Erwachsene diese präfrontalen Areale in einem identischen Muster aktivieren, lässt darauf schließen, dass diese Areale zumindest für das moralische Entscheiden schon bei Jugendlichen im Alter zwischen 14 und 16 Jahren ausgereift zur Verfügung stehen. Sie scheinen also bereits in diesem

Alter in der Lage zu sein moralische Fragestellungen zu reflektieren, auf bereits erworbenes Wissen zurückzugreifen und sich die Erwartungshaltung des Gegenübers klar zu machen.

5.1.2 Aktivierungen im Temporallappen

Ein weiteres breites Aktivierungsmuster ergab sich in beiden Probandengruppen bilateral für den Temporallappen (BA 21, 22, 39, 40). Bereits in früheren Moralstudien zeigte sich diese Region regelmäßig aktiv (Greene et al., 2001; Moll et al., 2001, 2002a, 2002b). Dies kann zum einen daran liegen, dass für sie wichtige kognitive Funktionen hinsichtlich der Speicherung semantischen Materials im Arbeitsgedächtnis und der Verarbeitung von Sätzen und Textmaterial beschrieben werden (Cabeza & Nyberg, 2000; Hickok & Poeppel, 2004). Da die alltäglichen moralischen Konflikte eine höhere persönliche Relevanz als die neutralen Entscheidungserfordernisse haben, könnte die erhöhte Aktivierung des Temporallappens, die mit moralischen Konflikten verbunden ist, das komplexere Verarbeiten der relevanten Informationen im Arbeitsgedächtnis repräsentieren. In der moralischen Bedingung müssen sich die Teilnehmer zwischen zwei Alternativen entscheiden, die beide sowohl persönliche Vorteile als auch Nachteile beinhalten. Der Prozess des Abwägens der zu erwartenden Handlungskonsequenzen erfordert also erhöhte Aufmerksamkeit und könnte durch den superioren Sulcus temporalis (STS), in Zusammenarbeit mit frontalen Arealen, allen voran dem OFC, bewerkstelligt werden. Zum anderen spielen der mediale und insbesondere der superioren Sulcus temporalis eine entscheidende Rolle für die soziale Wahrnehmung: So soll der STS an der Detektion gesellschaftlich bedeutender Bewegungsmuster beteiligt sein und durch biologische Bewegungen, wie z. B. durch Augen- oder Handbewegungen, aktiviert werden (Allison et al., 2000; Beauchamp et al., 2002; Carr, Iacoboni, Dubeau, Mazziotta & Lenzi, 2003; Castelli, Happe, Frith, U. & Frith, C., 2000; Pelphrey, Mitchell, McKeown, Goldstein, Allison & McCarthy, 2003a; Pelphrey, Singerman, Allison & McCarthy, 2003b). Diese Fähigkeit, die Bewegungen anderer Personen zu erfassen, dient im sozialen Kontext dazu, die Handlungsschritte einer Person abzuschätzen und folglich das eigene Verhalten daran auszurichten. Zudem könnte sie dadurch beim

Aufbau sozialer Regeln eine wichtige Rolle spielen. Der STS ist weiterhin am Erkennen von Gesichtsausdrücken und der Bildung einer ToM beteiligt. Die Bedeutung dieser Teilaspekte für die menschliche Moralität wurde bereits im Gliederungspunkt 2.1.2.2 ausführlich erläutert: Gelingt es dem Probanden in unserem Experiment die Perspektive des beschriebenen Gegenübers zu übernehmen, so erfasst er dessen Erwartung bezüglich der geforderten Handlung, also die Tragweite des Konfliktpotentials, und kann beginnen die Konsequenzen seiner Handlung abzuwägen. Gemeinsam mit dem Gyrus fusiformis und den Amygdalae soll der STS also eine Wahrnehmung von visuellen und auch sprachlichen sozialen Stimuli ermöglichen, um somit in bestimmten Situationen Informationen für die Einschätzung bestimmter gesellschaftlicher Erwartungshaltungen und interpersoneller Handlungskonsequenzen liefern zu können. Diese Ausführungen lassen zudem vermuten, dass eine Störung dieses Wahrnehmungssystems zu erheblichen Beeinträchtigungen sozialer Interaktionen führen könnte (Baron-Cohen et al., 1999; Blair et al., 1999; Castelli et al., 2000; Frith, C. & Frith, U., 1999; Frith, 2001; Gallagher & Frith, 2003; Shah et al., 2001; Winston et al., 2002). Die im Experiment nachgewiesenen Aktivierungen dieser Region beim moralischen Argumentieren im Jugend- und Erwachsenenalter können somit die These bestätigen, dass die oben beschriebenen Funktionen des STS, wie die Fähigkeit zur Wahrnehmung der Blick- und Konzentrationsrichtung bereits um das vierte Lebensjahr bei den meisten Kindern vorhanden und die Bildung einer ToM um das neunte Lebensjahr möglich sein sollen (Moriguchi et al., 2007). Durch die frühe funktionelle Reifung dieser Region kann bis zum Erreichen des Jugendalters durch Lernprozesse ein Speicher an Handlungsautomatismen für bestimmte Entscheidungssituationen generiert worden sein, der sich bei Erwachsenen nicht mehr wesentlich verändert.

5.1.3 Weitere Aktivierungen: TPJ, Präcuneus

Die These, dass das Verarbeiten moralischer Konflikte mit höheren kognitiven Anforderungen verbunden ist, wird zudem durch die Aktivierungen der temporo-parietalen Junction (TPJ) (BA 39, 40) gestützt. So ist dieses Areal an der Zuschreibung mentaler Zustände beteiligt (Gobbini et al., 2007; Saxe & Wexler, 2005; Sommer et. al., 2007). Zudem ist die TPJ Teil des menschlichen

Aufmerksamkeitssystemen (Corbetta, Patel, & Shulman, 2008). Aufgrund der ihr zugeschriebenen Eigenschaften scheint die im Experiment nachgewiesene Aktivierung dieses Areals Aufmerksamkeitsprozesse widerzuspiegeln, die sich einerseits mit den Erwartungen und Emotionen des Gegenübers auseinandersetzen, andererseits jedoch die Reflektion alternativer Handlungsoptionen darstellen könnte.

Als weitere Gehirnregion, welcher eine Beteiligung an der ToM zugesprochen wird, zeigte sich in unserer Untersuchung der Präcuneus (BA 7) aktiv. Dieses Areal ist Teil des superioren Parietallappens und soll funktionell an episodischen Gedächtnisleistungen und der Selbstreflexion mitwirken (Cavanna & Trimble, 2006; Ciaramidaro, Adenzato, Enrici, Erk, Lorenzo & Bara, 2007). Daneben scheint der Präcuneus bei verbaler Kommunikation an der Einbeziehung biographischer Informationen beteiligt zu sein (Sassa, Sugiura, Jeong, Horie, Sato & Kawashima, 2007). Diese Fähigkeiten könnten in unserem Versuch erforderlich sein, um die einzelnen Konflikte auf bereits erlebte Situationen zu überprüfen. Ist der Proband bereits einmal mit ähnlichen Fragestellungen konfrontiert worden, so können damalige Handlungskonsequenzen dabei helfen die aktuelle Situation kompetenter zu bewerten. Die bereits vorhandenen Erfahrungswerte können die Handlung in eine bestimmte Richtung lenken. Zusammenfassend kann man festhalten, dass es bezüglich des moralischen Denkens bei Erwachsenen und Jugendlichen ein Netzwerk gibt, welches auf identische Gehirnareale zurückgreift: So wurden mit dem medialen Präfrontallappen, dem superioren Sulcus temporalis, der temporo-parietalen Junction und dem Präcuneus Regionen aktiviert, die keine altersabhängigen Unterschiede zeigten. Die Vielzahl der Aktivierungen weist darauf hin, dass für die menschliche Moralität viele zentrale Abläufe nötig sind und dass es sich hierbei um einen sehr komplexen Prozess handelt: So scheint die Anzahl der beteiligten ToM-Areale auf die große Bedeutung des Mentalisierens hinzuweisen. Des Weiteren ist aber auch die Fähigkeit zum Analysieren und Abwägen in Konfliktsituationen von Bedeutung. Den Einfluss von Emotionen auf das menschliche Agieren zeigt die Aktivierung des VMPFC. Die Tatsache, dass sich die Aktivierungen in unserem Experiment bei den Probandenkollektiven nicht unterscheiden, ist wohl ein Hinweis darauf, dass für die benötigten Areale zur ToM der Reifungsprozess mehrheitlich schon in der

späten Kindheit abgeschlossen zu sein scheint. Ein Jugendlicher, der bereits in großem Ausmaß zum Mentalisieren fähig ist, wird sich logischerweise auch bei komplizierten moralischen Fragestellungen dieser Fähigkeit bedienen. Dass hierbei nicht zusätzlich auf die von uns prognostizierten Areale wie z. B. den ACC zurückgegriffen werden muss, widerspricht auf den ersten Blick den bisher veröffentlichten Studien zur Abnahme der frontalen Aktivität zwischen Adoleszenz und Erwachsenenalter. Es muss jedoch dabei berücksichtigt werden, dass diese Publikationen lediglich Teilaspekte des Mentalisierens in den Mittelpunkt ihrer Forschung stellten und nicht wie in unserer Studie das moralische Denken der Jugendlichen gezielt untersuchten. Zu bedenken gilt ferner die Tatsache, dass Kinder geprägt werden durch die sie erziehenden Erwachsenen mit ihren moralischen Denkmustern. Lernt der Heranwachsende bereits in frühen Lebensjahren einen Konflikt von mehreren Seiten zu betrachten, wird sein Umgang mit anderen Menschen, ihren Erwartungen und Gefühlen geschult. In diesem Fall wissen bereits Kinder aufgrund ihrer Erziehung auf welche Gesichtspunkte sie bei interpersonellen Handlungen achten müssen. Dieses Wissen wird im Laufe der Jahre durch Handeln und dem Lernen aus sozialen Interaktionen mit Hilfe der Verstärker Belohnung/Bestrafung gefestigt.

Insbesondere der sozio-kulturelle Einfluss spielt hierbei wohl eine wichtige Rolle. Auf dieser Annahme basiert auch eine Untersuchung von Kindern und Jugendlichen zwischen 7 und 15 Jahren aus verschiedenen westlichen Ländern und China (Keller & Krettenauer, 2007). Im Rahmen des Experiments wurde ihnen ein moralischer Konflikt präsentiert: Sage ich ein bereits vereinbartes Treffen mit meinem besten Freund, der mich dringend braucht ab, um stattdessen die verlockende Kinoeinladung eines neuen Mitschülers anzunehmen? Die Antworten darauf wurden im Kulturvergleich ausgewertet. Diese Analyse zeigte, dass es hinsichtlich der Entwicklungsabfolge des sozio-moralischen Erfassens und Verstehens von Werten, Beziehungen und Emotionen keinen wesentlichen Unterschied zwischen den Probanden gab. So wurden zur Rechtfertigung einer bestimmten Handlung drei verschiedene Argumentationsstufen (vgl. Kohlbergs Stufenmodell) gewählt. Diese Erklärungsversuche basierten auf verschiedenen Entwicklungsniveaus und wurden für beide kulturelle Gruppen beschrieben.

Bezüglich der gesellschaftlichen Erwartungshaltung und kultureller Normen konnte jedoch vor allem für die jüngeren Kinder eine Differenz im Hinblick auf ihre Herkunft ermittelt werden: während westliche Kinder eher die Befriedigung eigener Interessen in den Mittelpunkt rückten (die Kinueinladung als persönliche Bereicherung empfanden), beriefen sich die chinesischen Kinder mehr auf altruistische Aspekte in ihrer Entscheidungsfindung (Eingliederung des neuen Kameraden). Unter den Jugendlichen jedoch gaben fast alle Probanden der engen Freundschaft den Vorzug und bewerteten dies auch als moralisch richtig. Die Autoren begründeten die Entscheidungen dieses Probandenkollektivs mit der pubertären Loslösung von gesellschaftlichen Konventionen und der großen Bedeutung der Peer Group. Diese Studie weist also durchaus darauf hin, dass bestimmte moralische Fragestellungen im kulturellen Kontext, ausgehend von unterschiedlich geprägten Standpunkten, andere Bewertungen erfahren können und somit gegebenenfalls auch unterschiedliche Handlungskonsequenzen hervorbringen.

Das moralische Denken wird somit nicht nur durch die altersabhängige Entwicklungsprozesse des Gehirns vorgegeben, sondern auch zu einem wesentlichen Teil durch den individuellen erziehungsbedingten Erwerb moralischen Wissens im gesellschaftlich anerkannten Kontext und die subjektiven Fähigkeit zum Mentalisieren beeinflusst. Da es sich in unserem Probandenkollektiv um 14 bis 16-jährige Jugendliche handelt, scheint es also durchaus wahrscheinlich, dass bereits ein routinierter Umgang mit Konflikten möglich ist. Als Konsequenz dieser Folgerungen könnte zum einen eine Untersuchung von Kindern angestrebt werden, deren ToM-Fähigkeiten noch nicht ausgereift sind. Zum anderen scheint es aber auch durchaus sinnvoll Probanden der gleichen Altersstufe mit unterschiedlichen Lebensrealitäten hinsichtlich ihres Moralverständnisses zu befragen.

5.2 Vergleich der Probandengruppen

Für den Kontrast M > N ergab sich für die Jugendlichen im Vergleich zum erwachsenen Probandenkollektiv eine signifikante Mehraktivierung im Gyrus parahippocampalis, Gyrus occipitalis medius und Gyrus fusiformis (BA 19, 30, 37).

Der Gyrus parahippocampalis (BA 19) liegt im Temporallappen und kann dem limbischen System zugerechnet werden. Mit dem Gyrus fusiformis (BA 37) stellt sein posteriorer Anteil den parahippocampalen Kortex dar. Diese Struktur hat gemeinsam mit Hippocampus, Gyrus cinguli, Amygdala und Corpus mamillare einen großen Einfluss auf Motivation, Antrieb und Lernen. Des Weiteren wird ihr eine bedeutende Rolle hinsichtlich der Verarbeitung komplexer visueller Stimuli, dem Gyrus parahippocampalis in erster Linie von Szenen und Gebäuden, dem Gyrus fusiformis insbesondere von Gesichtern und der menschlichen Emotionalität zugeschrieben (Nagai, 2007; Trepel, 2004). Studien zur Musikverarbeitung zeigten so beispielsweise, dass der Grad der Aktivierung des Gyrus parahippocampalis mit dem Empfinden von Unbehagen positiv korreliert (Koelsch & Fritz, 2007).

Die Tatsache, dass diese Regionen bei den jugendlichen Probanden stärker aktiviert wurden, als dies bei den Erwachsenen der Fall war, könnte unsere Hypothese einer größeren neuronalen Herausforderung, insbesondere in emotionaler Hinsicht, stützen und auf eine größere emotionale Involviertheit der Jugendlichen bezüglich der moralischen Bedingungen zurückzuführen sein. So scheint es nachvollziehbar, dass bei Jugendlichen, die im Umgang mit konfliktträchtigen Entscheidungssituationen deutlich weniger Erfahrung haben als das erwachsene Probandenkollektiv, jene Gehirnareale intensiver aktiviert werden, welche mit Emotionen in Verbindung gebracht werden. Insbesondere könnten Entscheidungssituationen verstärkt mit negativen Emotionen behaftet sein, bei welchen der Jugendliche dazu tendiert die für ihn vorteilhafte Lösungsoption zum Nachteil anderer zu wählen. Das Wissen um den Schaden, den er mit dieser Wahl einer anderen Person gleichzeitig zufügen muss, könnte mit Gefühlen wie Besorgnis, Ablehnung oder Scham einhergehen. Diese Vermutung würde mit den Untersuchungsergebnissen von Koelsch und Fritz (2007) in Einklang stehen, welche den Gyrus parahippocampalis mit einem Gefühl des Unbehagens in Zusammenhang bringen. Zwar aktivieren auch Erwachsene sowohl den Gyrus parahippocampalis als auch den Gyrus fusiformis, jedoch nicht in dieser Intensität. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, dass bei Erwachsenen durch Erfahrung eine Relativierung von unangenehmen Gefühlen in moralischen Konfliktsituationen erfolgt ist. Dass diese Gewöhnung nicht mit einer emotionalen Abstumpfung gleichzusetzen ist, zeigt die Tatsache,

dass die Konfliktpotentiale besagte Areale trotzdem aktivieren. Es scheint sich jedoch mit zunehmender Erfahrung und ähnlich erlebten Situationen ein gewisser Gewöhnungseffekt (und Automatismus) einzustellen, welcher eine routinierte Handlungskompetenz in alltäglichen Konflikten mit sich bringt.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Ziel der vorliegenden Arbeit war es die neurobiologischen Korrelate moralischen Urteilens bei 14- bis 16-jährigen Jugendlichen zu erforschen. Zu diesem Zweck wurde mittels der funktionellen Bildgebung die Aktivierung derjenigen Hirnareale detektiert, die an diesem komplexen Entscheidungsprozess beteiligt sind. In gleicher Weise wurde ein Probandenkollektiv von Erwachsenen untersucht und die jeweiligen Ergebnisse der beiden Altersgruppen miteinander verglichen.

Die Probanden wurden in den durchgeführten Untersuchungen dazu angehalten sowohl moralische als auch neutrale Konfliktsituationen mit vorgegebenen Lösungsoptionen zu bewerten. Im Fokus des wissenschaftlichen Interesses standen die hierbei auftretenden neuronalen Aktivierungen der Moralareale, welche durch die funktionelle Kernspintomographie für den Kontrast Moral > Neutral ermittelt wurden.

Während sich die Studienlage zur Moralität von Jugendlichen bisher eher dürftig darstellt, gibt es zum moralischen Entscheiden von Erwachsenen bereits eine Reihe bildgebender Untersuchungen. Diese kamen allesamt zu dem Ergebnis, dass ein komplexes Netzwerk an Hirnarealen zur Bearbeitung moralischer Fragestellungen nötig sei, welches u. a. den medialen präfrontalen Kortex, den dorsolateralen präfrontalen Kortex, den superioren temporalen Sulcus und den orbitofrontalen Kortex umfasse (Greene et al., 2001; Moll et al., 2002a; 2002b; Sommer et al., 2010). Die bisherigen Studien arbeiteten jedoch fast alle mit alltagsfernen, strafrechtlich relevanten Dilemmata. Dagegen stellten wir an unsere Konflikte den Anspruch, die Lebenswirklichkeit unserer Probanden möglichst realistisch darzustellen. Somit bestand hinsichtlich der erwachsenen Probanden die Möglichkeit, die von uns detektierten Aktivierungen nochmals kritisch mit bisher bekannten Moralarealen zu vergleichen. Mit dem Nachweis der Aktivierung ventraler, dorsaler und orbitaler Anteile des präfrontalen Kortex, der temporo-parietalen Junktion, des mittleren und oberen Temporallappens und Präcuneus, des Gyrus parahippocampalis und des Gyrus fusiformis konnten diese Untersuchungsergebnisse erneut repliziert werden. Zudem wird sowohl die These zur Existenz eines Moralnetzwerks gestützt als auch gezeigt, dass diese Gehirnareale nicht nur in

menschlichen Extremsituationen sondern auch bei Alltagsentscheidungen aktiv sind.

Was die Jugendlichen betrifft, so erwarteten wir aufgrund der postulierten neuronalen Umbauprozesse sowie des damit einhergehenden pubertären Leistungsknicks ein „schlechteres“ Abschneiden auf der Verhaltensebene im Sinne einer größeren Anzahl unmoralischer Antworten im Vergleich zu den Erwachsenen. Bezüglich der fMRT-Daten gingen wir von einer Mehraktivierung der Jugendlichen (z.B. der Amygdalae oder des anterioren cingulären Kortexes) aus als Zeichen einer höheren emotionalen und kognitiven Arbeitsleistung des noch unerfahrenen, moralisch inkompetenteren adoleszenten Gehirns.

Entgegen dieser aufgestellten Hypothesen zeigten sich weder auf Verhaltensebene, noch im Bezug auf die neuronalen Aktivierungen signifikante Unterschiede zwischen den Probandengruppen: Es wurden wie in der Erwachsenenengruppe Regionen wie VMPFC, DMPFC, OFC, STS und TPJ aktiviert. Somit waren keine wesentlichen altersabhängigen Besonderheiten nachweisbar. Lediglich der rechte Gyrus parahippocampalis, der Gyrus occipitalis medius und der Gyrus fusiformis zeigten für die Bedingung $M > N$ eine Mehraktivierung beim jugendlichen im Vergleich zum erwachsenen Probandenkollektiv. Als Ergebnis der vorliegenden Studie zeigt sich somit, dass das Moralnetzwerk bei Jugendlichen schon so ausgereift zu sein scheint, dass eine subjektiv plausible Entscheidungsfindung möglich ist. Diese Folgerung steht im Einklang mit den Verhaltensdaten. Der pubertäre Leistungsabfall scheint zumindest auf das moralische Entscheiden keinen Einfluss zu haben. Aus diesen Erkenntnissen ergibt sich die Frage, bis zu welchem Lebensalter die Kompetenz zum moralischen Reasoning noch nicht vorhanden ist. Zur Beantwortung dieser Frage ist deshalb die entsprechende Untersuchung eines jüngeren Probandenkollektivs (z.B. Kinder im Alter von 8-12 Jahren) sinnvoll. Die gefundenen neuronalen Aktivierungen verdeutlichen des Weiteren, dass moralisches Urteilen die Intaktheit vieler sozialer Teilbereiche erfordert. So spielen sowohl Emotionen als auch die Fähigkeit zur Empathie, zur Perspektivenübernahme und zum logischen Abwägen über Vor- und Nachteile eine große Rolle.

Die Mehraktivierungen im Gyrus parahippocampalis, Gyrus occipitalis medius und im Gyrus fusiformis könnten darauf hindeuten, dass die

Jugendlichen durch die Konfliktszenarien emotional stärker gefordert sind. Die Mehraktivierungen dieser Regionen, die insbesondere mit dem Empfinden negativer Gefühle in Zusammenhang gebracht werden (Koelsch & Fritz, 2007), könnte ein Resultat dieser „moralischen Zwickmühle“ darstellen. Es stellt sich auch die Frage, ob sich bei entsprechenden Untersuchungen Defizite in den erwähnten sozialen Teilbereichen durch ein abweichendes Aktivierungsmuster bildgebend detektieren lassen. Von Interesse wäre deshalb eine Vergleichsuntersuchung mit gleichaltrigen Probanden, welche ein deutlich auffälliges Moralverhalten zeigen. Neben den strukturellen Hirnveränderungen beeinflussen auch die individuelle Erziehung und das sozio-kulturelle Umfeld das moralische Handeln des Adoleszenten. Daraus ergeben sich weitergehende Forschungsansätze durch vergleichende Untersuchungen bei Probanden aus unterschiedlichen kulturellen und sozialen Gesellschaftsstrukturen.

Als Schlussfolgerung aus der vorliegenden Arbeit ergibt sich somit die Sinnhaftigkeit weiterer Untersuchungen für ein umfassendes Verständnis der Entwicklung der menschlichen Moralität.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Adolphs, R., Tranel, D. & Damasio, A. (1998). The human amygdala in social judgment. *Nature*, 393, S. 470-474.
- Adolphs, R. (1999). Social cognition and the human brain. *Trends in Cognitive Science.*, 3 (12), S. 469-479.
- Adolphs, R. (2001). The neurobiology of social cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, 11, S. 231-239.
- Adolphs, R. (2003). Cognitive Neuroscience of Human Social Behaviour, *Nature Review, Neuroscience*, 4, S. 165-178.
- Allison, T., Puce, A. & McCarthy, G. (2000). Social perception from visual cues: role of the STS region. *Trends in Cognitive Science*, 4, S. 267-278.
- Amodio, D. & Frith, C. (2006). Meeting of minds: the medial frontal cortex and social cognition, *Nature Review Neuroscience*, 7, S. 268-277.
- Anderson, S., Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D. & Damasio, A. (1999). Impairment of social and moral behaviour related to early damage in human prefrontal cortex, *Nature Neuroscience*, 2, S. 1032-1037.
- Aouizerate, B. Rotgé, J., Bioulac, B. & Tignol, J. (2007). Present contribution of neurosciences to a new clinical reading of obsessive-compulsive disorder. *Encephale*, 33 (2), S. 203-210.
- Aron, A. (2007). The neural bias of inhibition in cognitive control. *The Neuroscientist*, 13, S. 214-228.
- Awad, M., Warren, J., Scott, S., Turkheimer, F. & Wise, R. (2007). A common system for the comprehension and production of narrative speech. *Journal of Neuroscience*, 27 (43), S. 11455-11464.
- Baddeley, A., Bueno, O., Cahill, L., Fuster, J., Izquierdo, I., McGaugh, J., Morris, R., Nadel, L., Routtenberg, A., Xavier, G., Da Cunha, C. (2000). The brain decade in debate: Neurobiology of learning and memory. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 33 (9), S. 993-1002.
- Baird, A., Dewar, B., Critchley, H., Dolan, R., Shallice, T. & Cipolotti, L. (2006) Social and emotional functions in three patients with medial frontal lobe damage including the anterior cingulate cortex. *Cognitive Neuropsychiatry*, 11 (4), S. 369-388.
- Barbas, H. (2007). Flow of information for emotions through temporal and orbitofrontal pathways. *Journal of Anatomy*, 211 (2), S. 237-249.
- Baron-Cohen, S., Ring, H., Wheelwright, S., Bullmore, E., Brammer, M.,

- Simmons, A. & Williams, C. R. (1999). Social intelligence in the normal and autistic brain: An fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, 11, S. 1891-1898.
- Bartzokis, G., Lu, P., Tingus, K., Mendez, M., Richard, A. & Peters, D. (2008). Lifespan trajectory of myelin integrity and maximum motor speed. *Neurobiology of Aging*, doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2008.08.015
- Beauchamp, M., Lee, K., Haxby, J. & Martin, A. (2002). Parallel visual motion processing streams for manipulable objects and human movements. *Neuron*, 34, S.149-159.
- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H. & Damasio, A. (1996). Failure to respond autonomically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 6, S. 215-225.
- Bechara, A., Damasio, H. & Damasio, A. (2000). Emotion, Decision Making and the Orbitofrontal Cortex. *Oxford Journal, Cerebral Cortex*, 10 (3), S. 295-307.
- Beer, J. & Ochsner, K. (2006). Social cognition: A multi level analysis, *Brain Research* 1079, S. 98-105.
- Benuzzi, F., Lui, F., Duzzi, D., Nichelli, P. & Porro, C. (2008). Does it look painful or disgusting? Ask your parietal and cingulate cortex. *Journal of Neuroscience*, 28 (4), S. 923-931.
- Blair, R., Morris, J., Frith, C., Perrett, D. & Dolan, R. (1999). Dissociable neural responses to facial expressions of sadness and anger. *Brain*, 122, S. 883-893.
- Blair, R. & Cipolotti, L. (2000) Impaired social response reversal. A case of aquired sociopathy. *Oxford Journal, Brain*, 123 (6), S. 1122-1141.
- Blakemore, S., den Ouden, H., Choudhury, S. & Frith, C. (2007). Adolescent development of the neural circuitry for thinking about intentions, *Social Cogn. Affect. Neuroscience*, 2, S. 130-139.
- Blakemore, S. (2008). The social brain in adolescence, *Nat. Rev., Neurosci.* 9, S. 267-277.
- Blakemore, S., Burnett, S. & Dahl, R. (2010). The Role of Puberty in the Developing Adolescent Brain, *Human Brain Mapping*, 31, S. 926-933.
- Botvinick, M. (2007). Conflict monitoring and decision making: Reconciling two perspectives on anterior cingulate function. *Cognitive, Affective, Behavioral Neuroscience*, 7 (4), S. 356-366.
- Boynton, G., Engel, S., Glover, G. & Heeger, D. (1996). Linear systems analysis of functional magnetic resonance imaging in human V1, *Journal of Neurosci.*, 16, S. 4207-4221.

- Broadie, S. (1991). *Ethics With Aristotle*. New York: Oxford University Press, S. 3-142.
- Bush, G., Luu, P., Posner, M. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Science*, 4 (6), S. 215-222.
- Cabeza, R. & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, S. 1-47.
- Carey, S., Diamond, R. & Woods, B. (1980). The development of face recognition-a maturational component, *Developmental Psychology*, 16, S. 257-269.
- Carr, L., Iacoboni, M., Dubeau, M., Mazziotta, J. & Lenzi, G. (2003). Neural mechanisms of empathy in humans: a relay from neural systems for imitation to limbic areas. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 100, S. 5497-5502.
- Carrington, S. & Bailey, A. (2009). Are there Theory of Mind regions in the brain? A review of the neuroimaging literature. *Human Brain Mapping*, 30 (8), S. 2313-2335.
- Casebeer, W. (2003). Moral cognition and its neural constituents. *Nature Review, Neuroscience*, 4, S. 841-846.
- Castelli, F., Happe, F., Frith, U. & Frith, C. (2000). Movement and mind: a functional imaging study of perception and interpretation of complex intentional movement patterns. *Neuroimage*, 12, S. 314-325.
- Cattell, R. & Weiß, R. (1963). *Grundintelligenztest Skala 20 (CFT-20)*, Göttingen: Hogrefe
- Cavanna, A. & Trimble, M. (2006). The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, 129, S. 564-583.
- Ciaramidaro, A., Adenzato, M., Enrici, I., Erk, S., Lorenzo, P. & Bara, B. (2007). The intentional network: how the brain reads varieties of intentions. *Neuropsychologia*, 45, S. 3105-3113.
- Colby, A., Kohlberg, L., Gibbs, J. & Lieberman, M. (1983). A longitudinal study of moral judgment. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 48, S. 1-96.
- Collins, D., Neelin, P., Peters, T. & Evans, A. (1994a). Automatic 3D Intersubject Registration of MR Volumetric Data in Standardized Talairach Space, *Journal of Computer Assisted Tomographie*, 18 (2), S. 192-205.
- Corbetta, M., Patel, G. & Shulman, G. (2008). The reorienting system of the human brain: From environment to Theory of Mind. *Neuron*, 58, S. 306-324.
- Critchley, H., Mathias, C., Josephs, O., Doherty, J., Zanini, S., Dewar, B.-K.,

- Cipolotti, L., Shallice, T. & Dolan, R. (2003). Human cingulate cortex and autonomic control: converging neuroimaging and clinical evidence. Oxford Press, Brain, 126 (10), S. 2139-2152.
- Cunningham, M., Bhattacharyya, S. & Benes, F. (2002). Amygdalo-cortical sprouting continues into early adulthood: Implications for the development of normal and abnormal function during adolescence, Journal of Comparative Neurology, 453, S. 116-130.
- Dahl, R., (2001). Affect regulation, brain development, and behavioral/emotional health in adolescence, CNS Spectrum, 6, S. 60-72.
- Damasio, A. (1994). Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain, New York: Avon.
- Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A. & Damasio, A. (1994). The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. Science, 264, S. 1102-1105.
- Damasio, A. (1995a). On some functions of the human prefrontal cortex. In: Structure and functions of the human prefrontal cortex. Proceedings NY Academy of Science, 769, S. 241-251.
- Damasio, A. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. Philosophical Transaction Royal Society London B, 351, S. 1413-1420.
- Decety, J. & Jackson, P. (2004). The functional architecture of human empathy. Behavioral and Cognitive Neuroscience Review, 3, S. 71-100.
- Diamond, R., Carey, S. & Back, K. (1983). Genetic influences on the development of spatial skills during early adolescence. Cognition, 13, S. 167-185.
- Dornes, M. (2006). Die Seele des Kindes. Entstehung und Entwicklung. Frankfurt am Main: Fischer, S. 114-209.
- Duden, Das Fremdwörterbuch, 5., Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, S. 186
- Ehrlich, P. (2000). Human Natures: Genes, Cultures, and the Human Prospect, Island Washington DC, USA, S. 203-305.
- Epstein, R. (2007). The Case Against Adolescence: Rediscovering the Adult in Every Teen: Sanger: Quill Driver Books.
- Epstein, R. (2008). Der Mythos vom Teenager-Gehirn. Gehirn und Geist, 1-2, S. 24-29
- Eslinger, P. & Damasio, A. (1985). Severe disturbance of higher cognition after bilateral frontal lobe ablation. Neurology, 35, S. 1731-1741.

- Fehr, E. & Fischbacher, U. (2004). Social norms and human cooperation, Trends in Cognitive Science, 8, S. 185-195.
- Fend, H. (2000). Entwicklungspsychologie des Jugendalters. Opladen: Leske und Budrich, S. 22-26
- Fonagy, P., Gergely, G., Jurist, E., Target, M. (2006). Affektregulierung, Mentalisierung und die Entwicklung des Selbst. Stuttgart: Klett-Cotta, S. 31-150.
- Fossati, P., Henevor, S., Graham, S., Grady, C., Keightley, M., Craik F. (2003). In search of the emotional self: an fMRI study using positive and negative emotional words. The American Journal of Psychiatry 160, S. 1938-1945.
- Freud, S. The interpretation of dreams (Strachey, J., Übers.) New York: Norton. (Originalarbeit von 1900)
- Friston, K., Frith, C., Turner, R. & Frackowiack, R. (1995). Characterizing evoked hemodynamics with fMRI. Neuroimage, 2, S. 2157-2165.
- Friston, K., Josephs, O., Rees, G. & Turner, R. (1998). Non-linear event-related responses in fMRI. Magnetic Resonance in Medicine, 39, S. 41-52.
- Frith, C. & Frith, U. (1999). Interacting minds - a biological basis. Science, 286, S. 1692-1695.
- Frith, U. (2001). Mind blindness and the brain in autism. Neuron, 32, S. 969-979.
- Gallagher, H. & Frith, C. (2003). Functional imaging of 'theory of mind'. Trends in Cognitive Science, 7, S. 77-83.
- Giedd, J. (2004). Structural magnetic resonance imaging of the adolescent brain. Annals of the New York Academy of Sciences, 1021, S. 77-85.
- Giorgio, A., Watkins, K., Chadwick, M., James, S., Winmill L., Douaud G., Stefano, N, Matthews, P., Smith, S., Johansen-Berg, H., James, A. (2009). Longitudinal changes in grey and white matter during adolescence, Neuroimage, doi:10.1016/j.neuroimage.2009.08.003
- Gobbini, M., Koralek, A., Bryan, R., Montgomery, K. & Haxby, J. (2007). Two takes on the social brain: A comparison of Theory of Mind tasks. Journal of Cognitive Neuroscience, 19, S. 1803-1814.
- Goel, V. & Dolan, R. (2003). Reciprocal neural response within lateral and ventral medial prefrontal cortex during hot and cold reasoning. Neuroimage, 20, S. 2314-2321.
- Gogtay, N., Giedd, J., Lusk, L., Hayashi, K., Greenstein, D., Vaituzis, A., et al. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood

- through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(21), S. 8174-8179.
- Grafman, J., Schwab, K., Warden, D., Pridgen, A., Brown, H. & Salazar, A. (1996). Frontal lobe injuries, violence, and aggression: a report of the Vietnam head injury study. *Neurology*, 46, S. 1231-1238.
- Grattan, L. & Eslinger, P. (1992) Long-term psychological consequences of childhood frontal lobe lesions in patient DT, *Brain Cognition*, 20, S.185-195.
- Greene, J., Sommerville, R., Nystrom, L., Darley, J. & Cohen, J. (2001). An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science* 293,S. 2105-2108.
- Greene, J. & Haidt, J. (2002). How (and where) does moral judgment work? *Trends in Cognitive Science*, 6, S. 517- 523.
- Greene, J., Nystrom L., Engell A., Darley J. & Cohen J. (2004). The Neural Bases of Cognitive Conflict and Control in Moral Judgment. *Neuron*, 44, S. 389- 400.
- Greene, J. (2005). Emotion and Cognition in Moral Judgment: Evidence from Neuroimaging. In: Changeux et.al, *Neurobiology of Human Values*, Springer Verlag, S. 57-66.
- Greene, J. (2007). Why are VMPFC patients more utilitarian? A dual-process theory of moral judgment explains. *Trends in Cognitive Science*, 11 (8), S. 322-323.
- Haidt, J. (2001). The Emotional Dog and Its Rational Tail: A Social Intuitionist Approach to Moral Judgment, *Psychological Review*, 108 (4), S. 814-834.
- Harlow, J. (1848). Passage of an iron rod through the head. *Boston Medical and Surgical Journal* 39: S. 389-393.(Republished in *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience.*, 11, S. 281-283).
- Harris, L. & Fiske, S. (2006). Dehumanizing the lowest of the low: neuroimaging responses to extreme out-groups. *Psychological Science*, 17 (10), S. 847-853.
- Hauser, M. (2006). *Moral Minds. How Nature designed our universal sense of right and wrong*, New York: Harper Collins.
- Hauskeller, M. (1997). *Geschichte der Ethik 1: Antike*. München: dtv.
- Heekeren, H., Wartenburger, I., Schmidt, H., Schwintowski, H. & Villringer, A. (2003). An fMRI study of simple ethical decision-making. *NeuroReport*, 14, S. 1215-1219.
- Henson, R., Buechel, C., Josephs, O. & Friston, K. (1999). The Slice-Timing

- Problem in Event-related fMRI, *Neuroimage*, 9, 125.
- Hickok, G. & Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, 92, S. 67-99.
- Hume, D. (1969). *A Treatise of Human Nature*. London: Penguin.
(Originalarbeit von 1739)
- Hursthouse, R. (1999). *On Virtue Ethics*. New York: Oxford Univ. Press.
- Hutcheson, F. (1728). *An Essay on the Nature and Conduct of the Passions and Affections with Illustrations on the Moral Sense*. USA: Library of Congress Catalog Card Number: 73-112156
- Huttenlocher, P. (1979). Synaptic density in human frontal cortex-developmental changes and effects of aging, *Brain Res.* 163, S. 195-205.
- Huttenlocher, P., De Courten, C., Garey, L. & Van der Loos, H. (1983). Synaptic development in human cerebral cortex. *Int. J. Neurol.* 16-17, S. 144-154.
- Huttenlocher, P. & Dabholkar, A. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex, *J. Comp. Neurol.* 387, S. 167-178.
- Johnson, S., Blum, R., Giedd, M. (2009). Adolescent Maturity and the Brain: The Promise and Pitfalls of Neuroscience Research in Adolescent Health Policy, *Journal of Adolescent Health*, 45, S. 216-221.
- Kant, I. (1959). *Foundation of the metaphysics of morals* (Beck, L., Übers.) Indianapolis: Bobbs-Merrill (Originalarbeit von 1786).
- Keller, M. & Krettenauer, T. (2007). Moralentwicklung im Kulturvergleich. In: Trommsdorf, G. & Kornadt, H. (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Bd. C, VII/2. Erleben und Handeln im kulturellen Kontext*, Göttingen: Hogrefe, S. 521–555.
- Kelley, W., Macrae, C., Wyland, C., Caglar, S., Inati, S., Heatherton, T. (2002). Finding the self? An event-related fMRI study, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, S.785-794.
- Kessler, R., Berglund, P., Demler, O., Jin, R., Merikangas, K. & Walters, E. (2005). Life-time prevalence and age-of-onset distributions of DSM-IV disorders in the National Comorbidity Survey Replication. *Archives of General Psychiatry*, 62, S. 593-602.
- Kiehl, K., Liddle, P. & Hopfinger, J. (2000). Error processing and the rostral anterior cingulate: An event related fMRI study. *Psychophysiology*, 37, S. 216-223.
- Kilts, C., Egan, G., Gideon, D., Ely, T. & Hoffman, J. (2003). Dissociable neural pathways are involved in the recognition of emotion in static and dynamic

- facial expressions. *Neuroimage*, 18, S. 156-168.
- Koechlin, E., Ody, C. & Kouneiher, F. (2003). The architecture of cognitive control in the human prefrontal cortex. *Science*, 302, S. 1181-1185.
- Koelsch, S. & Fritz, T. (2007). Neuronale Korrelate der Musikverarbeitung, In: Reinecker, H. (Hrsg.), *Verhaltenstherapie und Verhaltensmedizin*, 28, S. 23-38.
- Koenigs, M., Young, L., Adolphs, R., Tranel, D., Cushman, F., Hauser, M. et al. (2007). Damage to the prefrontal cortex increases utilitarian moral judgements. *Nature*, 446, S. 908-911.
- Kohlberg, L. (1974). *Zur kognitiven Entwicklung des Kindes*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 7-255.
- Lehrl, S. (2005). *Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenztest MWT-B*. Balingen: Spitta Verlag
- Leslie, A. (1987). Pretence and representation: The origins of theory of mind, *Psychological Review*, 94, S. 412-426.
- Liu, T., Frank, L., Wong, E. & Buxton, R. (2001). Detection power, estimation efficiency and predictability in event-related fMRI, *Neuroimage*, 13, S. 759-773.
- Logothetis, N. (2003). The underpinnings of the BOLD functional magnetic resonance imaging signal, *J. Neurosci.*, 23, S. 3963-3971.
- Luna, B. & Sweeney, J. (2004). The emergence of collaborative brain function: FMRI studies of the development of response inhibition. *Ann NY Academy of Science*, 1021, S. 296-309.
- Mantani, T., Okamoto, Y., Shirao, N., Okada, G. & Yamawaki, S. (2005). Reduced activation of posterior cingulate cortex during imagery in subjects with high degrees of alexithymia: a functional magnetic resonance imaging study. *Biological Psychiatry*, 57 (9), S. 982-990.
- Mars, R. & Grol, M. (2007). Dorsolateral Prefrontal Cortex, Working Memory, and Prospective Coding for Action. *J. Neurosci.*, 27 (8), S. 1801-1802.
- McGivern, R., Andersen, J., Byrd, D., Mutter, K. & Reilly, J. (2002). Cognitive efficiency on a match to sample task decreases at the onset of puberty in children, *Brain Cognition*, 50, S. 73-89.
- McIntyre, A. (1984). *Geschichte der Ethik im Überblick. Vom Zeitalter Homers bis zum 20. Jahrhundert*. Meisenheim: Hain, S. 107-166.
- Mesulam, M. (2000). *Principles of behavioral and cognitive neurology*, 2. New York: Oxford University Press

- Milad, M. & Rauch, S. (2007). The role of orbitofrontal cortex in anxiety disorders. *Ann NY Academy of Science*, S. 546-561.
- Moll, J., Oliveira-Souza, R., Bramati, I. & Grafman, J. (2002a). Functional networks in emotional moral and nonmoral social judgments. *Neuroimage*, 16, S. 696-703.
- Moll, J., Oliveira-Souza, R., Eslinger, P., Bramati, I., Mourao-Miranda, J., Andreiuolo, P. & Pessoa, L. (2002b). The neural correlates of moral sensitivity: a functional magnetic resonance imaging investigation of basic and moral emotions. *J. Neurosci.*, 22, S. 2730-2736.
- Moll, J., Oliveira-Souza, R. und Eslinger, P. (2003). Morals and the human brain: a working model. *Neuroreport*, 14, S. 299-305.
- Monk, C. et al. (2003). Adolescent immaturity in attention-related brain engagement to emotional facial expressions, *Neuroimage*, 20, S. 420-428.
- Moriguchi, Y., Ohnishi, T., Mori, T., Matsuda, H. & Komaki, G. (2007). Changes of brain activity in the neural substrates for theory of mind during childhood and adolescence. *Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 61, S. 355-363.
- Nagai, C. (2007) Neural mechanisms of facial recognition, *Brain Nerve*, 59, S. 45-51.
- Nieuwenhuis S., Ridderinkhof K., Blom J., Band G. & Kok A. (2001). Error related brain potentials are differentially related to awareness of response errors: evidence from an antisaccade task. *Psychophysiology*, 38 (5), S. 752–760.
- Ochsner, K., Beer, J., Robertson, E., Cooper, J., Gabrieli, J., Kihlstrom J., D'Esposito, M. (2005). The neural correlates of direct and reflected self-knowledge. *Neuroimage*, 28, S. 797-814.
- Ogawa, S., Tank, D., Menon, R., Ellermann, J., Kimt, S.-G., Merkle, H. & Ugurbil, K. (1992). Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: functional brain mapping with magnetic resonance imaging. *Proceeding National Academy of Science USA*, 89, S. 5951- 5955.
- Paus, T. (2001). Primate anterior cingulate cortex: where motor control, drive and cognition interface. *Nature Review Neuroscience*, 2, S. 417-424.
- Paus, T., Collins, D., Evans, A., Leonard, G., Pike, B. & Zijdenbos, A. (2001) Maturation of white matter in the human brain: A review of magnetic resonance studies. *Brain Research Bulletin*, 54 (3), S. 255-266.
- Paus, T., Keshavan, M. & Giedd, J. (2008). Why do many psychiatric disorders emerge during adolescence? *Nat. Rev. Neurosci.*, 9 (12), S. 947-957.
- Pelphrey, K., Mitchell, T., McKeown, M., Goldstein, J., Allison, T. & McCarthy,

- G. (2003a). Brain activity evoked by the perception of human walking: controlling for meaningful coherent motion. *Journal of Neuroscience*, 23, S. 6819-6825.
- Pelphrey, K., Singerman, J., Allison, T. & McCarthy, G. (2003b). Brain activation evoked by perception of gaze shifts: the influence of context. *Neuropsychologia*, 41, S. 156-170.
- Piaget, J. (1976). *Das moralische Urteil beim Kinde*. (Original: *Le jugement moral chez l'enfant*). Frankfurt am Main: Suhrkamp
- Poeck, K. (1985). The Klüver-Bucy syndrome in man. In: Frederiks, J. (Hrsg.) *Handbook of Clinical Neurology*, 1 (45). Amsterdam: Elsevier Science Publishers, S. 257-263.
- Posner, M. & Petersen, S. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review Neuroscience*, 13, S. 25-42.
- Premack, D. & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *The Behavioral and brain sciences*, 4, S. 515-526.
- Pujol, J., Vendrell, P., Junqué, C., Martí-Vilata, J. & Capdevila, A. (1993). When does human brain development end? Evidence of corpus callosum growth up to adulthood. *Annals of Neurology*, 34, S. 71-75.
- Pujol, J., Reixach, J., Harrison, B., Timoneda-Gallart, C, Vilanova, J. & Pérez-Alvarez, F. (2008). Posterior Cingulate Activation During Moral Dilemma in Adolescents. *Human Brain Mapping*, 29, S. 910-921.
- Rolls, E. (2004). The functions of the orbitofrontal cortex. *Brain and Cognition*, 55, S. 11-29.
- Rushworth, M., Behrens, T., Rudebeck, P. & Walton M. (2007). Contrasting roles for cingulate and orbitofrontal cortex in decisions and social behaviour. *Trends in Cognitive Science*, 11 (4), S. 168-176.
- Sassa, Y., Sugiura M., Jeong H., Horie K., Sato S. & Kawashima R. (2007). Cortical mechanism of communicative speech production. *Neuroimage*, 37, S. 985-992.
- Saur, D. & Weiller, C. (2009). Bildgebende Verfahren - Aktivierungsstudien mit fMRT und PET In: W. Sturm, M. Herrmann & T. F. Münte (Hrsg.), *Lehrbuch der Klinischen Neuropsychologie. Grundlagen, Methoden, Diagnostik, Therapie*, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 239-250.
- Saxe, R. & Wexler, A. (2005). Making sense of another mind: The role of the right temporo-parietal junction. *Neuropsychologia*, 43, S. 1319-1399.
- Schlegel, A. & Barry, H. (1991) *Adolescence. An Anthropological Inquiry*. The Free Press, New York.

- Schmithorst, V., Yuan, W. (2009). White matter development during adolescence as shown by diffusion MRI, *Brain and Cognition*, doi:10.1016/j.bandc.2009.06.005
- Shah, N., Marshall, J., Zafiris, O., Schwab, A., Zilles, K., Markowitsch, H. & Fink, G. (2001). The neural correlates of person familiarity. A functional magnetic resonance imaging study with clinical implications. *Brain*, 124, S. 804-815
- Sidgwick, H. (1967). *Outlines of the History of Ethics. For English Readers.* London, Melbourne, Toronto: Macmillan, New York: St. Martin's Press, S. 109-156.
- Silk, J., Steinberg L., Morris, A. (2003). Adolescents' emotion regulation in daily life: Links to depressive symptoms and problem behavior. *Child Development*, 74, S. 1869-1880.
- Simmonds, D., Pekar, J. & Mostofsky, S. (2008). Meta-analysis of Go/No-go tasks demonstrating that fMRI activation associated with response inhibition is task dependent. *Neuropsychologia*, 46, S. 224-232.
- Skinner, B. (1971) *Beyond freedom and dignity*, London: Lowe & Brydone, S. 60-126.
- Smith, E. & Jonides, J. (1997). Working memory: a view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 33, S. 5-42.
- Sokrates (469-399 v. Chr.), In: Platt, S. (Hrsg.) *Respectfully Quoted: A Dictionary of Quotations Requested from the Congressional Research Service.* Washington D.C.: Library of Congress, 1989.
- Sommer, M., Döhnelt, K., Sodian, B., Meinhardt, J., Thoermer, C. & Hajak, G. (2007). Neural correlates of true and false belief reasoning. *NeuroImage*, 35, S. 1378-1384.
- Sommer, M., Rothmayr, C., Döhnelt, K., Meinhardt, J., Schwerdtner, J., Sodian, B. & Hajak, G. (2010). How should I decide? The neural correlates of everyday moral reasoning. *Neuropsychologia*, doi: 10.1016/j.Neuropsychologia.2010.03.023.
- Sowell, E., Thompson, P., Toga, A. (2004). Mapping Changes in the Human Cortex throughout the Span of Life, *Neuroscience*, 10, S. 372-392.
- Steinberg, L. & Morris, A. (2001). Adolescent development. *Annual Review Psychology* 52, S. 83-110.
- Steinberg, L. (2008). A social neuroscience perspective on adolescent risk-taking. *Developmental Review*, 28, S. 78-106.
- Steinberg, L., (2009). Risk-taking in adolescence: New perspectives from brain and behavioral science. *Current Direction Psychol. Science*, 16, S. 55-59.

- Sugiura, M., Shah, N., Zilles, K. & Fink, G. (2005). Cortical representations of personally familiar objects and places functional organization of the human posterior cingulate cortex. *Cognitive Neuroscience*, 17 (2), S. 183-198.
- Tassy, S., Oullier, O., Cermolacce, M. & Wicker, B. (2009). Do psychopathic patients use their DLPFC when making decisions in moral dilemmas? *Molecular Psychiatry*, 14, S. 908-909.
- Trepel, M. (2004). *Neuroanatomie, Struktur und Funktion*, 3, München: Urban & Fischer Verlag.
- Tsoory, M., Vouimba, R., Akirav, I., Kavushansky, A., Avital, A. & Richter-Levin, G. (2008). Amygdala modulation of memory-related processes in the hippocampus: potential relevance to PTSD. *Progress in Brain Research*, 167, S. 35-51.
- Van den Bos, W., McClure, S., Harris, L., Fiske, S. & Cohen, J. (2007). Dissociating affective evaluation and social cognitive processes in the ventral medial prefrontal cortex. *Cognitive, Affective, Behavioral Neuroscience*, 7 (4), S. 337-346.
- Waldeyer, A. (2003). *Anatomie des Menschen*, 17, Berlin: De Gruyter. S. 378-401.
- Walton, M. & Mars, R. (2007). Probing human and monkey anterior cingulate cortex in variable environments. *Cognitive, Affective, Behavioral Neuroscience*, 7 (4), S. 413-422.
- Wang, A., Lee, S., Sigman, M. & Dapretto, M. (2006). Developmental changes in the neural basis of interpreting communicative intent. *Social Cognitive Affective Neuroscience*, 1, S. 107-121.
- Weintraub, S. & Mesulam, M. (1983). Developmental learning disabilities of the right hemisphere: emotional, interpersonal and cognitive components. *Archive of Neurology*, 40, S. 463-468.
- Wiesing, U., Ach, J., Bormuth, M. & Marckmann, G. (2008). *Ethik in der Medizin. Ein Studienbuch. Allgemeine Einführung in die medizinische Ethik*, 3, Stuttgart: Reclam.
- Winston, J., Strange, B., O'Doherty, J. & Dolan, R. (2002). Automatic and intentional brainresponses during evaluation of trustworthiness of faces. *Nature, Neuroscience*, 5, S. 277-283.
- Winterer, G., Adams, C., Jones, D., & Knutson, B. (2002). Volition to action - An event-related fMRI study. *Neuroimage*, 17, S. 851-858.
- Yurgelun-Todd, D. & Killgore, W. (2006). Fear-related activity in the prefrontal cortex increases with age during adolescence: a preliminary fMRI study, *Neurosc. Lett.*, 406, S. 194-199.

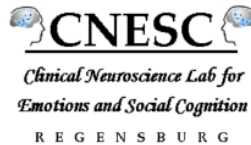
8. ANHANG

Anlage A:



Universität Regensburg

Med. Einrichtungen des
Bezirks Oberpfalz GmbH
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie,
Psychosomatik und Psychotherapie
der Universität Regensburg



**Zentrum für Emotionen und soziale Kognition
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie
der Universität Regensburg**

Informationsblatt für Sorgeberichtigte zur funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT):

Sehr geehrte (r) Sorgeberechtigte (r),

Ihr Kind hat sich bereit erklärt, an einer wissenschaftlichen Studie zur kognitiven Entwicklung teilzunehmen. Dazu verwenden wir eine Kernspinuntersuchung (funktionelle Magnetresonanztomographie/ fMRT). Mithilfe von fMRT können Aufnahmen von biologischen Vorgängen im Gehirn gemacht werden. Während der Kernspinuntersuchung werden Ihrem Kind alltägliche Konfliktsituationen in Schriftform gezeigt, über welche es nachdenken soll. Die Untersuchung möchte herausfinden, welche Gehirnregionen während der Aufgabenbearbeitung aktiv sind.

Die Aufgaben, die Ihr Kind im Kernspin bearbeiten soll, werden vorher mit Ihrem Kind genau besprochen und ausprobiert. Die Untersuchung beruht auf der Wechselwirkung von Magnetfeldern und Radiowellen; es kommen weder Röntgenstrahlen noch Kontrastmittel zur Anwendung. Das Verfahren ist für die Gesundheit Ihres Kindes absolut ungefährlich. Die Magnettröhre des Kernspins ist offen und Ihr Kind hat jederzeit die Möglichkeit, über eine Gegensprechanlage Kontakt zu uns aufzunehmen sowie ein Signal auszulösen, falls etwas nicht in Ordnung ist. Das Wohlbefinden Ihres Kindes wird zu jedem Zeitpunkt fachgerecht überwacht. Störend könnten eventuell die Klopferäusche des Gerätes sein. Um Ihr Kind davor zu schützen, geben wir Ihrem Kind für die Dauer der Untersuchung Ohrstöpsel.

Medizinische Einrichtungen des Bezirks Oberpfalz GmbH
Geschäftsführer: Kurt Häußel
Aufsichtsratsvorsitzender: Bezirkstagspräsident Rupert Schmid
Sitz: Universitätsstraße 84, 93053 Regensburg
Registergericht: Regensburg, HR-Nr.: B9977

Standort: Bezirksklinikum Regensburg
Universitätsstraße 84 • 93053 Regensburg

Bankverbindung:
HypoVereinsbank Regensburg BLZ 750 200 73, Konto-Nr. 8317100
Sparkasse Regensburg BLZ 750 500 00, Konto-Nr. 1012020

USt-ID-Nr.: DE 133714430

Öffentliche Verkehrsmittel:

Sie erreichen das Bezirksklinikum mit den Buslinien 6 und 11 ab Hauptbahnhof

Anlage A:

Seite: 2 von 3

Die geplante fMRT Untersuchung verwendet ausschließlich Messprotokolle, die der Untersuchung wissenschaftlicher Fragestellungen dienen. Die Aufnahmen des Gehirns Ihres Kindes sind daher nur zur wissenschaftlichen Auswertung geeignet und können nicht als klinisch-diagnostische Befunde verwendet werden.

Der Name Ihres Kindes und andere Identifikationsmerkmale werden durch ein Kennzeichen (z.B. eine Codenummer) ersetzt, so dass eine Zuordnung der Daten zu einer bestimmten Person erschwert wird und nur über weitere Hilfsmittel möglich ist. Diese sogenannten „pseudonymisierten“ Daten werden ausschließlich zur wissenschaftlichen Auswertung benützt. Der Datenschutz bleibt selbstverständlich gewahrt.

Die Untersuchung wird mit Hilfe eines Magnetfeldes durchgeführt. Bei der Untersuchung darf Ihr Kind keine Metallteile mit sich führen, da es sonst zu Unfällen durch fliegende, vom Magnetfeld angezogene Metallgegenstände kommen kann. Daher muss Ihr Kind alle metallhaltigen Gegenstände im Wartezimmer ablegen (z.B. Uhren, Kreditkarten, Scheckkarten, Hörgerät, Brille, Ohrringe, Piercings, Zahnprothesen, Haarspangen, Gürtelschnallen, Metallteile an der Kleidung, Kugelschreiber, Schlüssel, Geldmünzen in den Taschen)

Die Magnetfelduntersuchung kann bei bestimmten Situationen nicht durchgeführt werden. Um mögliche Risiken zu vermeiden, beantworten Sie bitte die folgenden Fragen:

- | | |
|---|---|
| Wurde Ihr Kind an Herz oder Kopf operiert? | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Trägt Ihr Kind einen Herzschrittmacher? | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Trägt Ihr Kind eine Insulinpumpe? | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Trägt Ihr Kind einen Nervenstimulator? | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Trägt Ihr Kind ein Hörgerät? | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Trägt Ihr Kind andere Implantate, die metallhaltig sein könnten? | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Befinden sich im Körper Ihres Kindes Metallteile, z.B. Zahnspan-
gen, künstliche Gelenke, Gefäßklips, Granatsplitter, Schrauben
oder ähnliches? | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Trägt Ihr Kind Hautklammern infolge einer Operation? | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Trägt Ihr Kind Piercings? | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Leidet Ihr Kind unter Platzangst? | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Liegt bei Ihrem Kind ein epileptisches Anfallsleiden vor? | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |
| Wurde bei ihrem Kind ADS/ADHS/ADHD/Hyperaktivität oder
ein Aufmerksamkeitsdefizit diagnostiziert? | ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> |

Anlage A:

Seite: 3 von 3

Fragen speziell für Töchter:

Trägt Ihre Tochter eine Spirale zur Verhütung? ja ☐ nein ☐

Besteht die Möglichkeit, dass Ihre Tochter schwanger ist? ja ☐ nein ☐

SONSTIGE BEMERKUNGEN _____

Wenn Sie etwas nicht verstanden oder noch Fragen haben, stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Ich habe diese Informationen verstanden. Alle meine Fragen wurden beantwortet.

Name des/der **Sorgeberechtigten** (in Druckbuchstaben)

Ort, Datum
(eigenhändig vom
Sorgeberechtigten einzutragen)

Unterschrift des/der Sorgeberechtigten

Name der aufklärenden **Fachkraft** (in Druckbuchstaben)

Ort, Datum
(eigenhändig von
der Fachkraft einzutragen)

Unterschrift der Fachkraft

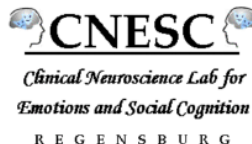
Anlage B:



Universität Regensburg

Med. Einrichtungen des
Bezirks Oberpfalz GmbH

Klinik und Poliklinik für Psychiatrie,
Psychosomatik und Psychotherapie
der Universität Regensburg



Zentrum für Emotionen und soziale Kognition
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie
der Universität Regensburg

Informationsblatt für Kinder/Jugendliche
zur funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT):

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

Vielen Dank für Deine Bereitschaft, an unserer Studie teilzunehmen. Hier kannst du noch einmal genau nachlesen, wie die Untersuchung abläuft und worum es geht. Es sollen Bilder von Deinem Gehirn gemacht werden, während Du bestimmte Aufgaben löst. Wir wollen damit herausfinden, welche Regionen in Deinem Gehirn dabei arbeiten. Die Methode, die wir dazu verwenden heißt „funktionelle Magnetresonanztomographie“ (fMRT).

Für die „funktionelle Magnetresonanztomographie“ (fMRT) benutzen wir eine besondere Art von Aufnahmegerät, das aussieht wie eine Röhre mit einer Liege darin. Für die Untersuchung musst Du Dich auf diese Liege legen. Dein Kopf wird dabei in eine Art offenen Helm gelegt, mit dem wir die Bilder von Deinem Gehirn aufnehmen. Dabei ist es wichtig, dass Du entspannt und bequem liegst. Damit die Bilder gut werden, kommt es nämlich sehr darauf an, dass Du während der gesamten Untersuchung **ruhig liegst und Dich nicht bewegst**, damit die Bilder nicht verwackeln. Um dies zu erleichtern, wird Dein Kopf noch zusätzlich mit Polstern befestigt, ohne dass es weh tut. Über einen Projektor und einen Spiegel zeigen wir dir die Aufgaben, die du lösen sollst.

Mit der Liege wirst Du dann langsam in die Röhre des Aufnahmegerätes geschoben. Dort befindest Du Dich während der gesamten Untersuchung in einem starken Ma-

Medizinische Einrichtungen des Bezirks Oberpfalz GmbH
Geschäftsführer: Kurt Häupl
Aufsichtsratsvorsitzender: Bezirkstagspräsident Rupert Schmid
Sitz: Universitätsstraße 84, 93053 Regensburg
Registergericht: Regensburg, HR-Nr.: B9977

Standort: Bezirksklinikum Regensburg
Universitätsstraße 84 • 93053 Regensburg

Bankverbindung:
HypoVereinsbank Regensburg BLZ 750 200 73, Konto-Nr. 8317100
Sparkasse Regensburg BLZ 750 500 00, Konto-Nr. 1012020

UST-ID-Nr.: DE 133714430

Öffentliche Verkehrsmittel:
Sie erreichen das Bezirksklinikum mit den Buslinien 6 und 11 ab Hauptbahnhof

Anlage B:

Seite: 2 von 2

gnetfeld, das Du aber gar nicht spüren kannst und das auch nicht gefährlich ist. Während die Bilder von Deinem Gehirn aufgenommen werden, macht das Aufnahmegerät klopfende und piepsende Geräusche. Das ist ein bisschen laut, deswegen bekommst Du vor der Untersuchung Ohrenstöpsel von uns. Du Ganze wird ungefähr eine halbe Stunde dauern.

Während der gesamten Untersuchung ist eine Gegensprechanlage eingeschaltet, über die Du mit uns sprechen kannst und über die Du jederzeit gehört wirst, wenn Du etwas sagen möchtest. Zusätzlich bekommst Du einen Ball in die Hand, den Du drücken kannst, wenn Du meinst, dass etwas nicht in Ordnung ist. Dann bekommen wir ein Signal und können die Untersuchung unterbrechen.

Dein Name und andere Merkmale, an denen man Dich erkennen kann, werden durch ein Kennzeichen (z.B. eine Codenummer) ersetzt, so dass eine Zuordnung der Daten zu Dir als Person erschwert wird und nur über weitere Hilfsmittel möglich ist. Dieses Vorgehen heißt Pseudonymisierung. Diese Daten (d.h. diese pseudonymisierten Daten) werden ausschließlich zur wissenschaftlichen Auswertung benutzt. Der Datenschutz bleibt selbstverständlich gewahrt.

Bevor es richtig losgeht, wird Dir die Aufgabe genau erklärt, die Du dann im Aufnahmegerät durchführen sollst. Außerdem üben wir die Aufgabe gemeinsam, damit Du weißt, was Du machen musst. Falls Du dann noch irgendwelche Fragen haben solltest oder Dir sonst noch etwas unklar ist, kannst Du uns gerne jederzeit fragen.

Ich habe diese Informationen verstanden. Alle meine Fragen wurden beantwortet.

Name des **Kindes/Jugendlichen** (in Druckbuchstaben)

Ort, Datum
(eigenhändig vom
Kind/Jugendlichen einzutragen)

Unterschrift des Kindes/Jugendlichen

Name der aufklärenden **Fachkraft** (in Druckbuchstaben)

Ort, Datum
(eigenhändig
von der Fachkraft einzutragen)

Unterschrift der Fachkraft

Anlage C. Beispiele für moralische und neutrale Konflikte und ihre jeweiligen Antwortoptionen: Moralische Konflikte

<i>Moralische Konflikte</i>	<i>Antwortoptionen</i>
Ich möchte mit dem Zug nach Hause fahren, der nur jede Stunde fährt. Ich will gerade einsteigen, da stürzt neben mir am Bahnsteig ein Mann mit Krücken. Ich könnte ihm aufhelfen, wobei ich allerdings den Zug verpassen würde. Wie verhalte ich mich?	Nehme Zug Helfe Mann
Ich finde abends auf der Straße einen Geldbeutel mit 50 Euro ohne persönliche Dokumente. Ich habe keine Möglichkeit den Besitzer ausfindig zu machen. Ich könnte den Geldbeutel aber im Fundbüro abgeben. Wie verhalte ich mich?	Gebe Geldbeutel ab Behalte Geldbeutel
Ich laufe zum Bus, der jeden Augenblick abfährt und nur stündlich fährt. Vor mir fallen einer Frau mit 2 Kleinkindern mehrere Gegenstände aus der Handtasche. Sonst ist niemand in der Nähe, der der Frau helfen könnte. Wie verhalte ich mich?	Helfe der Frau Laufe zum Bus
Ein Freund und ich sind große Fans einer Band. Diese Band gibt nun ein Konzert in meiner Stadt, das wir besuchen wollen. An der Kartenvorverkaufsstelle kann ich nur noch eine einzige Karte ergattern. Wie verhalte ich mich?	Gehe auf Konzert Gebe Freund Karte
Ich bin auf einem Straßenfest, das gut besucht ist. Nachdem ich endlich ein Getränk bekommen habe, merke ich, dass mir der Verkäufer 10 Euro zuviel herausgegeben hat. Um das Geld zurück zu geben, müsste ich mich noch einmal in der langen Schlange anstellen. Wie verhalte ich mich?	Stelle mich an Behalte Geld
Beim Absperren meines Fahrrads kippt dieses gegen ein geparktes Auto. In der Dunkelheit entdecke ich am Auto keine Kratzer. Am nächsten Tag höre ich meinen Nachbarn von einem frischen Kratzer an seinem neuen Wagen reden. Wie verhalte ich mich?	Verschweige Vorfall Informiere Nachbarn

Anlage C. Beispiele für moralische und neutrale Konflikte und ihre jeweiligen Antwortoptionen: Moralische Konflikte

<i>Moralische Konflikte</i>	<i>Antwortoptionen</i>
Ich stehe an der Kasse im Supermarkt. Als die Frau, die vor mir gezahlt hat, in Richtung Parkplatz geht, fällt ihr unbemerkt ein 10-Euro-Schein aus dem Geldbeutel. Niemand außer mir hat es beobachtet. Wie verhalte ich mich?	Stecke Geld ein Gebe Geld zurück
Ich bin auf einer großen Feier einer befreundeten Familie. Als ich mir in der Küche alleine ein Getränk einschenken will, fällt mein Trinkglas auf den Boden und zerbricht. Ich könnte den Schaden unbemerkt beseitigen. Wie verhalte ich mich?	Berichte Schaden Verschweige Schaden
Ich ärgere mich schon länger über eine Digitalkamera, die ab und zu unscharfe Bilder macht. Ein Bekannter von mir bemerkt davon nichts. Er möchte mir die Kamera für 30 Euro abkaufen. Wie verhalte ich mich?	Verkaufe Kamera Berichte Defekt
Ich sitze im Bus auf meinem Sitzplatz und habe eine lange Fahrt vor mir. Beim nächsten Halt steigt eine ältere Dame ein, die keinen Platz mehr bekommt. Sie fragt mich, ob ich ihr meinen Platz überlasse. Wie verhalte ich mich?	Gebe Platz her Bleibe sitzen

Anlage C. Beispiele für moralische und neutrale Konflikte und ihre jeweiligen Antwortoptionen: Neutrale Konflikte

<i>Neutrale Konflikte</i>	<i>Antwortoptionen</i>
Ich sehe in einem Geschäft eine Hose, die mir gefällt. Ich möchte die Hose, die 60 Euro kostet kaufen. Eine Bekannte, die in dem Geschäft arbeitet sagt mir, dass die Hose in 4 Wochen nur noch 30 Euro kostet. Wie verhalte ich mich?	Kaufe Hose jetzt für 60 Euro Kaufe Hose später für 30 Euro
Ich habe mir abends eine DVD aus einem Videoverleih angesehen. Wenn ich die DVD erst morgen zum Angestellten im DVD-Verleih zurück bringe, kostet es doppelt so viel, wie wenn ich sie gleich zurückbringe. Draußen ist es kalt und regnet. Wie verhalte ich mich?	Bringe DVD gleich zurück Bringe DVD morgen zurück
Ich bin mit einem Freund beim Einkaufen um Supermarkt und möchte mir ein Dessert fürs Abendessen aussuchen. Ich hätte gerne Schokopudding, sehe aber, dass Himbeerjoghurt günstiger ist, da dieser gerade im Angebot ist. Wie verhalte ich mich?	Kaufe Schokopudding Kaufe Himbeerjoghurt
Ich will einer Bekannten zum Geburtstag ihre Lieblingsblumen, nämlich Sonnenblumen, kaufen. Im Laden stelle ich fest, dass diese teuer sind und ich mein gesamtes Geld ausgeben müsste. Ich könnte auch Tulpen kaufen, die billiger sind. Wie verhalte ich mich?	Kaufe Tulpen Kaufe Sonnenblumen
Ich liege im Bett und bin noch sehr müde, da ich gestern auf einer langen Feier war. Ich würde mir aber später gerne ein Auswärtsspiel unseres Fußballvereins ansehen. Ein Freund würde mich mitnehmen, dazu müsste ich aber sofort aufstehen. Wie verhalte ich mich?	Bleibe liegen Stehe auf
Ich habe die Möglichkeit in zwei Vereinen Sport zu machen. Einige Bekannte sind Mitglieder eines Vereins, der aber weit von zu Hause entfernt ist. Der andere Verein ist in der Nähe meiner Wohnung. Wie verhalte ich mich?	Gehe zu weiter entferntem Verein Gehe zu Verein in der Nähe

Anlage C. Beispiele für moralische und neutrale Konflikte und ihre jeweiligen Antwortoptionen: Neutrale Konflikte

Neutrale Konflikte	Antwortoptionen
Mit Buslinie 1 brauche ich länger zum Einkaufszentrum als mit Buslinie 2. An der Haltestelle kommt gerade ein Bus der schnelleren Linie 2, der aber mit Schülern überfüllt ist. Auf der Anzeigetafel sehe ich, dass gleich ein Bus der langsameren Linie 1 kommt. Wie verhalte ich mich?	Nehme schnelleren Bus Nehme langsameren Bus
Ich könnte mein Fahrrad in einer Werkstatt für 100 Euro reparieren lassen. Ich könnte mir die benötigten Teile auch einzeln kaufen und das Fahrrad mit einem Bekannten reparieren. Dies würde 60 Euro kosten. Wie verhalte ich mich?	Bringe Rad zu Werkstatt Repariere mit Bekanntem
Ich lese gerade ein Buch, das mir eine Freundin empfohlen hat. Das Buch gefällt mir gut und ich bin an einer spannenden Stelle. Auf einmal merke ich, dass gleich im Fernsehen ein Film anfängt, den ich unbedingt auch gerne gesehen hätte. Wie verhalte ich mich?	Sehe Film Lese Buch
Zum Geburtstag habe ich 200 Euro bekommen. Damit wollte ich mir ein Handy kaufen, das auch meine Freunde alle haben. Wenn ich das Geld aber spare, kann ich mit Freunden in den Urlaub fahren. Wie verhalte ich mich?	Kaufe das Handy Spare für Urlaub

ERKLÄRUNG

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungspersonen (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Professor Dr. Göran Hajak für die Überlassung des Themas, die fachkundige Beratung bei der Ausführung der Arbeit sowie die Chance, an einem seiner anerkannten Forschungsprojekte mitarbeiten zu dürfen, bedanken.

Des Weiteren gilt mein herzlicher Dank PD Dr. Monika Sommer für die stets zuverlässige, aufmunternde und humorvolle Begleitung meiner Arbeit sowie ihrer Arbeitsgruppe für Emotionen und soziale Kognition am Bezirksklinikum Regensburg, allen voran Dr. Katrin Döhnel: Danke für das harmonische Miteinander, die konstruktive Kritik und die lebhaften Diskussionen, die mir immer wieder neue Ideen lieferten.

Genauso schulde ich Herrn Dr. Christoph Rothmayr großen Dank für die nette Kooperation, für die Hilfe bei der Durchführung der MRT-Messungen sowie die fachlichen und freundschaftlichen Ratschläge.

Weiterhin ein Dankeschön an alle Probanden, die sich für die Messungen zur Verfügung gestellt und sich so an diesem Projekt beteiligt haben.

Ganz besonders dankbar bin ich aber meiner Familie: meiner Mutter, meinem Vater und meinem Bruder, die mich immer wieder moralisch unterstützt haben. Gleiches gilt für meine Freunde, vor allem Caroline Bezwald, Julia Ferstl und Valerie Zeiler.

LEBENS LAUF

Katharina Robold

Persönliche Angaben

Geburtsdatum	31.08.1985
Nationalität	deutsch
Familienstand	ledig

Kurzlebenslauf

2005	Abitur am St. Marien-Gymnasium, Regensburg
2005-2011	Studium der Humanmedizin, Regensburg

Studium

Physikum:	Sommersemester 2007
Praktisches Jahr:	1. Tertial: Chirurgie; Krankenhaus St. Josef, Regensburg & Concord Hospital, Sydney 2. Tertial: Allgemeinmedizin; Praxis Dr. Rauscher & Neumann, Regensburg 3. Tertial: Innere Medizin; Universitätsspital Zürich
Staatsexamen:	Oktober/November 2011, Universität Regensburg