

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

**„NEURONALE AKTIVIERUNGSMUSTER DER BELIEF
ATTRIBUTION – EIN ÜBERBLICK ÜBER AKTUELLE
ERGEBNISSE DER SUCHE NACH DEN NEURONALEN
KORRELATEN DER THEORY OF MIND“**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Philipp Holter

2012

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

**„NEURONALE AKTIVIERUNGSMUSTER DER BELIEF
ATTRIBUTION – EIN ÜBERBLICK ÜBER AKTUELLE
ERGEBNISSE DER SUCHE NACH DEN NEURONALEN
KORRELATEN DER THEORY OF MIND“**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Philipp Holter

2012

Dekan:	Prof. Dr. Dr. Torsten Reichert
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. Göran Hajak
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. Thomas Loew
Tag der mündlichen Prüfung:	17.02.2012

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit reiht sich in eine rapide zunehmende Anzahl von Studien ein, die es sich zum Ziel gesetzt haben, die neuronalen Korrelate der Theory of Mind (ToM) zu erforschen. In der Fachliteratur wurden zunächst vor allem medial präfrontale Gehirnareale als mögliche „ToM Areale“ diskutiert, zunehmend rückte dann die so genannte Temporoparietale Junction in den Focus der Studien. Aktuellste Daten geben Hinweise auf eine potenzielle Rolle des Präcuneus für das Ausüben einer voll funktionstüchtigen Theory of Mind. Die vorliegende Studie wurde entwickelt, um die Rolle dieser Areale innerhalb der Theory of Mind weiter zu erforschen.

An der Studie nahmen 12 gesunde Probanden im Alter von 23 bis 24 Jahren teil. Um die neuronalen Korrelate der ToM zu erfassen, wurden Bedingungen entwickelt, die die Attribution einer inneren Überzeugung erforderten. Als Stimulusmaterial dienten nonverbale, aus drei Bildern bestehende, Bildergeschichten entsprechend dem Sally-Anne-Szenario (Baron-Cohen et al., 1985). Den Probanden wurden dabei verschiedene Varianten eines Objekttransfers gezeigt, an dessen Ende einer der beiden Protagonisten eine Überzeugung über den Aufenthaltsort des Objekts besaß, die entweder kongruent (True Belief) oder inkongruent (False Belief) zu der tatsächlichen Lokalisation des Objektes war. Neuronale Aktivierungsmuster wurden exakt zu dem Zeitpunkt bestimmt, zu dem die Probanden dem Protagonisten einen True bzw. False Belief zuschrieben.

Durch den Vergleich der Aktivierungen der Bedingungen True bzw. False Belief untereinander, sowie gegenüber einer neutralen Baseline Bedingung, konnten die Gehirnareale ermittelt werden, die mit der Zuschreibung eines True bzw. False Beliefs in Verbindung stehen. Im Vergleich False Belief > True Belief, der den Entkopplungsprozess der Realität von einer inkongruenten Überzeugung abbildet, zeigte sich eine signifikante Mehraktivierung in der Temporoparietalen Junction und dem Präcuneus.

Diese Ergebnisse zeigen zunächst, dass auch Areale außerhalb des medialen präfrontalen Kortex für die ToM eine entscheidende Rolle spielen. Des Weiteren legen sie auch nahe, dass es vielleicht gar kein, wie von anderen Autoren postuliertes, „Theory of Mind Areal“ gibt, sondern dass möglicherweise ein komplexes Netzwerk, bestehend aus präfrontalen und frontalen Arealen, der bilateralen Temporoparietalen Junction und dem Präcuneus, diese Rolle erfüllt.

INHALT

1	EINFÜHRUNG.....	1
2	THEORETISCHER HINTERGRUND.....	3
2.1	Entwicklung der Theory of Mind.....	3
2.1.1	Methoden zur Erfassung der Theory of Mind.....	3
2.1.2	Ausbildung der ToM-Fähigkeit	6
2.1.3	Simulation-Theory & Theory-Theory.....	9
2.2	Neuronale Korrelate der Theory of Mind und der Belief Attribution.....	12
2.2.1	Zusammenfassung.....	24
2.3	Theory of Mind bei psychischen Störungen.....	27
3	ZIELE DER VORLIEGENDEN ARBEIT	32
4	METHODE	33
4.1	Probanden.....	33
4.2	Stimuli	33
4.3	Präsentation der Trials.....	33
4.4	True Belief (TB) und False Belief (FB) Bedingung.....	34
4.4.1	True Belief Bedingung.....	35
4.4.2	False Belief Bedingung.....	37
4.5	Ablauf eines Trials	39
4.6	Datenaufzeichnung.....	41
4.7	Versuchsablauf	41
4.8	Statistische Analyse.....	43
4.8.1	Analyse der Verhaltensdaten	43
4.8.2	Analyse der FMRT-Daten.....	43

5	ERGEBNISSE	46
5.1	Verhaltensdaten	46
5.1.1	Reaktionszeiten	46
5.1.2	Bearbeitungsgenauigkeit.....	47
5.2	FMRT-Daten	47
5.2.1	FB > TB	48
5.2.2	TB > Baseline	52
5.2.3	FB > Baseline.....	55
6	DISKUSSION	58
6.1	Verhaltensdaten	59
6.1.1	Bearbeitungsgeschwindigkeit	59
6.1.2	Bearbeitungsgenauigkeit.....	60
6.2	FMRT-Daten	61
6.2.1	Kontrast FB > TB.....	61
6.2.2	Kontrast TB > Baseline.....	77
6.2.3	Kontrast FB > Baseline	79
6.3	Zusammenfassung der Diskussion	80
6.4	Ausblick – Klinische Relevanz der Erforschung neuronaler Korrelate höherer kognitiver Mechanismen.....	82
7	LITERATUR	85
8	DANKSAGUNG	90
9	LEBENS LAUF	91
10	ERKLÄRUNG	92

1 EINFÜHRUNG

Die menschliche Fähigkeit sich in andere Personen hineinzusetzen, zu versuchen deren Gedanken und Gefühle zu verstehen, ist von großer Bedeutung für unsere soziale Interaktion und somit ein wichtiger Teil unseres alltäglichen Lebens. Aufgrund der enormen Komplexität und der zentralen Bedeutung für unser Verhalten sind diese Fähigkeit und die dazu notwendigen Mechanismen von großem Interesse für die Forschung geworden. Zunächst fand diese Forschung vor allem im Bereich der Entwicklungspsychologie, später dann auch in Bereichen der Sozialpsychologie, der Philosophie oder der Ethologie statt (Saxe, Carey & Kanwisher, 2004). Premack und Woodruff (1978) waren die Ersten, die für solche mentalen Vorgänge den Begriff der „Theory of mind“ gebrauchten. In ihrer Arbeit „Does the chimpanzee have a theory of mind?“ definierten sie den neuen Begriff Theory of Mind als die Fähigkeit sich selbst und anderen mentale Zustände zuzuschreiben (Premack & Woodruff, 1978). Diese mentalen Zustände oder Bereiche werden auch als „mental states“ bezeichnet (Fletcher et al., 1995). Man geht davon aus, dass diese mentalen Bereiche aus verschiedenen Komponenten bestehen. Ein bereits sehr früh entwickeltes System befasst sich mit Zielen, Vorstellungen und Emotionen, ein anderer, sich später entwickelnder Bereich, verarbeitet Überzeugungen (Beliefs; Saxe, Carey, und Kanwisher, 2004). Welche Bereiche und Komponenten zur Theory of Mind gehören, wird von verschiedenen Autoren unterschiedlich definiert. Einheitlich angenommen wird, dass die Theory of Mind, oder kurz ToM, sich mit den mentalen Bereichen unserer eigenen Wahrnehmung genauso wie mit den mentalen Bereichen anderer Personen befasst. Wann immer wir uns mit diesen Bereichen beschäftigen, üben wir einen Vorgang aus, der auch als „Mentalisieren“ bezeichnet wird (Frith, Morton und Leslie, 1991). Die Klärung der Frage, wie genau der Mensch mentalisiert, hat sich mittlerweile auch die Domäne der neurokognitiven Forschung auf die Fahnen geschrieben. Speziell die Fragestellung, welche neuronalen Korrelate der Fähigkeit des Mentalisierens zugrunde liegen stellt dabei ein zentrales Paradigma vieler funktionell bildgebender Arbeiten aus den letzten 20 Jahren dar. Die vorliegende Arbeit ist ebenfalls darauf ausgerichtet zu erforschen, welche Gehirnareale, welche neuronalen Strukturen, für diese komplexe menschliche Fähigkeit des Abrufens einer Theory of Mind verantwortlich sind. Nach einer Darstellung des theoretischen

Hintergrunds der ToM Forschung und der Herleitung der Ziele der vorliegenden Arbeit, erfolgt eine detaillierte Darstellung der verwendeten Methoden und der Ergebnisse der durchgeführten Studie. Abschließend werden die eigenen Ergebnisse dann diskutiert und in den Kontext der aktuellen Datenlage eingebunden. Neben der Suche nach den neuronalen Korrelaten der Theory of Mind erfolgt an einigen Punkten der Arbeit ein abweichender Blick auf klinisch psychiatrische Themen, die ebenfalls einige Berührungspunkte mit der Erforschung der Theory of Mind aufweisen.

2 THEORETISCHER HINTERGRUND

2.1 Entwicklung der Theory of Mind

2.1.1 Methoden zur Erfassung der Theory of Mind

Jegliche Arbeit mit der Theory of Mind (ToM) erfordert das Vorhandensein von Wegen, die ToM nachzuweisen und greifbar zu machen. Dabei standen Forscher aus verschiedenen Forschungsbereichen zunächst vor einem gemeinsamen Problem. Nachdem Premack und Woodruff (1978) die Arbeit mit der Theory of Mind begründet hatten, war es schließlich Dennet (1978), der vorschlug als Nachweis des Vorhandenseins einer ToM so genannte „False Belief Aufgaben“ zu verwenden. Von einem False Belief, also einer falschen Vorstellung oder Überzeugung, spricht man immer dann wenn die Überzeugung einer Person nicht mit der vorherrschenden Realität übereinstimmt. Sagen wir also das Verhalten eines Menschen voraus, indem wir seine falsche Überzeugung als Grundlage nehmen, so führen wir damit den grundlegenden Vorgang des Mentalisierens aus. Wir erkennen, dass die Person nicht entsprechend der Realität, sondern entsprechend seiner eigenen inneren Überzeugung handelt. Der Belief als mental state oder mentaler Bereich muss also von der beobachteten Person erkannt werden, die damit beweist, dass sie eine Theory of Mind besitzt. Eine wahre Überzeugung (also ein „True Belief“) wäre dafür nicht geeignet, da es in diesem Fall unmöglich wäre eindeutig zu entscheiden, ob die andere Person entsprechend der Realität oder ihrer dazu kongruenten Vorstellung handelt (Frith & Frith, 2003).

Im Zuge der ToM Forschung wurden viele verschiedene Ansätze, sogenannte Paradigmen, entwickelt um die Theory of Mind nachzuweisen. Eines der ersten Paradigmen stammt von Wimmer und Perner (1983). Das Konzept, das als „Maxi Paradigma“ bekannt wurde, liegt in seinen Grundzügen noch heute vielen modernen ToM Studien zugrunde. In der Geschichte, die den Versuchspersonen präsentiert wird, besitzt ein Kind namens Maxi eine Schokolade. Diese Schokolade legt Maxi in einen blauen Schrank und verlässt anschließend das Zimmer, in dem der Schrank steht. Nun kommt die Mutter von Maxi in den Raum, nimmt die Schokolade aus dem blauen Schrank und legt sie stattdessen in einen grünen Schrank. Maxi sieht von alledem nichts, da er währenddessen draußen spielt. Nach einer Weile kommt Maxi zurück und sucht seine

Schokolade. An dieser Stelle werden die Probanden aufgefordert die Überzeugung (Beliefs) von Maxi einzuschätzen („Where does Maxi think the chocolate is?“), dessen Handlung vorherzusagen („Where will Maxi look for he chocolate?“) und in manchen Fällen auch die abgeschlossene Handlung zu beurteilen („Why did Maxi look for the chocolate in the green cupboard?“; Saxe et al., 2004). Nur wenn der Proband Maxis Belief über den Aufenthaltsort der Schokolade begreift und ihn losgekoppelt von der Realität betrachtet, kann er die Fragen richtig beantworten. Somit dient dieses einfache Szenario einer False Belief Aufgabe als Nachweis von ToM Fähigkeiten, speziell der Belief Attribution. Mit zwei Kontrollfragen wurde sichergestellt, dass die Kinder mit denen die Studie durchgeführt wurde, den Ablauf verstanden hatten. Die Kinder wurden dabei gefragt, wo sich die Schokolade in der Geschichte tatsächlich befand und ob sie sich erinnerten, wohin Maxi die Schokolade ursprünglich gelegt hatte.

In den folgenden Jahren wurden viele ähnliche Paradigmen in Anlehnung an das Maxi-Paradigma entwickelt. Ein wichtiges Beispiel dafür ist das „Sally-Anne Paradigma“ (Baron-Cohen, Leslie und Frith, 1985). In einer der ersten Studien zur Theory of Mind („Does the authistic child have a theory of mind?“) versuchten die Autoren ein ToM Defizit bei Kindern nachzuweisen, die an Autismus litten. Der Zusammenhang zwischen Autismus (und anderen psychiatrischen Erkrankungen) wird in Kapitel 2.4 ausführlicher behandelt. Um das Vorhandensein einer Theory of Mind bei autistischen Kindern nachzuweisen, mussten diese Kinder Fragen zu einem Szenario zweier Puppen beantworten. Zuerst wurden den Kindern diese beiden Puppen als Sally und Anne vorgestellt. Im Anschluss wurde den Kindern gezeigt, wie Sally zunächst eine Murmel in ihren Korb legt. Sally verlässt anschließend die Szene und die Murmel wird von Anne aus Sallys Korb in ihre eigene Box gelegt. Als Sally nun zurückkehrt, wird der Proband gefragt: „Wo wird Sally nach der Murmel suchen?“ (Belief Frage). Erkennen die Versuchspersonen Sallys Überzeugung als False Belief, werden sie auf den ursprünglichen Aufenthaltsort der Murmel, den Korb, zeigen. Kinder die auf den aktuellen Ort (die Box) zeigen, sind nicht in der Lage den Belief und die Realität zu unterscheiden. Als Kontrollfragen für das Experiment wurden folgende beiden Fragen gestellt: „Wo befindet sich die Murmel tatsächlich?“ (Realitätsfrage) und „Wo befand sich die Murmel zu Beginn?“ (Gedächtnisfrage). Die Kinder, die an Autismus litten, beantworteten die Fragen mit ToM Inhalt signifikant schlechter als die Kontrollgruppe,

während sie bei den Kontrollfragen gleichwertig antworteten. In Kapitel 2.4 wird detaillierter auf diese Studie und deren Ergebnisse eingegangen, an dieser Stelle ist primär die Struktur des verwendeten Paradigmas von Interesse. Diese Struktur des Sally-Anne-Paradigmas liegt nämlich nach wie vor vielen modernen Studien zugrunde. Die vorliegende Arbeit verwendet ebenfalls eine Abwandlung dieses Paradigmas. Eine Weiterentwicklung der beschriebenen Paradigmen ist die „second-order task“, die von Perner und Wimmer im Jahr 1985 entworfen wurde. Hierbei handelt es sich um ein Szenario in dem die Versuchsperson in der Lage sein muss eine Belief Attribution durchzuführen, die sich wiederum auf den Belief einer anderen Person bezieht.

Ein entscheidender Schritt in der Weiterentwicklung der Paradigmen der Theory of Mind Forschung bestand darin die Paradigmen so zu gestalten, dass sie als Stimuli in den Arbeiten der neurokognitiven Forschung verwendet werden konnten. Ein Beispiel für ein Paradigma, das sich gut zur Verwendung in bildgebenden Studien eignet, ist die „Einbrechergeschichte“ von Happé (1994; Frith & Frith, 2003). Ein Einbrecher hat dabei ein Geschäft ausgeräumt und begibt sich auf die Flucht. Ein Polizist, an dem der Einbrecher vorbeigeht, bemerkt, wie der Einbrecher einen Handschuh verliert. Ohne zu wissen, dass es sich um einen Einbrecher handelt, ruft der Polizist ihm hinterher „Halt – Stehenbleiben!“ um ihn auf den Verlust des Handschuhs aufmerksam zu machen. Der Einbrecher dreht sich herum, sieht den Polizisten und ergibt sich und gesteht prompt den Einbruch. An dieser Stelle der Geschichte werden die Probanden aufgefordert, das Verhalten des Einbrechers zu erklären. Das Lesen und Verstehen solcher Geschichten löst jedoch neben dem Vorgang des Mentalisierens auch andere Prozesse aus. Deshalb müssen für Paradigmen auch immer Kontrollgeschichten entwickelt werden, die dem Schwierigkeitsgrad der Belief Frage entsprechen (Frith & Frith, 2003).

Die aufgeführten Beispiele für Paradigmen zeigen, welche Methoden der Forschung unter anderem zur Verfügung stehen um die verantwortlichen Strukturen und deren Mechanismen zu entschlüsseln, die der Theory of Mind zu Grund liegen. Zentraler Inhalt eines Paradigmas ist dabei häufig die False Belief Attribution. Das Ziel eines möglichst präzisen Paradigmas sollte es also sein, konkret den Vorgang der Belief Attribution abzurufen und dabei möglichst wenig andere Vorgänge anzustoßen.

2.1.2 Ausbildung der ToM-Fähigkeit

Um das Konzept der ToM zu verstehen, ist es wichtig zu erforschen, wann und wie sich die Fähigkeiten entwickeln, die es ermöglichen den Vorgang des Mentalisierens voll auszuführen. Sehr viele Studien aus den Bereichen der Entwicklungspsychologie, Sozialpsychologie und Philosophie haben sich in den letzten 25 Jahren mit diesem Thema befasst und verschiedenste Ergebnisse veröffentlicht (Saxe et al., 2004). Im Folgenden sollen einige der zentralen Erkenntnisse aus ausgewählten Studien genannt werden, die die wichtigsten Entwicklungsschritte auf dem Weg zu einer voll ausgebildeten Theory of Mind beschreiben. In älteren Arbeiten sind Datierungen für die Ausbildung von Theory of Mind Fähigkeiten oft noch sehr unpräzise. Baron-Cohen, Leslie, und Frith (1985) geben lediglich an, dass es zunehmende Beweise dafür gibt, dass die Fähigkeit mentale Bereiche zu zuschreiben sich vom zweiten Lebensjahr an entwickelt. In den nächsten beiden Jahrzehnten wurden zunehmend präzisere Eckdaten formuliert und verschiedene Theorien postuliert, welche Mechanismen an diesen Entwicklungspunkten neu auftreten bzw. weiter entwickelt werden.

Frith und Frith (2003) fanden, dass erste Anzeichen für das Verstehen von mentalen Bereichen etwa im Alter von 18 Monaten beobachtet werden können. Ab diesem Alter sind Kinder in der Lage zu unterscheiden, ob eine Person etwas zu ihnen sagt, um ihnen etwas beizubringen oder ob die Person unabhängig von solch einer Intention spricht. Dieses Erkennen der Intention einer handelnden Person ist ein sicherlich entscheidender Schritt in der Ausbildung der rudimentären ToM Fähigkeiten (Frith & Frith, 2003). Zwar zeigen Kleinkinder bereits im Alter von 12 Monaten Fähigkeiten, die auch als Grundlage für das spätere Mentalisieren gesehen werden könnten, sie sind aber noch nicht in der Lage Wünsche oder Absichten zu attribuieren (Frith & Frith, 2003). Neben dem rapide voranschreitenden Verstehen der Sprache findet in diesem Altersabschnitt eine weitere entscheidende Entwicklung statt. Kinder fangen an in Fantasiewelten zu spielen. Diese Fähigkeit des „pretend play“ sieht Leslie (1987) als eine zweifellose Manifestation der Fähigkeit zu Mentalisieren. Ein möglicher kognitiver Mechanismus, der diesen Vorgängen zugrunde liegt, wird von Leslie als „decoupling“ bezeichnet. Dabei handelt es sich um eine Fähigkeit die Realität und bestimmte Vorstellungen getrennt voneinander betrachten zu können (Leslie 1987). Ähnliche Eckdaten für die ToM Entwicklung geben auch Sodian, Hülken und Thörmer in einer Arbeit aus dem Jahr 2003 an. Ähnlich wie

Frith und Frith sehen auch sie das Alter von 18 Monaten als Punkt entscheidender und wichtiger Entwicklungsschritte hin zur Ausbildung einer voll funktionierenden ToM. In diesem Alter fangen Kinder an so genannte „agents“ also handelnde Personen zu verstehen, indem sie grundlegende Absichten erkennen (Sodian, Hülsken und Thörmer, 2003). Andere Autoren sehen bereits in jüngerem Alter entscheidende neue Fähigkeiten ausgebildet. Eine Festlegung über das genaue Alter, in dem Kleinkinder anfangen Wahrnehmungen zu zuschreiben fällt dabei jedoch schwer. Saxe et al. machen deutlich, dass es eine Frage der Interpretation ist, ob Kinder bereits einer Person eine Wahrnehmung zuschreiben, wenn sie ihrem Blick folgen. Diese Fähigkeit ist bereits im Alter von drei Monaten rudimentär ausgebildet, zu einem Erkennen dieser Wahrnehmung als mentaler Bereich fehlt es zu diesem Zeitpunkt jedoch noch deutlich. Emotionen werden bereits von Neugeborenen wahrgenommen, doch wie bei den Wahrnehmungen ist es auch bei den Emotionen ein weiter Weg bis zu ihrer Attribution als mental state. Mit 14 Monaten sind Kinder in der Lage eine Verbindung zwischen dem Blick einer Person und dessen Emotionen zu erkennen (Saxe et al., 2004). Zwischen 18 und 24 Monaten kommt es dann zu einer wegweisenden Entwicklung in deren Zuge Kinder unter anderem lernen übereinstimmende Absichten zu erkennen.

In Zusammenschau der Arbeiten lässt sich also annehmen, dass die ersten wegweisenden Entwicklungsschritte eines Kindes für das Erlangen einer voll funktionierenden Theory of Mind im Alter zwischen 14 und 24 Monaten stattfinden. Im Alter von etwa zwei Jahren besitzen Kinder dann bereits die explizite Fähigkeit Wünsche zu zuschreiben. Die Fähigkeit Beliefs zu zuschreiben stellt dagegen für diese Kinder noch ein großes Problem dar (Sodian et al., 2003). Sicher ist, dass Kinder im Alter von zwei bis drei Jahren schon regelmäßig Begriffe verwenden, die als Indikatoren für das bereits vorhandene Bewusstsein mentaler Bereiche gesehen werden können. Beispiele solcher Begriffe sind die Verben „wollen, wünschen und so tun als ob“ (Frith & Frith, 2003). Etwa um das vierte Lebensjahr herum fangen Kinder dann an falsche Überzeugungen von der Realität unterscheiden zu können. Damit verstehen sie dann zunehmend, dass es diese Beliefs und nicht reelle Umstände sind, die Handlungen zugrunde liegen (Sodian et al., 2003). Es wird mittlerweile fest davon ausgegangen, dass Kinder im Altersbereich zwischen drei und vier Jahren zum ersten Mal beginnen Beliefs zu verwenden, um Handlungen zu erklären. Als Beleg dafür wird angeführt, dass Kinder in diesem Alter in

der Lage sind, False Belief Aufgaben wie das „Maxi Paradigma“ von Wimmer und Perner (1983) korrekt zu lösen, während jüngere Kinder an dieser Aufgabe weitgehend scheitern (Saxe et al., 2004). Auch Saxe (2006) liefert Belege dafür, dass das Alter zwischen drei und fünf Jahren als zentrale Phase der Entwicklung hin zu einer voll funktionierenden Theory of Mind zu sehen ist. Anhand verschiedener entwicklungspsychologischer Untersuchung erläutert Saxe, dass Dreijährige in bestimmten Bereichen der ToM fast genauso gut abschneiden wie Fünfjährige, bei der Attribution von Beliefs aber deutlich schlechtere Ergebnisse erzielen. Diese Fähigkeit über Beliefs nachzudenken entwickelt sich später als eine frühere Theory of Mind, die die Attribution von Wünschen, Vorstellungen und Emotionen beinhaltet (Saxe, 2006). Entscheidend für die Ausbildung der Theory of Mind ist also diese unterschiedliche Entwicklung des geschilderten Belief Konzepts und der wesentlich früheren Entwicklung der anderen mentalen Bereiche inklusive Wünschen, Vorstellungen und Emotionen (Saxe et al., 2004).

Im Alter zwischen fünf und sechs Jahren ist die Entwicklung des Mentalisierens laut Frith und Frith abgeschlossen, auch wenn die Fähigkeit durch zunehmende Erfahrung noch verfeinert wird (Frith & Frith, 2003). Beispielsweise können in diesem Zeitraum dann Aufgaben die ein second order FB Verständnis erfordern gelöst werden. Auch das Verstehen von Ironie stellt eine solche weiterentwickelte Fähigkeit dar.

Die oben aufgeführte Auswahl an Studien gibt einen groben Überblick darüber, in welchen Altersbereichen entscheidende Schritte auf dem Weg zur vollständigen Ausbildung der ToM Fähigkeiten stattfinden sollen. Bei der mittlerweile enorm großen Zahl an Studien zu den entsprechenden Fragestellungen ist es äußerst schwierig, einen Überblick zu erlangen und somit ein kompaktes Fazit abgeben zu können. An dieser Stelle soll daher eine Meta-Analyse aus dem Jahr 2001 besprochen werden. Wellmann, Cross und Watson wollten mit dieser Arbeit den eben erwähnten Überblick herstellen. Insgesamt wurden für diese Meta-Analyse 143 Studien ausgewertet, die insgesamt 591 Bedingungen beinhalteten. Für die an dieser Stelle relevante Fragestellung nach der Abhängigkeit der FB-Performance vom Alter wurden lediglich 479 (aus 128 Studien) der 591 Bedingungen ausgewertet.

Mit 30 Monaten (dem geringsten getesteten Alter) scheitern noch etwa 80% der Kinder an einer FB-Aufgabe. Im Alter von 44 Monaten liegt der durchschnittliche Wert korrekt

bearbeiteter Aufgaben dann bei 50 %. Ab diesem Zeitpunkt steigert sich die Leistung dann stetig. Bereits mit 56 Monaten liegt das Ergebnis bei 74,6 %. Die Autoren fassen zusammen, dass Kinder jünger als 41 Monate unterhalb der Ratewahrscheinlichkeit abschneiden. Ab dem Alter von 4 Jahren bearbeiten die Kinder die Aufgaben dann signifikant korrekt und somit oberhalb der Ratewahrscheinlichkeit (Wellmann, Cross und Watson, 2001).

Wie in den zuvor beschriebenen Studien bereits teilweise postuliert, scheint also das Alter um das vierte Lebensjahr der Zeitraum des entscheidenden Entwicklungsschritts hin zu einer voll funktionierenden Theory of Mind zu sein.

2.1.3 Simulation-Theory & Theory-Theory

Neben der Frage des Zeitraumes, in dem sich die Fähigkeit zu Mentalisieren voll ausbildet, bzw. an welchen Entwicklungsschritten sich dies erkennen lässt, wird auch die Frage heiß diskutiert, wie genau diese Entwicklung funktioniert bzw. welche kognitiven Veränderungen dabei zu Grund liegen. Im Verlauf haben sich dabei zwei Konzepte herauskristallisiert, die sich zwar deutlich unterscheiden, aber beide einen wichtigen Teil dazu beitragen das Wesen der Theory of Mind zu verstehen. Beide Konzepte werden im Folgenden erläutert, ihre Entwicklung geschildert, so wie Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufgezeigt. Die Debatte zwischen den Anhängern der Simulation-Theory (ST) und den Anhängern der Theory-Theory (TT) liefert dabei den vorherrschenden Rahmen für die Erforschung der Theory of Mind (Apperly, 2008).

Die Anhänger der Theory-Theory postulieren, dass Personen bestimmte Konzepte von verschiedenen mentalen Bereichen und Vorstellungen über deren Interaktionen sowie deren Beziehungen zu bestimmten Handlungen besitzen. Diese Theorie über die mentalen Bereiche wird dann verwendet, um die Gedanken anderer Personen zu rekonstruieren. Außerdem werden mit dieser Theorie bzw. diesem Konzept in der Folge Voraussagen, Erklärungen und Beschreibungen von Handlungsabläufen ermöglicht (Gopnik & Wellmann, 1992). Die Fähigkeit Vorstellungen oder Beliefs wahrzunehmen könnte sich dabei jedoch von den Mechanismen unterscheiden selbst diesen Belief zu haben (Saxe & Wexler, 2005). Die verschiedenen Ansätze, aus denen die oben genannten Konzepte entstehen könnten, werden kontrovers diskutiert. Die entscheidende Gemeinsamkeit fast Apperly (2008) wie folgt zusammen: Die Gemeinsamkeit all dieser Ansätze liegt in der

Annahme, dass die Konzepte und Prinzipien eine kausale „Theorie“ erzeugen, welche erklärt wie die mentalen Bereiche handelnder Personen interagieren, um Verhalten zu erzeugen. Diese Theorie, in Kombination mit entsprechenden Ausgangsinformationen über die handelnde Person, ist das Mittel, das wir verwenden, um Erklärungen und Voraussagen zu formulieren, die sich mit mentalen Bereichen und Verhaltensformen befassen (Apperly, 2008).

Neben den Erklärungsmodellen der Theory-Theory wurde bald nach alternativen Erklärungsmöglichkeiten gesucht, aus denen sich die sogenannte Simulation-Theory entwickelte. Die Simulation-Theory behauptet, dass ein Beobachter sich mit fremden Gedanken beschäftigt, indem er sich selbst an die Stelle des Beobachteten setzt und dann passiv die mentalen Zustände abliest, die in seinem eigenen Gehirn im Bezug auf den Kontext entstehen (Saxe & Wexler, 2005). So brauchen die Menschen keine ausgebildeten Konzepte über mentale Zustände und Bereiche um Handlungen vorherzusagen oder zu erklären. Stattdessen benutzt der Beobachter seine eigenen Gedanken als ein Modell für die Gedanken anderer (Harris, 1992). Die Simulation Theory ist besonders in den Fokus gerückt, nachdem das System der so genannten „Spiegelneurone“ entdeckt wurde (Saxe & Wexler, 2005). Bei diesen Spiegelneuronen handelt es sich um Neurone im parietalen sowie im prämotorischen Kortex, die aktiviert werden, wenn man selbst eine Handlung durchführt, aber eben auch aktiviert werden, wenn man eine ausgeführte Handlung beobachtet (Grèzes, Frith und Passingham, 2004). Einige Autoren argumentieren, dass aus dieser Handlungsbeobachtung unmittelbar eine Handlungs-Simulation entsteht, was wiederum als Grundlage für das Verstehen von Handlung dient, wie es die ST postuliert.

Der fortwährende Disput zwischen den Anhängern beider Lager, also der Theory-Theory und der Simulation-Theory, brachte entscheidende Vorgaben für die Erforschung beider Konzepte mit sich. So musste der eigene Ansatz nicht nur in Bezug auf Ursprung, Entwicklung und neuronale Korrelate erforscht werden, sondern die entsprechenden Funde auch gegen das Konkurrenzkonzept verteidigt werden. Die grundlegende Frage blieb jedoch für beide Seiten gleich: können, wann immer wir uns ein Urteil über eine andere Person erlauben, Mittel gefunden werden die klar belegen, dass das Urteil auf Prozessen der Simulation oder der Theory beruht? (Apperly, 2008). Zur Erforschung der theoretischen Annahmen zur ToM wurden vielerlei Studien aus dem Bereich der

Verhaltens- und Entwicklungsforschung herangezogen. Da diese aber keine eindeutige Entscheidung zwischen ST und TT erlaubten, forderten Stich und Nichols (1997) die Fragestellung mithilfe bildgebender Verfahren zu erforschen.

Für beide Ansätze wurden im weiteren Verlauf entsprechende Studien entwickelt die Belege für die jeweiligen Behauptungen finden sollten. Während die entsprechenden Erkenntnisse wichtige Informationen über die ToM per se hervorbrachten, war keines der beiden Lager in der Lage entscheidende Beweise für seine Annahmen zu liefern. Als Reaktion auf diese Entwicklung forderten manche Autoren (z. B. Apperly, 2008) sich von der Frage nach Simulation oder Theory zu lösen und nach einem eventuellen gemeinsamen Erklärungsmodell zu suchen. Ihre Zweifel an der Richtigkeit eines einzelnen Erklärungsansatzes bekräftigten diese Autoren immer wieder anhand von Beispielen die in ihren Augen Belege, für die ST als auch die TT waren. Wenn wir beispielsweise darüber nachdenken, wie eine andere Person die Grammatik eines Satzes beurteilen könnte, dann verwenden wir unsere eigenen grammatischen Fähigkeiten um die Beurteilung zu simulieren (Harris 1989). Hierbei wird also eine eindeutige Simulation durchgeführt, um den mentalen Bereich einer anderen Person verstehen zu können. Ein gutes Beispiel für eine Arbeit, die die Annahmen der ST zu widerlegen scheint, ist eine Studie von Perner und Howes (1992). Das verwendete Paradigma hat gewisse Ähnlichkeit mit dem Maxi-Paradigma, wurde aber so modifiziert, dass es neben der Fähigkeit zur FB-Attribution auch Vorgänge des Simulierens oder Selbstreflektierens abrufte. Kindern im Alter zwischen vier und zehn Jahren wurde eine von Puppen dargestellte Geschichte gezeigt, in der ein Junge und ein Mädchen mit einer Schokolade nach Hause kommen. Da das Mädchen gehen muss, verspricht der Junge ihr die Schokolade in die obere oder die untere Schublade im Raum zu legen. Nachdem die Schokolade platziert wurde, verlässt auch das zweite Kind den Raum und die Mutter der Kinder betritt den Raum, um den Aufenthaltsort der Schokolade zu verändern. Im Anschluss werden die Probanden gefragt, wo der Junge die Schokolade vermutet (Belief Attribution), ob der Junge sagt, dass er wisse, wo die Schokolade ist (Selbst-Reflexion) und was das Mädchen sagen würde, wenn man sie fragt, ob der Junge wisse, wo die Schokolade ist. Bei der Auswertung der Ergebnisse zeigte sich, dass die Kinder wesentlich größere Schwierigkeiten bei der Beantwortung der Reflexions-Aufgabe hatten als mit der Bearbeitung der Belief-Aufgabe. Dies wiederum macht deutlich dass für die

Belief Attribution andere Mechanismen zuständig sein könnten als nur Simulationsvorgänge (Perner & Howes, 1992). In Erkenntnissen wie dieser sehen einige Autoren einen deutlichen Hinweis darauf, dass in manchen Bereichen der ToM Prozesse eine feste Theorie darüber verwendet wird, wie Gedanken anderer ablaufen und funktionieren sollten (Nichols & Stich, 2003; Saxe 2005).

Zusammenfassend kann man sagen, dass auch mit dem Einsatz modernster Technik wie fMRT Studien, keine eindeutige Festlegung gelungen ist, auf welche Weise wir Menschen die Fähigkeit unserer Theory of Mind entwickeln. Neben der Simulation-Theory und der Theory-Theory hat sich demnach eine weitere Meinung entwickelt. Betrachtet man beide ursprünglichen Ansätze, gibt es für beide Seiten überzeugende Argumente, jedoch mangelt es in beiden Fällen an endgültigen Beweisen. Der Schluss, dass eine Kombination aus beiden Ansätzen näher an die Wahrheit führt, liegt nahe. Apperly (2008) nennt dieses neue Konzept einen „Hybrid ST/TT Ansatz“ und sieht in ihm das im Augenblick überzeugendste Erklärungsmodell unserer Entwicklung einer funktionierenden Theory of Mind (Apperly, 2008).

2.2 Neuronale Korrelate der Theory of Mind und der Belief Attribution

Wie die Entwicklung der ToM Paradigmen in einem der vorherigen Kapitel zeigt, war die Erforschung der menschlichen Theory of Mind zunächst eine Domäne der Entwicklungspsychologie. Zunehmend wurde sie dann aber auch Thema anderer Gebiete wie der Sozialpsychologie, der Philosophie und der Ethik. Ein gänzlicher neuer Ansatz bei der Erforschung des Mentalisierens begann durch die Verwendung funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT; Saxe et al., 2004). Durch die Erhebung so genannter „blood oxygenation level dependent (BOLD) – Signale“ gelingt es den Forschern dabei Gehirnareale zu identifizieren, die bei bestimmten Aufgaben eine verstärkte Aktivierung erfahren. Die Arbeit mit fMRT-Geräten erlaubt es, der Forschung die neuronalen Korrelate der ToM zu erforschen. Ein alternative Form der Bildgebung stellen die PET-Scans (Positronen Emissions Tomografie) dar. Das Wissen um die Lokalisation der einzelnen Areale sowie deren Interaktion ergänzt zum einen die Arbeiten und Thesen der Entwicklungspsychologen, zum anderen gibt dieser Forschungsbereich auch wichtige Erkenntnisse für die Forschung in Bereichen der Neurologie und Psychiatrie.

Auch wenn viele Arbeiten eine ähnliche Grundstruktur aufweisen, gibt es doch eine Unmenge an verschiedenen Variationen, was Stimuli, bildgebende Verfahren und theoretische Ansätze der einzelnen Studien angeht. Durch die unterschiedlichen Stimuli und Versuchsanordnungen ergaben die entsprechenden Studien oft sehr verschiedene Ergebnisse, aus denen verschiedenste, oft widersprüchliche Thesen formuliert wurden. Der folgende Teil dieser Arbeit fasst einige fMRT Studien und Metaanalysen zusammen, um einen chronologischen Überblick über verschiedene Ergebnisse der bildgebenden ToM Forschung zu geben und verschieden Herangehensweisen an das Thema aufzuzeigen.

Im Folgenden soll eine Auswahl an verschiedenen Studien vorgestellt werden, angefangen mit einer Arbeit von Sommer et al. (2006) Diese Arbeit aus dem Jahr 2006 galt als Vorgabe und Orientierungspunkt für die vorliegende Arbeit. Ein ausführlicher Abgleich der beiden Arbeiten erfolgt dann im Diskussionsteil dieser Arbeit. Im Anschluss an die Vorstellung dieser Arbeit sollen in chronologischer Abfolge Arbeiten vorgestellt werden, die einen Überblick über den Verlauf und die Entwicklung der bildgebenden ToM Forschung geben. Neben verschiedenen Paradigmen und Methoden werden dabei vor allem auch die entscheidenden Ergebnisse aufgeführt, die zum Teil bei der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit eine zentrale Rolle spielen.

Sommer et al. (2006) führten eine Studie durch, deren Ziel es war die neuronalen Korrelate der Belief Attribution, speziell der Vorgänge bei der Bearbeitung von False Belief Aufgaben zu erforschen. Entscheidend dabei war der Vergleich der FB-Bedingung gegen die TB-Bedingung, denn anders als in der TB-Bedingung erfordert das Bearbeiten der FB-Aufgabe ein „decoupling“ von mentalem Zustand und Realität.

Für die Studie wurden 16 Probanden in einem 1,5-Tesla-MRT Gerät gemessen. Als Stimuli dienten nonverbale Bildergeschichten angelehnt an das „Sally Anne Scenario“ von Baron-Cohen et al. (1985). Jeder Trial bestand aus 7 Bildern. In Bild 1 sahen die Versuchsperson zwei Kinder (ein Junge und ein Mädchen) in einem Raum, in dem sich zwei Behältnisse und ein Objekt befanden. Im folgenden Bild legte das Mädchen das Objekt in eines der beiden Behältnisse und verließ im darauf folgenden Bild (Bild 3) den Raum. Bild 4 zeigte, wie der Junge das Objekt aus dem Behältnis nimmt. Diese vier Bilder waren sowohl für die TB als auch FB Bedingung gleich. In den Bildern 5 und 6

unterschieden sich dann die beiden Bedingungen voneinander. In der TB-Bedingung betrat das Mädchen zuerst den Raum und beobachtete dann, wie der Junge das Objekt in das andere Behältnis legte. In der FB-Bedingung betrat das Mädchen erst den Raum, als der Aufenthaltsort durch den Jungen bereits verändert worden war. In beiden Fällen folgte ein mit rotem Rand markiertes Bild 7, das so genannte „response picture“. In diesem Bild sah der Proband wie das Mädchen das Objekt in einem der Behältnisse suchte und musste dann entscheiden, ob dieses Verhalten im Bezug auf den Kontext „erwartet“ oder „unerwartet“ war. Insgesamt wurden 40 TB und 40 FB Trials präsentiert.

Von zentraler Bedeutung war der Kontrast False Belief > True Belief. Dieser Kontrast bildet diejenigen Areale ab, die bei der FB-Aufgabe mehr aktiviert werden als bei der TB-Bedingung. Für den Kontrast FB > TB gab es für mehrere Areale eine signifikante Mehraktivierung. Die wichtigsten Ergebnisse waren die Mehraktivierung im dorsalen anterioren cingulären Cortex (dACC BA 32), dem mittleren Gyrus frontalis re (BA 6), dem dorsolateralen präfrontalen Cortex re (BA 9) und dem lateralen rostralen präfrontalen Cortex re (BA 10). Auch die temporo-parietale Junction re (39), der mittlere Gyrus temporalis re (BA 21) und der inferiore Gyrus parietalis re (BA 7) wurden vermehrt aktiviert. Ein Areal, das ebenfalls stärker aktiviert wurde, war der Präcuneus (BA 7).

Von der Interpretation dieser Ergebnisse, die die Autoren in ihrer Arbeit vorstellen, soll an dieser Stelle ein Auszug wiedergegeben werden. Für die Mehraktivierung des dorsalen anterioren cingulären Cortex (dACC) im FB > TB Kontrast geben die Autoren einen möglichen Zusammenhang zwischen dem im dACC stattfindenden action monitoring und dem Entkopplungsprozess zwischen Realität und Belief des Kindes an. Neben dem Vorgang des action monitorings scheint auch die stimulusunabhängige Verarbeitung der mentalen Repräsentation des Kindes zu einer Mehraktivierung zu führen. Die Aktivierung des rechten lateralen präfrontalen Cortex steht in engem Zusammenhang zur Aktivierung des dACC. Dort kommt es laut Sommer zu einer Mehraktivierung, wenn ein Wechsel des Fokusses des Probanden zwischen Realität und einer realitätsunabhängigen Repräsentation des Beliefs stattfindet. Eine entscheidende Erkenntnis der Studie betrifft die Rolle der rechten TPJ. Entgegen der gängigen Meinung wird diese anhand der Ergebnisse dieser Studie nicht generell bei Belief Bedingungen, sondern bei der Präsentation mentaler Zustände, die einen Perspektivwechsel beinhalten, aktiviert. Vor allem die Rolle der rTPJ beim Vorgang des decouplings wird in den Augen

der Autoren dadurch unterstrichen. Sowohl im Vergleich FB > TB als auch in der Conjunction Analyse erfuhr der Präcuneus eine Mehraktivierung. In dieser Aktivierung sehen Sommer et al. eine mögliche Funktion des Präcuneus für das Mentalisieren für beide Belief Bedingungen.

Nach der ausführlichen Vorstellung dieser Studie folgt nun eine kompaktere chronologische Darstellung anderer Studien die sich im weiteren Sinne mit dem Thema neuronale Korrelate der Theory of Mind und der Belief Attribution beschäftigten.

Ein Beispiel für eine sehr frühe bildgebende Tom Studie ist die Arbeit von Fletcher et al. aus dem Jahr 1995. Interessant ist diese Arbeit auch deswegen, weil sie, anders als die anderen vorgestellten Arbeiten, mit Positronen Emissions Tomografie (PET) als Mittel der Bildgebung arbeitete. Sie untersuchten sechs rechtshändige Probanden im Alter zwischen 24 und 65 Jahren. Das Stimulusmaterial setzte sich aus drei verschiedenen Serien zusammen. Zum einen gab es eine Reihe von „Theory of Mind Stories“. Diese entsprachen den von Happé (1994) verwendeten Geschichten, welche laut den Autoren am besten geeignet seien, um als Stimulus für funktionelle Bildgebung zu dienen.

Als Kontrollmaterialien dienten „physical stories“ und „unlinked sentences“. Die „physical stories“ erzählen kurze Geschichten, die in Aufbau und Inhalt ähnlich den ToM Geschichten waren. Hierbei wurden jedoch keine ToM Inhalte sondern logische Vorgänge abgefragt. Die zweite Kontrollgruppe, die nicht zusammenhängenden Sätze, bestand lediglich aus kurzen aufeinanderfolgenden Hauptsätzen, die in keinerlei inhaltlichem Zusammenhang standen. Auch hierzu wurden dem Probanden Fragen gestellt, die sich inhaltlich auf einen der Sätze bezogen. Durch die Vergleiche der Aktivierungsmuster beim Bearbeiten der verschiedenen Stimuli-Serien im PET-Scan wollten die Autoren dann unter anderem herausfinden, welche Areale speziell bei den ToM-Geschichten vermehrt aktiviert wurden.

Beim Vergleich von ToM-Geschichten und Satzreihen wurden vier Areale signifikant mehr aktiviert. Neben den beiden Temporalpolen waren dies der linke superiore Gyrus temporalis, der posteriore cinguläre Cortex und der linke mediale Gyrus frontalis. Im Vergleich der „physical stories“ und der Satzreihen wurden die ersten drei der vier aktivierten Areale beim vorangegangenen Kontrast ebenfalls aktiviert. Der linke mediale Gyrus frontalis wurde bei den Geschichten ohne ToM-Inhalte jedoch nicht zusätzlich aktiviert. Der beobachtete Unterschied konnte dann auch im Kontrast „ToM vs physical

stories“ gezeigt werden. Neben dem linken Anteil des medialen Gyrus frontalis (Brodmann Areal 8, erstreckt sich bis in BA 9) wurden zusätzlich der posteriore Teil des cingulären Cortex und der inferiore Parietallappen der rechten Seite vermehrt aktiviert.

Die Autoren griffen die gefundenen Mehraktivierungen auf und diskutierten mögliche Grundlagen für diese Aktivierungsmuster. Drei Areale wurden in den beiden Aufgaben aktiviert, die sich mit Geschichten befassten (also sowohl ToM Geschichten als auch physical stories). Dies waren die bil. Temporalpole, der linke superiore Gyrus temporalis und das posteriore Cingulum. Die Aktivierung im medialen Gyrus frontalis li (BA 8) erfolgte jedoch ausschließlich bei Bearbeitung der ToM Geschichten. Dieses Areal sehen die Autoren somit als ein möglicherweise spezifisches ToM Areal. Auch andere Autoren, die sich in diesem Zeitraum mit möglichen ToM Arealen beschäftigten (Mazoyer et al., 1993; Baron-Cohen et al., 1994) machen laut der Autoren ähnliche Angaben (Fletcher et al., 1995).

Interessant ist, im Zusammenhang mit der Entwicklung der ToM Forschung der letzten 20 Jahre, mit wie wenig vergleichbaren Studien sich Fletcher und Kollegen (1995) messen konnten. Insofern waren die Erkenntnisse ihrer Arbeit durchaus wegweisend. Gerade die Identifizierung des medialen Gyrus frontalis als ein mögliches ToM Areal kommt dabei eine wichtige Rolle zu. Wie in den anderen vorgestellten Arbeiten zu sehen sein wird, taucht dieses Areal (BA 8) und umgebende Strukturen bis Heute immer wieder in den Ergebnissen und Diskussionen vieler Arbeiten auf.

In den nächsten Jahren wurden die Fragestellungen und die Beschreibungen möglicher ToM Areale immer präziser. Als Beispiel für die Weiterentwicklung und für aktuelle Ergebnisse aus diesem Zeitraum dient eine Arbeit von Gallagher et al. (2000).

Die Autoren veröffentlichten dabei eine fMRT Studie zur Theory of Mind die sich zwei verschiedener Arten von Stimulusmaterial bediente. Zum einen wurde eine „story task“ verwendet. Zum anderen wurde die ToM Fähigkeit auch mit einer „Cartoon task“ abgefragt. Der Vergleich zwischen verbalem und visuellem Stimulus sollte zusätzlich zu den allgemeinen ToM-Arealen auch klären, ob es in den verbalen und visuellen Hirndomänen auch ToM spezifische Regionen gibt. Der verbale Stimulusanteil setzte sich aus drei unterschiedlichen Gruppen zusammen. Neben den ToM Geschichten (ToMS) und nicht-ToM Geschichten (Non-ToMS) wurden auch nicht zusammenhängende Sätze präsentiert. Nach jedem Trial sollte der Proband dann eine Frage zum gerade gelesenen

Text beantworten. Die „Cartoon task“ bestand ebenfalls aus drei Untergruppen. Neben den Theory of Mind Cartoons (ToMC) und den Cartoons ohne ToM Inhalt (Non-ToMC) wurden den Versuchspersonen auch so genannte „jumbled pictures (JC)“ präsentiert. Dabei handelte es sich um Zusammenstellungen von Bildern, die keinerlei inhaltlichen Zusammenhang besaßen. Im Vergleich der verbalen ToM Geschichten mit den Geschichten ohne ToM Inhalte zeigte sich eine signifikante Mehraktivierung im medialen präfrontalen Kortex, den bilateralen Temporalpolen und der bilateralen temporoparietalen Junction. Bis auf den medialen präfrontalen Kortex zeigten diese Areale jedoch auch beim Vergleich Non-ToMS vs. Kontrollbedingung eine Mehraktivierung. Der Abgleich der Aktivierungen von ToM Cartoons und den Cartoons ohne ToM Inhalte ergab eine signifikante Mehraktivierung im medialen präfrontalen Kortex, der bilateralen temporoparietalen Junction, dem mittleren Gyrus frontalis rechts, dem Präcuneus und dem Gyrus fusiformis. Auch bei diesem Vergleich wurden alle Areale bis auf den medialen präfrontalen Kortex ebenfalls beim Kontrast Non-ToMC vs. Kontrollbedingung aktiviert. Zusätzlich wurde eine Conjunction Analyse gerechnet, die die beiden ToM-tasks mit den Non-Tom-tasks verglich. Eine signifikante Mehraktivierung für den Tom Cartoon und die ToM Geschichte ergab sich im medialen präfrontalen Kortex und der bilateralen temporoparietalen Junction. Auch im rechten mittleren Gyrus frontalis, dem Präcuneus und dem linken Temporalpol kam es zu einer gesteigerten Aktivierung, diese blieb jedoch unterhalb der Signifikanzgrenze.

Vor allem die Ergebnisse des Vergleichs zwischen ToM Geschichten und Geschichten ohne ToM Inhalt sind im Hinblick auf die vorliegende aktuelle Arbeit interessant. Neben dem medialen präfrontalen Kortex werden auch die bilateralen Temporalpole und die bilaterale temporo-parietale Junction aktiviert. Die Rolle der temporoparietalen Junction steht neben den präfrontalen Arealen besonders im Fokus bei der späteren Ableitung der Ziele der vorliegenden Studie. Die Autoren selbst fokussieren ihr Interesse und die Diskussion auf den medialen präfrontalen Kortex. Die mögliche Rolle der bilateralen temporoparietalen Junction im Zusammenhang mit den Vorgängen der ToM wird nicht weiter diskutiert.

Mit dem Beginn des 21. Jahrhunderts wurde eine rapide zunehmende Zahl an Studien, so wie die eben besprochenen, veröffentlicht. Um einen Überblick über die ständig wachsende Zahl an Studien und Arbeiten zur Theory of Mind zu bewahren, erstellten

Forscher immer wieder sogenannte Meta-Analysen. Hierbei werden verschiedene Primär-Studien mit quantitativen und statistischen Mitteln verglichen und ausgewertet. Im Jahr 2003 führten Frith und Frith eine solche Metaanalyse verschiedenster fMRT Studien aus dem Bereich der ToM Forschung durch. Dabei ermittelten sie drei Gehirnareale, die beim Vorgang des Mentalisierens eine zentrale Rolle spielten. Die bilateralen Temporalpole wurden in fünf verschiedenen ToM Aufgaben in zehn verschiedenen Studien aktiviert. Der superiore Sulcus temporalis superior (STS) wurde ebenfalls in den bereits erwähnten zehn Studien aktiviert. Auch Daten aus 19 Studien, die sich nicht mit Tom Inhalten, sondern meist mit biologischen Bewegungsabläufen befassten, zeigten Aktivierungen im Bereich des STS. Das Areal des medialen präfrontalen Kortex (MPFC) wurde sogar in allen 12 Studien, die der Meta-Analyse zugrunde lagen, aktiviert.

Was die Region der Temporalpole beider Hemisphären (vor allem jedoch auf der linken Seite) angeht, folgerten Frith und Frith, dass es dort vor allem um das Abrufen von Skripten ginge. Diese Skripten werden basierend auf eigenen Erfahrungen angelegt und halten dabei bestimmte Ziele und Aktivitäten fest, die in einem bestimmten Rahmen zu einer bestimmten Zeit ablaufen. Die Autoren postulierten, dass diese Skripte einen nützlichen Rahmen liefern, in dem der Prozess des Mentalisierens ablaufen kann.

Die zweite Region, die Frith & Frith als wichtiges Mentalisierungsareal identifizierten, ist der posteriore superiore Sulcus temporalis (post. STS), der in den Bereich der temporo-parietalen Junction (TPJ) übergeht. Anhand vieler Studien aus verschiedensten Forschungsgebieten zogen die Autoren den Schluss, dass dieses Gehirnareal vor allem mit dem Erkennen und Verstehen komplexer Abläufe und Handlungsstränge zu tun hat. Ebenso reagiere die TPJ auf plötzlich veränderte Stimuli und komplexe Bewegungsabläufe. Das daraus abzuleitende Verstehen komplexer Vorgänge, besonders die Fähigkeit den nächsten Schritt innerhalb einer Handlungskette vorherzusagen, stellt laut Frith und Frith eine wichtige Voraussetzung für den Vorgang des Mentalisierens dar.

Die Region des MPFC, die in vielen Studien mit den Vorgängen des Mentalisierens assoziiert wird, ist laut Frith & Frith immer dann aktiviert, wenn man sich mit bestimmten mentalen Zuständen auseinandersetzt. Dies gilt für eigene mentale Zustände genauso wie für die Zustände anderer Personen. Diese „mental states“ müssen von der Realität entkoppelt werden, um verarbeitet werden zu können. Frith und Frith gehen dabei davon

aus, dass der MPFC sowohl für TB als auch für FB Bedingungen in gleichem Maße aktiviert wird.

Die Ergebnisse von Frith und Frith geben einen guten Überblick über den Stand der Forschung um das Jahr 2003. Die Rolle des medialen präfrontalen Kortex als ToM Areal wird bereits weitgehend akzeptiert. Auch die beiden anderen Bereiche (Temporalpole und STS) werden hier ausführlicher behandelt als in vorangegangenen Arbeiten. Gerade die Diskussion des STS ist insofern interessant, da dieses Areal in enger Nachbarschaft und Beziehung zur temporoparietalen Junction steht, welche wie bereits erwähnt im besonderen Fokus dieser Arbeit stehen soll.

Ebenfalls im Jahr 2003 wurde eine Arbeit veröffentlicht, die sich bereits sehr eindringlich mit der Rolle der temporoparietalen Junction auseinandersetzte. Saxe und Kanwisher (2003) behaupteten dabei, dass ein Bereich der TPJ (von den Autoren als TPJ-M bezeichnet) eine selektive Rolle für die Repräsentation mentaler Zustände anderer Personen spiele. Um eine mögliche Rolle bei der Anwendung der ToM zu spielen, setzten die Autoren für eine entsprechende Gehirnregion zwei Voraussetzungen fest. Erstens muss das Areal immer dann aktiviert werden wenn ToM Inhalte (True oder False Belief) mit vom Inhalt ähnlichen nichtsozialen Stimuli verglichen werden. Zweitens darf die Region nicht reagieren, nur weil eine Person im Stimulusmaterial auftaucht, sondern genau dann, wenn die Probanden sich mit den mental states dieser Person befassen. Um zu zeigen, dass die TPJ-M diese beiden Kriterien erfüllt, entwickelten Saxe und Kanwisher zwei verschiedene Experimente.

In Experiment 1 wurden 25 Versuchspersonen gemessen. Stimuli waren Kurzgeschichten, die auf folgende vier Bereiche aufgeteilt waren: False Belief Geschichten, Beschreibungen mechanischer/physikalischer Prozesse, menschliche Handlungen und Beschreibungen von Abläufen ohne menschliches Einwirken. Vierzehn der 25 Versuchspersonen wurden des Weiteren gescannt während ihnen 20 Bilder von menschlichen Körpern in verschiedenen Posen, sowie 20 Bilder einfacher Gegenstände (Auto, Blume) gezeigt wurden.

Für den Vergleich der ToM Geschichte und der Beschreibung mechanischer Vorgänge zeigten fünf Gehirnareale eine signifikante Mehraktivierung während der ToM Aufgabe. Neben der TPJ-M links und rechts waren dies der anteriore superiore Sulcus temporalis (aSTS) links und rechts und der Präcuneus.

Die Ergebnisse sehen Saxe und Kanwisher als weiteren Beleg dafür, dass Regionen im Bereich der TPJ-M (bilateral) ein erhöhtes BOLD Signal liefern, wenn die Versuchspersonen sich mit den mentalen Zuständen anderer Personen befassen, als wenn sie sich mit nicht menschlichen Inhalten beschäftigen. Zusätzlich wurde festgestellt, dass es einen Seitenunterschied bei der Aktivierung der TPJ-M gab. Während die linke TPJ-M selektiv bei verbalen Geschichten aktiviert wurde, schien die rechte TPJ-M allgemein bei nonverbalen Stimuli zu reagieren. Das Aktivierungsmuster des Präcuneus konnten die Autoren nicht eindeutig als Reaktion auf die ToM Aufgabe deuten und analysierten dieses im weiteren Verlauf nicht mehr.

Für das zweite Experiment wurden 21 Probanden untersucht. Stimuli waren 70 Kurzgeschichten, die sich in gleichen Anteilen aus fünf Kategorien zusammensetzten. Neben den False Belief Geschichten gab es Fotogeschichten (False photograph stories, in denen entschieden werden musste, ob ein zuvor gemachtes Bild Objekte noch zeigen würde, die in der Zwischenzeit verschwunden waren), Geschichten, die einen zentralen Wunsch beinhalteten, Geschichten über physische Eigenschaften von Personen und Texte die Naturbegebenheiten beschrieben. Nach der Präsentation einer jeden Kurzgeschichte wurde den Probanden eine Frage mit einer Inhaltslücke zur Geschichte gestellt. Für die Antwort standen den Probanden jeweils zwei Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung.

Für das zweite Experiment wurde unter anderem ein Kontrast erstellt, in dem die Aktivierung bei den FB-Geschichten mit der Aktivierung bei den Fotogeschichten verglichen wurde (FB > photograph stories). Dieser Kontrast sollte zwischen einer Aktivierung beim Mentalisieren und einer Aktivierung bei logisch vergleichbaren Geschichten ohne ToM Inhalte unterscheiden.

Neben der bilateralen TPJ-M und dem Präcuneus, wurde hierbei auch das posteriore Cingulum, der anteriore superiore Sulcus Temporalis (aSTS) re und der mediale superiore Gyrus frontalis ermittelt.

Durch die Ergebnisse sahen sich die Autoren in ihrer grundsätzlichen Annahme zur TPJ-M bestätigt. Die TPJ-M reagiert deutlich mehr auf Stimuli die ToM Mechanismen anregen. Des Weiteren reagieren diese Areale nicht bei physischen Beschreibungen von Menschen, sind daher also nicht prinzipiell aktiv, wenn es sich um menschliche Stimuli handelt. Einen möglichen Seitenunterschied, wie er nach Experiment 1 erschienen war, sahen Saxe und Kanwisher durch Experiment 2 als widerlegt an.

Neben einer ausführlichen Diskussion der Rolle der TPJ lieferte die Arbeit von Saxe und Kanwisher ein weiteres interessantes Ergebnis. Die Aktivierung des Präcuneus im Zusammenhang mit Tom Aufgaben soll ebenfalls in der vorliegenden Arbeit näher erläutert werden. Leider gingen die Autoren in dieser Arbeit wie bereits erwähnt nicht weiter auf eine mögliche Rolle des Präcuneus ein.

Neben der Identifikation von möglichst spezifischen ToM Arealen dient die funktionelle Bildgebung in der neurokognitiven Forschung oft auch wesentlich konkreteren Fragestellungen. Ein Beispiel dafür ist die Arbeit von Grèzes et al. (2004). Die Autoren veröffentlichten eine fMRT Studie, die sich mit der Belief-Attribution, im Zusammenhang mit dem Beobachten von Handlungen, beschäftigte. Die Wahrnehmung und Beobachtung von Handlungsabläufen sehen die Autoren dabei als Grundlage für ein späteres Simulieren der Handlungen und das daraus abgeleitete Verstehen von Aktionen. Mit ihrer Arbeit wollten die Autoren klären, worin die neuronale Basis der alltäglichen Fähigkeit beruht, aus der Beobachtung von Handlungen Schlüsse über mentale Zustände der beobachteten Personen zu machen. Weiterhin sollte geklärt werden, inwieweit dieser Vorgang auf Prozessen der Simulation beruht.

In der durchgeführten Studie beobachteten die Probanden ein Video, das zeigt, wie Schauspieler einen Karton aufheben. In manchen Fällen waren die Schauspieler zuvor über das Gewicht des Kartons informiert, in anderen nicht. Durch das Beobachten des Vorgangs sollte die Probanden dann die Frage beantworten, ob der Protagonist des Videos wusste, wie schwer die Box war oder nicht.

Gemessen wurden insgesamt sechs Probanden im Alter zwischen 25 und 39 Jahren. Das Stimulusmaterial bestand aus Videos von 8 Schauspielern, die in über 50 Variationen Kartons unterschiedlichsten Gewichts hochhoben und wegtrugen. In den meisten Fällen wussten die Schauspieler zuvor, wie schwer der Karton war, in 10% der Fälle war die erhaltene Information falsch bzw. der Schauspieler wusste nicht, wie schwer der Karton sein würde.

Bei der Datenanalyse für die Beobachtung der Schauspieler mit falschen und richtigen Erwartungen wurden die gesammelten Daten mehreren verschiedenen Analysen unterzogen. Im Vergleich zwischen den Trials mit tatsächlich falscher Erwartung und richtiger Erwartung der Schauspieler wurde der posteriore cinguläre Gyrus und der rechte posteriore Anteil des superioren Sulcus temporalis vermehrt aktiviert. In der zweiten

Analyse wurden dann die Trials verglichen, in denen der Proband eine falsche Erwartung erkannt hatte und in denen er eingeschätzt hatte die Erwartung sei richtig gewesen. In folgenden Regionen kam es dabei zu einer vermehrten Aktivierung, wenn der Proband eine falsche Erwartung erkannt zu haben glaubte: bilateraler lateraler orbito-frontaler Kortex, anteriorer Anteil der Insula, superiorer Anteil des Sulcus temporalis, dorso-medialer frontaler Kortex, rechter vorderer Anteil des Kaudatum und im linken Kleinhirn.

In diesen zusätzlichen Aktivierungen beim Vorliegen einer falschen Erwartung sehen die Autoren den Beweis dafür, dass die Probanden beim Beobachten der Handlung ständig die mentalen Zustände des Schauspielers analysieren und bei falschen Erwartungen diese inkongruenten mentalen Zustände sofort erkennen. Während die Aktivierung im superioren Sulcus temporalis mit der Wahrnehmung von biologischen Bewegungsabläufen erklärt werden kann, gibt es für die Aktivierung in den Arealen des dorso-medialen frontalen Kortex und des orbito-frontalen Kortex keine vergleichbare Erklärung. Hier wird angenommen, dass es sich um eine Repräsentation von Mentalisierungsvorgängen handele (Grèzes et al., 2004).

Gerade im Hinblick auf die zuvor besprochene Diskussion zwischen Simulation Theory und Theory Theory geben diese Ergebnisse interessante Erkenntnisse. Bei bestimmten Vorgängen wie in dieser Studie, wenn Personen die Handlungen anderer Person zu verstehen versuchen, scheinen Simulations-Prozesse eine besondere Rolle zu spielen.

Als Abschluss der chronologischen Vorstellung verschiedener Studien folgt eine Arbeit von Saxe und Wexler aus dem Jahr 2005. Laut Saxe und Wexler (2005) sind es vier Gehirnareale, die bei der Suche nach neuronalen Korrelaten der Theory of Mind immer wieder genannt werden und somit eine besondere Rolle zu spielen scheinen. Diese vier Areale sind die rechte und linke TPJ, der mediale präfrontale Kortex (mPFC) und das posteriore Cingulum. In ihrer Arbeit versuchen die Autoren genauer zu analysieren, ob, wann und wie diese Areale eine Rolle beim Vorgang des Mentalisierens spielen.

Versuchspersonen für die Studie waren 12 Personen, die allesamt den gleichen kulturellen Hintergrund (amerikanische Mittelschicht) hatten. Als Stimuli dienten Geschichten, die aus 8 Variationen von 12 Themengebieten bestanden. Insgesamt wurden 96 Geschichten präsentiert. Die Personen aus den Geschichten stammten entweder aus einem vertrauten oder einem fremden kulturellen Hintergrund und hatten einen normalen

oder ungewöhnlichen Wunsch (Desire) bzw. eine entsprechende Überzeugung (Belief). Bezug für den kulturellen Hintergrund und den „normalen“ bzw. „Norm verletzenden“ mental State war der gemeinsame Hintergrund der Versuchspersonen. Am Ende jeder Einzelgeschichte wurde der Wunsch bzw. die Vorstellung des Protagonisten erfüllt oder nicht. Im Anschluss Daran mussten die Versuchspersonen die Frage beantworten „Wie fühlst dich die Person in der Geschichte nun?“ und dies dann im Hinblick auf dessen mental state als „positiv“ oder „negativ“ bewerten.

In einem Localiser Experiment wurde die RTPJ in 12 von 12 Fällen, die LTPJ in 8 von 12, der MPFC in 11 von 12 und das posteriore Cingulum ebenfalls in 11 von 12 Fällen aktiviert. Als den Versuchspersonen der kulturelle Hintergrund der Protagonisten präsentiert wurde, unterschieden sich die vier Areale deutlich. Während in der RTPJ und dem post. Cingulum die verschiedenen Hintergründe keinen Effekt auslösten, reagierten die LTPJ und auch der MPFC signifikant mehr auf den fremden Hintergrund als auf den normalen/eigenen Hintergrund. Auch bei der Präsentation des mental states reagierten die verschiedenen Hirnareale unterschiedlich. Die RTPJ reagierte verstärkt, wenn Menschen aus einem bekannten Hintergrund einen von der Norm abweichenden mental state besaßen und wenn Personen mit einem fremden kulturellen Hintergrund eine normalen mental State zeigten. Das posteriore Cingulum verhielt sich ähnlich der RTPJ. Sowohl die LTPJ als auch der MPFC zeigten keine signifikanten Veränderungen während der Vorstellung der mental states.

Nur eines der vier untersuchten Gehirnareale erfüllt alle Vorgaben der Autoren, um ein echtes neuronales Korrelat der ToM zu sein. Erstens sollte die Aktivität während der Präsentation des sozialen Hintergrund der Protagonisten unverändert bleiben. Zweitens sollte zu dem Zeitpunkt als der mental state vorgestellt wurde, die Aktivität deutlich ansteigen. Drittens wurde gefordert, dass sobald die Informationen über den mental State vorlagen, die Aktivität weiter anstieg, wenn kultureller Hintergrund und mental State nicht kongruent waren (z. B. bekannter Hintergrund + Norm abweichender mental State).

Der MPFC, der von anderen Autoren oft als Hauptareal der ToM Verarbeitung bezeichnet wurde (z. B. Gallagher & Frith, 2003), erfüllt diese drei Vorgaben nicht. Die RTPJ hingegen erfüllt, laut These der Autoren, diese Vorgaben und stellt somit ein mögliches Zentrum der ToM Verarbeitung dar. Weiter formulierten Saxe und Wexler, dass aufgrund der unterschiedlichen Aktivierung von rechter und linker TPJ beide Areale

unterschiedliche Aufgaben erfüllen. Während die RTPJ für die Attribution mentaler Zustände zuständig scheint, wird die linke TPJ vor allem bei der Attribution und Verarbeitung sozialer Eigenschaften aktiviert (Saxe & Wexler, 2005).

Die Ergebnisse von Saxe und Wexler sind aus mehreren Gründen von großem Interesse für die vorliegende Arbeit. Entgegen einer Großzahl anderer Arbeiten sprechen die Autoren dem medialen präfrontalen Kortex eine spezielle Rolle innerhalb der ToM-Prozesse weitgehend ab. Diese Behauptung muss sicherlich weiterverfolgt und überprüft werden. Interessant ist vor allem aber auch, was die Autoren über die Rolle der TPJ postulieren. Bereits in einer Arbeit aus dem Jahr 2003 hatten Saxe und Kanwisher der TPJ (genau TPJ-M, siehe Oben) eine zentrale Rolle bei Vorgängen des Mentalisierens zugesprochen. In der zuletzt besprochenen Arbeit gehen sie zusätzlich von einer getrennten Bedeutung der linken und rechten TPJ aus. Während Saxe und Wexler die rechte TPJ als Hauptareal der Verarbeitung von mental states sehen, scheint die linke TPJ vorwiegend mit der Verarbeitung sozialer Eigenschaften assoziiert zu sein (Saxe & Wexler 2005).

Dieser Gedanke birgt neue Ansätze, die ebenfalls genauer untersucht und überprüft werden sollten. Im Bezug auf die Ziele dieser Arbeit ist die differenzierte Rolle von rechter und linker TPJ besonders wichtig. Wie im entsprechenden Kapitel 3 genauer erklärt werden soll, ist die Rolle der linken TPJ, wie sie Saxe und Wexler postulieren, möglicherweise unterrepräsentiert.

2.2.1 Zusammenfassung

Die aufgeführten Arbeiten geben als kompaktes Extrakt einen Überblick darüber, wie extrem vielschichtig und variantenreich die Erforschung der Theory of Mind in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten geworden ist. Allein im Bereich der ToM Forschung mittels funktioneller Bildgebung, wie sie für die vorliegende Arbeit von entscheidender Bedeutung ist, entstanden durch unterschiedliche Methoden der Datenaufzeichnung und unterschiedlichste Wahl der Stimulusmaterialien eine Unzahl an unterschiedlichen Ansätzen. Gerade diese teilweise enormen Unterschiede machen ein Vergleichen und Bewerten von Ergebnissen extrem schwierig. Nur wenn man bereits beim Erstellen einer Studie auf ein möglichst reproduzierbares Setting achtet und aus Unzulänglichkeiten

vorangegangener Studien lernt, wird es möglich sein noch genauere Kenntnis über die neuronalen Korrelate der Theory of Mind zu gewinnen.

Gerade für die folgende Herleitung der Ziele der vorliegenden Arbeit ist eine Vorstellung relevanter Ergebnisse und Studien unerlässlich. Während die verschiedenen Herangehensweisen und Methoden der Studien bereits ausreichend beschrieben wurden, soll an dieser Stelle noch mal eine kompakte Zusammenstellung der jeweiligen Ergebnisse erfolgen. Gerade aus den aktuelleren Ergebnissen und den daraus resultierenden Diskussionsansätzen leiten sich schließlich die eigene Hypothesen und Fragestellungen ab.

In einer der ersten bildgebenden Studien zur Theory of Mind lokalisierten Fletcher et al. (1995) ein Areal um den medialen Gyrus frontalis li (BA 8) als mögliches spezifisches ToM Areal. Im Jahr 2000 lieferte eine Arbeit von Gallagher et al. bereits wesentlich detailliertere Ergebnisse. Aus der Reihe der bei ToM Inhalten vermehrt aktivierten Areale des medialen präfrontalen Kortex, der bilateralen Temporalpolen und der bilateralen temporoparietalen Junction sahen die Autoren vor allem den medialen präfrontalen Kortex als spezielles ToM Areal. Dieses Areal sollte auch in den darauf folgenden Jahren und Studien immer mehr eine zentrale Rolle bei der Suche nach ToM-spezifischen Gehirnarealen einnehmen. Im Jahr 2003 führten Frith und Frith eine Metaanalyse verschiedenster fMRT Studien aus dem Bereich der ToM Forschung durch. Drei Gehirnarealen wurde dabei eine besondere Rolle innerhalb der ToM zugesprochen. Die bilateralen Temporalpole, der superiore Sulcus temporalis superior (STS) und das Areal des medialen präfrontalen Kortex (MPFC) wurde von den Autoren anhand 12 anderer Studien als ToM Areale gesehen. In einer anderen Studie aus dem Jahr 2003 (Saxe & Kanwisher 2003) werden neben anderen Arealen dann sowohl der Präcuneus als auch die temporo-parietale Junction beschrieben. Während der Präcuneus im weiteren Verlauf nur wenig diskutiert wurde, nahm die TPJ immer häufiger eine wichtige Rolle ein. Saxe und Wexler postulierten 2005 schließlich sogar, dass ein Teil der TPJ (die rechte TPJ) sogar eine wesentlichere Rolle innerhalb des ToM Moduls spiele als der mediale präfrontale Kortex.

In einer Arbeit aus dem Jahr 2006 lieferten Sommer et al. dann Ergebnisse, die unmittelbar als Orientierung für die vorliegende Arbeit dienten. Die wichtigsten Ergebnisse dabei waren die Mehraktivierung im dorsalen, anterioren cingulären Cortex

(dACC BA 32), dem mittleren Gyrus frontalis re (BA 6), dem dorsolateralen präfrontalen Cortex re (BA 9) und dem lateralen rostralen präfrontalen Cortex re (BA 10). Auch die temporo-parietale Junction re (39), der mittlere Gyrus temporalis re (BA 21) und der inferiore Gyrus parietalis re (BA 7) wurden vermehrt aktiviert. Ein Areal, das ebenfalls stärker aktiviert wurde, war der Präcuneus (BA 7).

Nachdem im folgenden Kapitel auf die Verbindung der Theory of Mind zu verschiedenen psychischen Störungen eingegangen wird, setzt das darauf folgende Kapitel an diesem Stand der Ergebnisse der ToM Forschung an. Im Bezug auf das eben Präsentierte sollen dann die Ziele der vorliegenden Arbeit erläutert werden.

2.3 Theory of Mind bei psychischen Störungen

Im Verlauf der Erforschung der Theory of Mind gab und gibt es viele Berührungspunkte mit Themen der Psychiatrie und bestimmten Bereichen der Psychologie. Wie bereits beschrieben waren die Ursprünge der Arbeit mit der Theory of Mind vor allem auch im Bereich der Entwicklungspsychologie angesiedelt. Doch auch in Bereichen, die sich im weiteren Verlauf mit der Erforschung der neuronalen Korrelate der ToM befassten, leisteten Erkenntnisse aus Arbeiten mit Patienten, die an psychiatrischen Störungen litten wichtige Beiträge zum verstehen des Mentalisierens. Gerade psychiatrische Erkrankungen bei denen man aus klinischer Arbeit bereits eine Vorstellung über deren neuronale Grundlagen hat, sind gut dafür geeignet Rückschlüsse über die zugrunde liegenden neuronalen Prozesse der ToM zu verstehen. So geht die Suche nach neuronalen Korrelaten der ToM bzw. der Belief Attribution, wie sie dieser Arbeit zugrunde liegt, Hand in Hand mit psychiatrischen Fragestellungen. Der folgende Abschnitt soll einen kurzen Überblick über Beispiele solcher Arbeiten und deren Ergebnisse geben.

Als Beispiele werden dabei die Arbeiten zum Thema Autismus und Theory of Mind sowie Schizophrenie und Theory of Mind verwendet. Eine ausführliche Abhandlung dieser Themen ist nicht Gegenstand dieser Arbeit, dennoch soll die Möglichkeit genutzt werden, an dieser Stelle einige Arbeiten und deren Erkenntnisse vorzustellen.

Bereits in frühen Jahren der Theory of Mind Forschung erkannten Forscher und Autoren die Möglichkeit anhand des Krankheitsbildes des Autismus mehr über die Theory of Mind zu erfahren. Baron-Cohen et al. veröffentlichten im Zuge dessen im Jahr 1985 eine Arbeit mit dem Titel „Does the autistic child have a theory of mind?“. Zu einem Zeitpunkt, als noch wenig über die Pathophysiologie des Autismus bekannt war, postulierten die Autoren einen neuen Ansatz für die Erklärung der autistischem Symptome. Im Bezug auf eine Arbeit von Leslie (1984) behaupteten sie, dass die Fähigkeit zu Mentalisieren als wichtige Komponente unserer sozialen Kompetenz, bei autistischen Kindern mangelhaft ausgeprägt sei. Um diesen Ansatz zu verfolgen, entwickelten Baron-Cohen et al. ein Paradigma, anhand dessen geklärt werden, sollte, ob autistische Kinder zum einen ein deutliches Defizit in der Anwendung der ToM besitzen und zum anderen ob dieses Defizit spezifisch für die Erkrankung des Autismus ist.

Neben einer Kontrollgruppe aus 27 klinisch unauffälligen Kindern (keine Angabe zum IQ) im Vorschulalter wurde dazu zusätzlich eine Gruppe von 14 Kindern, die an Down

Syndrom litten, getestet. Im Rahmen des Down-Syndrom kommt es zwar zu einer meist globalen geistigen Retardierung, die soziale Kompetenz der Patienten ist in der Regel aber altersentsprechend normal. Die Kinder, die an Down-Syndrom litten, hatten einen mittleren IQ von 64. Die 20 autistischen Kinder, die gemessen wurden, hatten einen durchschnittlichen IQ von 82 Punkten. Somit sollte ausgeschlossen werden, dass ein Defizit der ToM im Rahmen einer geistigen Retardierung auftreten würde. Das Experiment selbst verwendete das so genannte „Sally Anne Paradigma“, welches bereits an vorangegangener Stelle erläutert wurde. 23 der 27 gesunden Kinder bearbeiteten die Belief-Aufgabe korrekt, ebenso wie 12 der 14 Kinder mit Down Syndrom. Bei den Kindern mit Autismus scheiterten jedoch 16 der 20 Kinder an dieser Belief-Aufgabe. Der Unterschied dieser Ergebnisse war hochsignifikant ($p < 0,001$). Die entscheidende Abweichung bei den Kindern mit Autismus lag für die Autoren in der Unfähigkeit zwischen der eigenen Überzeugung bzw. dem eigenen Belief und dem Belief der Puppe im Szenario zu unterscheiden. Somit sahen sich die Autoren in ihrer ursprünglichen Annahme bestätigt. Kinder die an Autismus leiden, zeigen ein deutliches Defizit bei der Anwendung der ToM. Dieses Defizit könnte ihre Schwierigkeiten im sozialen Kontext adäquat zu reagieren erklären, da sie ohne die ToM kaum in der Lage sind das Verhalten ihres Gegenübers zu verstehen und einzuschätzen. Die Tatsache, dass die Kinder mit Down Syndrom wesentlich weniger Probleme bei der Bearbeitung der ToM Inhalte hatten, legte ferner nahe, dass dieses Defizit spezifisch für die Erkrankung des Autismus ist.

Ein Beispiel einer Arbeit, die sich mithilfe der funktionellen Bildgebung mit dem Thema soziale Intelligenz und Autismus beschäftigt, ist eine weitere Studie von Baron-Cohen et al. (1999). Als soziale Intelligenz bezeichnen die Autoren dabei die Fähigkeit, die Handlungen Anderer anhand von deren mentalen Bereichen oder Zuständen zu erklären. Durch die Wortwahl dieser Definition wird deutlich wie eng verbunden die so genannte soziale Intelligenz und die Theory of Mind sind.

Andere Autoren hatten bereits postuliert, dass bestimmte Gehirnareale als neuronale Korrelate der sozialen Intelligenz zugrunde liegen (Brothers, 1990). Neben der Amygdala waren dies der orbito-frontale Kortex und der superiore Gyrus temporalis. Die Arbeit von Baron-Cohen und seinen Kollegen hatte zum einen zum Ziel diese Theory des „social brains“ (Brothers, 1990) zu verifizieren und zum anderen sollte geklärt werden, ob diese

Gehirnareale bei Patienten, die an Autismus oder Asperger-Syndrom leiden, Defizite in diesen Bereichen haben. Zu diesem Zweck wurden in der Studie sechs Patienten mit Autismus und 12 gesunde Patienten miteinander verglichen. Die autistischen Patienten hatten allesamt einen IQ > 85. Das Experiment selbst bestand aus zwei Teilen. In der ersten Aufgabe wurden den Probanden Bilder von Augenpaaren gezeigt, anhand derer die Versuchspersonen entscheiden mussten, ob die Augen zu einer männlichen oder weiblichen Person gehörten. Im zweiten Abschnitt ging es dann darum bei gleichem Stimulusmaterial zu entscheiden welcher von je zwei Begriffen besser den mentalen Zustand der gezeigten Person beschreiben könnte.

Bei der Bearbeitung der Theory of Mind Aufgabe aktivierten die Probanden die an Autismus litten in einigen Gehirnarealen deutlich weniger als die gesunde Kontrollgruppe. Dies traf neben anderen angrenzenden Strukturen vor allem für den bilateralen superioren Gyrus temporalis (BA 22) und den linken inferioren Gyrus frontalis (BA 44/45) zu. Die Insula und die Amygdala wurden bei den autistischen Patienten überhaupt nicht aktiviert.

In diesen Ergebnissen sahen die Autoren die Bestätigung dafür, dass die gefundenen Areale die Grundlage der sozialen Intelligenz darstellen und dass Patienten mit Autismus gerade in diesen Bereichen, allen voran im Bereich der Amygdala, deutliche Defizite besitzen.

Anhand einer einzelnen Studie ist es sicherlich nicht möglich festzulegen, welche neuronalen Korrelate für bestimmte Pathologien verantwortlich sein könnten. Dennoch zeigt das Beispiel dieser Arbeit, wie konkret Areale angegeben werden können, die gegebenenfalls die Grundlage psychiatrischer Erkrankungen sein könnten.

Das Beispiel dieser Arbeit macht deutlich, welche wichtige Rolle ein detailliertes Verständnis der Theory of Mind auch für das Verstehen von Krankheitsbildern wie den Autismus spielen kann. In einem späteren Abschnitt dieser Arbeit soll auf diese mögliche Rolle der ToM noch genauer eingegangen werden. An dieser Stelle sollen diese Arbeiten nur einen kurzen Einblick in die Schnittmenge von ToM Forschung und Erforschung psychiatrischer Krankheitsbilder geben.

Neben der Arbeit mit autistischen Patienten haben sich auch immer wieder neurokognitive Arbeiten aus dem Bereich der Theory of Mind mit dem Krankheitsbild der Schizophrenie befasst. Einer der Hauptunterschiede zwischen dem Krankheitsbildern

des Autismus und dem Krankheitsbild der Schizophrenie liegt darin, dass autistische Störungen bereits im Kindesalter auftreten während Patienten die an Schizophrenie erkranken zuvor meist keine sozialen Defizite aufzeigten. Bei der Annahme, dass auch schizophrene Patienten ein Defizit bei der Ausführung von ToM Fähigkeiten besitzen, muss man also davon ausgehen, dass sie diese Fähigkeiten zunächst einmal besaßen (Frith, 2004).

Frith war im Jahr 1992 einer der ersten Autoren, der einen Zusammenhang zwischen Schizophrenie und ToM Beeinträchtigungen zog. In einer späteren Arbeit zum Thema „Schizophrenie und Theory of Mind“ (2004) zitiert Frith eine Reihe von Publikationen (Lee et al., 2004; Doody et al., 1998; Pickup & Frith, 2001) die gezeigt haben, dass Patienten mit Schizophrenie Theory of Mind Aufgaben nur schlecht bearbeiten und lösen können. Die Frage ob diese Probleme beim Mentalisieren in einem Zusammenhang mit den Symptomen einer Schizophrenie zusammenhängen, blieb dabei zunächst offen. Auch Brüne (2005) sieht durch empirische Daten belegt, dass ToM Fähigkeiten bei schizophrenen Patienten beeinträchtigt sind. Ferner behauptet er, dass es ausreichende Hinweise gäbe, dass die ToM Defizite innerhalb der Schizophrenie eher spezifisch seien und nicht im Rahmen von allgemeinen kognitiven Beeinträchtigungen aufträten.

Einen Unterschied in der Qualität der Bearbeitung von ToM Aufgaben scheint es zwischen Patienten mit negativen und Patienten mit positiven schizophrenen Symptomen zu geben. Während Patienten mit paranoiden (oder ähnlichen positiven Symptomen) meist noch gemischte Ergebnisse erzielen, zeigen Patienten mit negativen Symptomen mit Abstand die schlechtesten Ergebnisse (Langdon et al., 1997; Brüne & Brüne-Cohrs, 2006).

Gerade das Krankheitsbild der Schizophrenie birgt möglicherweise entscheidende Chancen, ein besseres Verständnis der Theory of Mind zu erlangen. So können bildgebende Studien mit schizophrenen Patienten z. B. mehr Aufschluss über neuronale Korrelate der ToM bringen. Im Gegenzug könnte, durch ein differenziertes Verständnis der ToM und vor allem auch deren Entwicklung und entsprechender Störungen, auch besser verstanden werden, wie es zu der Entstehung von Erkrankungen aus dem schizophrenen Formenkreis kommt. In einem späteren Abschnitt soll auf ebendiese Fragestellung bzw. dieses Thema noch ausführlicher eingegangen werden. Wichtig an

dieser Stelle war, anhand kurzer Beispiele zu zeigen, wie eng die ToM Forschung mit der Erforschung von Psychopathologien wie Autismus und Schizophrenie verbunden sein kann.

3 ZIELE DER VORLIEGENDEN ARBEIT

Die Ausführungen bezüglich des theoretischen Hintergrundes zur Erforschung neuronaler Korrelate der Theory of Mind hat gezeigt, dass trotz der erheblichen Menge an durchgeführten Studien und erhobenen Daten noch lange keine konkrete und allgemein akzeptierte Vorstellung darüber existiert, wie genau das menschliche Gehirn die ToM ausführt. Die neurokognitive Forschung mittels bildgebender Verfahren ist dabei einen weiten Weg gegangen, der längst noch nicht abgeschlossen scheint. Die vorliegende Arbeit soll einen weiteren Schritt auf diesem Weg markieren. Grundlegendes Ziel ist es dabei, anhand der Darstellung der neuronalen Aktivierungsmuster der Belief Attribution weitere Aufschlüsse über die neuronalen Korrelate der ToM zu erlangen. Drei konkrete Areale stehen dabei im besonderen Fokus der vorliegenden Studie. Die Rolle des medialen präfrontalen Kortex (mPFC), der bilateralen temporo-parietalen Junction (TPJ) und des Präcuneus sollen anhand der aktuellen Ergebnisse analysiert werden. Sinnvoll ist solch eine Diskussion nur dann, wenn die eigenen Ergebnisse in den Kontext der aktuellen Studienlage eingeordnet werden. Eine besondere Rolle nimmt dabei die Arbeit von Sommer et al. (2007) ein. Da Paradigma und Messungsbedingung sehr ähnlich zu den Methoden dieser Arbeit waren, liefert der direkte Vergleich beider Arbeiten eine ausgezeichnete Möglichkeit die entsprechenden Ergebnisse auf deren Konsistenz zu testen.

Neben der konkreten Frage, welche Areale für die Ausführung der Theory of Mind verantwortlich sein könnten, soll die vorliegende Arbeit auch einem grundlegenden Thema nachgehen. Zentrale Frage dabei ist, ob die Fähigkeit zu einem solch komplexen Vorgang wie der Belief Attribution, dem Mentalisieren, sprich dem Ausführen dessen was wir als Theory of Mind bezeichnen, neuronal nur einem bestimmten Areal zu zuschreiben ist. Die alternative Hypothese dazu wäre, dass verschiedene Areale spezifische und unspezifische Funktionen ausführen, die allesamt Elemente einer funktionierenden ToM sein könnten.

Entsprechend dieser Ziele und Hypothesen wurde die vorliegende Studie entwickelt. Die Methoden dieser Studie zur Erfassung der neuronalen Korrelate der Belief Attribution werden im anschließenden Kapitel detailliert dargestellt.

4 METHODE

4.1 Probanden

An der vorliegenden Studie nahmen insgesamt 12 Probanden teil, deren Alter entweder 23 oder 24 Jahre betrug ($M=23,6$; $SD=0,45$). Die 7 Frauen und 5 Männer beteiligten sich allesamt freiwillig an der durchgeführten Studie, nachdem sie persönlich auf ein mögliches Interesse daran angesprochen worden waren. Bereits im Vorfeld wurde geklärt, ob bei den potenziellen Probanden Ausschlusskriterien für die Durchführung einer fMRT-Studie vorlagen. Entsprechende Kriterien waren neurologische und psychiatrische Erkrankungen, eine Schwangerschaft, oder ein eingeschränktes Sehvermögen, dass es den Probanden nicht ermöglichen würde, das Stimulusmaterial ausreichend zu erkennen. Außerdem wurden nur rechtshändige Personen zu der Studie zugelassen. Die Bestätigung, dass keine Kontraindikation vorlag, sowie die schriftliche Einverständniserklärung dokumentierten die Teilnehmer in dem dafür vorgefertigten Dokument.

4.2 Stimuli

Als Stimulusmaterial dienten in dem vorliegenden Experiment nonverbale Bilder bzw. Bildergeschichten in einer Anordnung wie sie in ähnlicher Form auch im sogenannten Sally-Anne-Szenario (Baron-Cohen et al., 1985) verwendet worden waren. Unterschieden wurden dabei eine True Belief und eine False Belief Bedingung. Beide Bedingungen bestehen aus einer Serie von drei Bildern, die durch eine inhaltlose Grafik (Fixationsbild) eingerahmt werden. Die genaue Anordnung und der inhaltliche Zusammenhang dieser Bilder werden bei der Beschreibung der einzelnen Trials näher erläutert. Die Grafiken wurden alle auf eine Größe von 441 x 208 Pixel bei einer Auflösung von 300 Pixel/Zoll eingestellt und im TIF-Format (.tif) gespeichert. Die Bilder wurden den Probanden in Schwarz-weiß auf weißem Hintergrund mit einer grafischen Auflösung von 1024 x 768 Pixel bei einer Farbtiefe von 24 Bit präsentiert.

4.3 Präsentation der Trials

Die Präsentation der jeweiligen Trials erfolgte mittels der Software Presentation Version 11.3 (Neurobehavioral Systems Inc., Albany, CA). In einem separaten Exceldokument

wurden zunächst die genauen Abläufe eines Trials erarbeitet und dann in die Presentation Software importiert. Für jeden TB/FB-Trial wurden dabei die jeweilige Bedingung, die entsprechenden Stimuli (Fixationsbild, Bild 1, 2 und 3), die Startzeit, die Dauer und der korrespondierende MRT-Puls angegeben. Insgesamt liefen dabei 70 Trials mit der True Belief/False Belief Aufgabenstellung ab, 35 als TB und 35 als FB. Die Abfolge von TB und FB lief dabei durch die Präsentation Software randomisiert ab. Das Entscheidungskriterium „erwartet“ zu „unerwartet“ verhielt sich ebenfalls im Verhältnis 1:1. Bild 1, 2 und 3 wurden jeweils 2000 ms lang gezeigt, die Dauer des Jitter-Bildes variierte zwischen 2000 und 3000 ms und wurde so gewählt, dass die neuen Trials nicht immer mit einem entsprechenden MRT-Puls synchron liefen. Die durchschnittliche Dauer eines Trials betrug folglich 8500 ms, insgesamt ergab sich also eine Dauer für das TB/FB Szenario von 10 min. Zusätzlich gab es jede Minute eine Pause von 6 s, um eine stabile Baseline Aktivität messen zu können. Die Gesamtdauer der Messung betrug somit 11 Minuten. Präsentiert wurde das Stimulusmaterial den Versuchspersonen über einen Rechner und einen Video-Beamer, die sich außerhalb des MRT Raumes befanden. Der Beamer projizierte die Trials auf eine Leinwand, die sich am Kopfende des MRT Gerätes befand. Die Versuchsperson im MRT-Gerät konnte diese Leinwand über einen Spiegel an der Kopfspule sehen.

4.4 True Belief (TB) und False Belief (FB) Bedingung

Die Trials der True und False Bedingungen entsprachen weitestgehend einem klassischen Sally-Anne-Paradigma und bestand aus drei zusammenhängenden Bildern. Diese Dreierserie wurde jeweils durch ein Fixationsbild eingerahmt und somit zum nächsten Trial abgegrenzt. Dieses Fixationsbild entsprach in Größe und Farbzusammensetzung genau den Bildern der jeweiligen Bedingung. Mit diesem Vergleich sollte sichergestellt werden, dass es sich bei den gemessenen Aktivierungen nicht um visuelle Muster handelte. In jedem der drei Bilder einer Serie wurden dem Probanden dabei zwei Kinder, ein Objekt und zwei Behältnisse präsentiert. Die zugrunde liegende Struktur der Bilder blieb dabei in jeder Dreierserie gleich, es veränderten sich von Trial zu Trial nur das Aussehen der Kinder sowie die Gestalt des Objektes und der Behältnisse. Insgesamt gab es dafür 10 Variationen.

4.4.1 True Belief Bedingung

Im Folgenden sollen die einzelnen Bilder sowie deren Zusammenhang als True Belief Trial anhand einer zusammengehörigen Serie erläutert werden. Im Bild 1 befinden sich ein Junge und ein Mädchen in einem Raum in dem sich ein Objekt (hier ein Teddy) und zwei Behältnisse (ein Rucksack und ein Eimer) befinden. In diesem ersten Bild sieht der Proband nun, wie das Mädchen das Objekt (den Teddybären) in das erste Behältnis (den Rucksack) packt. Der Junge im Bild beobachtet dies. Im zweiten Bild verändert der Junge den Aufenthaltsort des Objektes und versteckt es im zweiten Objekt (Eimer). In der TB-Bedingung bleibt das Mädchen die ganze Zeit über im Raum und sieht genau, was vor sich geht. Das dritte Bild zeigt nun, wie das Mädchen in einem der beiden Behältnisse nach dem Objekt sucht. Hierbei gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten. In der einen Variante sucht das Mädchen das Objekt (den Bären) im ersten Behältnis (Rucksack), im anderen Fall sucht sie im zweiten Behältnis (Eimer). An diesem Punkt muss der Proband nun entscheiden ob das Verhalten des Mädchens für ihn selbst erwartet oder unerwartet ist. Da das Mädchen in der TB-Bedingung gesehen hat, dass der Aufenthaltsort des Objektes verändert wurde, wäre eben zu erwarten, dass sie in dem entsprechend neuen Behältnis sucht. Sucht das Mädchen jedoch im ursprünglichen Behältnis wäre dieses Verhalten unerwartet. Sobald der Proband das dritte Bild der Serie sieht, muss er diese Entscheidung treffen und sie per Knopfdruck mitteilen. Als Zeitfenster für die Übermittlung der Reaktion gilt dabei die Präsentationsdauer des dritten Bildes (2000 ms). Die folgende Abbildung 4.1 zeigt ein Beispiel für einen solchen TB-Trial. Die Abfolge der drei oben erläuterten Bilder entspricht genau dem Ablauf innerhalb der endgültigen Präsentation.

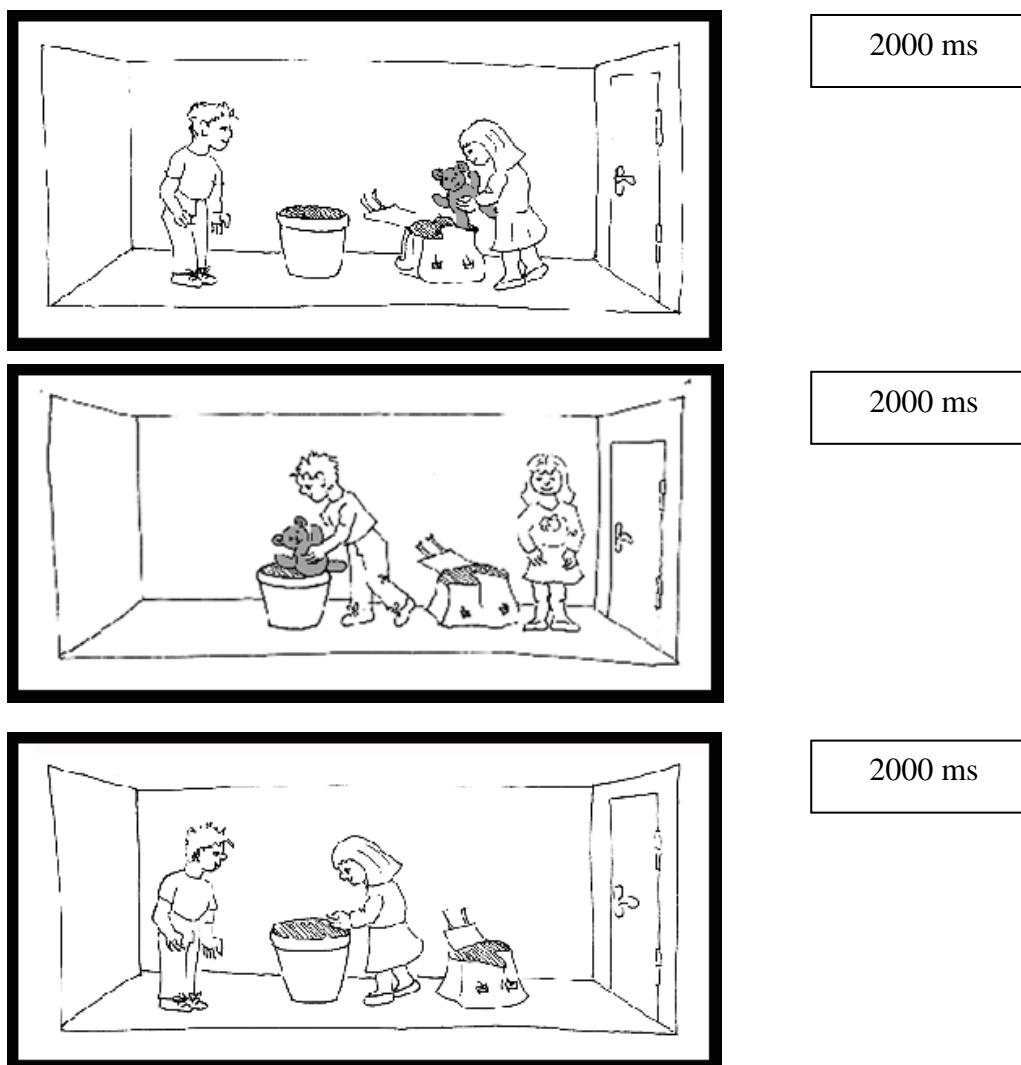


Abbildung 4.1: Beispielserie eines TB Trials mit Bild 1, 2 und 3 und der Präsentationsdauer des jeweiligen Bildes. Hierbei sieht man, wie das Objekt in Bild 1 zunächst in einem Behältnis versteckt wird. Anschließend wird dessen Aufenthaltsort verändert (Bild 2). Das erste Kind (das Mädchen) sucht dann im dritten Bild nach dem Objekt in einem der beiden Behältnisse. Ein decoupling ist aufgrund der Kongruenz zwischen Belief und Realität nicht erforderlich.

4.4.2 False Belief Bedingung

Entsprechend dem oben bereits aufgezeigten TB-Trial, soll nun der Aufbau eines False Belief Trials erklärt werden. Bild 1 entspricht im Aufbau und in der Anordnung genau dem ersten Bild eines TB Trials. Lediglich das Aussehen der Kinder und der Objekte wurde im unten abgebildeten Beispiel als eine der 10 Variationen verändert. In diesem Fall legt der Junge ein anderes Objekt (eine Wurst) in ein neues Behältnis (Schachtel). Das Mädchen sieht ihm dabei zu. Der entscheidende Unterschied zum TB-Trial liegt im zweiten Bild der Serie. In der FB-Bedingung hat der Junge den Raum kurzzeitig verlassen, während das Mädchen das Objekt (die Wurst) aus dem Behältnis (Schachtel) in das zweite Behältnis (den Kühlschrank) legt.

Im Gegensatz zum TB-Trial unterscheiden sich in diesem Fall ab dem zweiten Bild der reelle Aufenthaltsort des Objekts und die Überzeugung des Jungen über den Aufenthaltsort des Objektes, dies wird in Abbildung 4.2 veranschaulicht. Mit diesem Wissen über die Diskrepanz zwischen Realität und Überzeugung (Belief) muss der Proband nun wie im TB-Trial entscheiden ob das Verhalten des Jungen beim Suchen des Objekts erwartet oder unerwartet ist. Um die Aufgabe korrekt zu lösen, muss der Proband in dieser Bedingung, im Gegensatz zur TB-Bedingung, also die Attribution eines False Belief ausführen. Im folgenden Beispiel sucht der Junge das Objekt (Wurst) im zweiten Behältnis (dem Kühlschrank), obwohl er gar nicht gesehen hat, dass die Lage des Objektes verändert wurde. Bei dieser Konstellation wäre das Verhalten des Jungen als unerwartet zu bezeichnen.

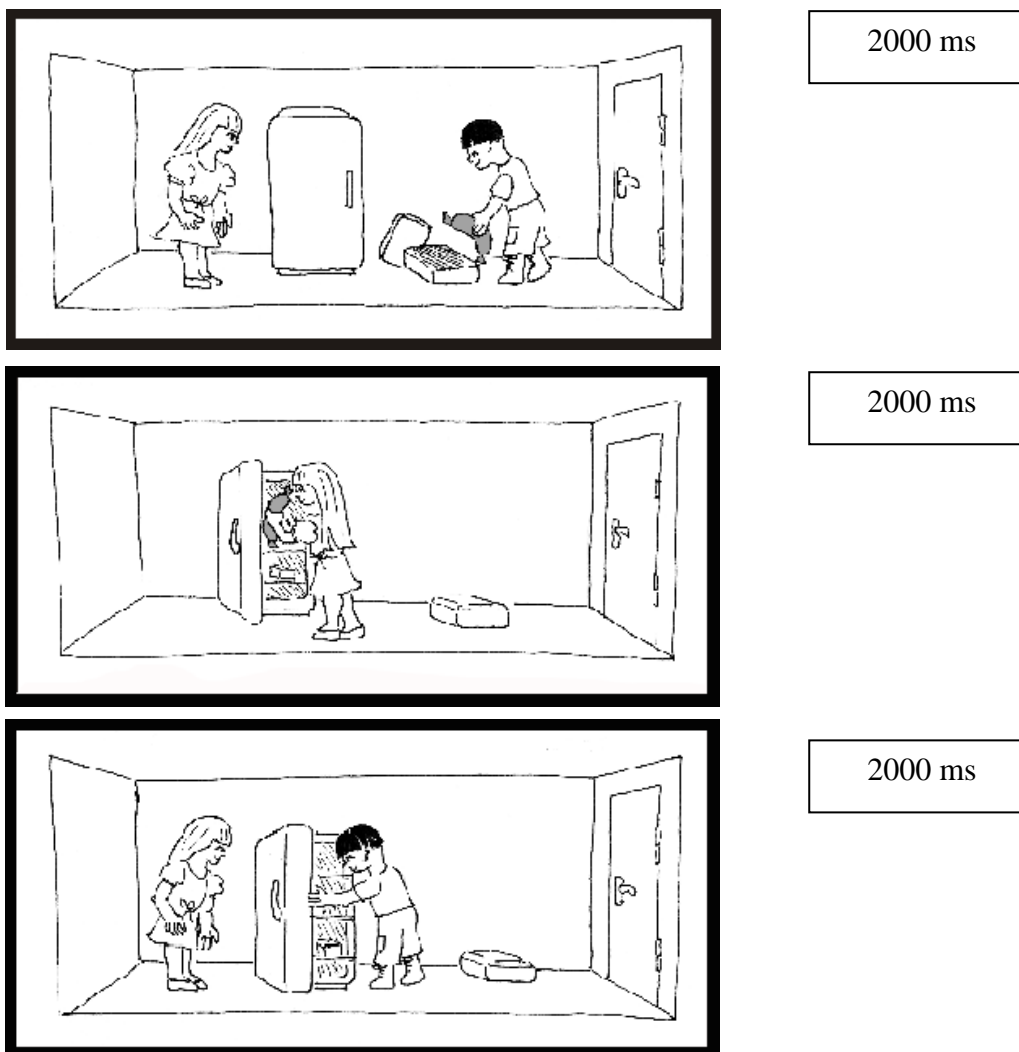


Abbildung 4.2: Beispielserie eines FB Trials mit Bild 1, 2 und 3 und der Präsentationsdauer des jeweiligen Bildes. Hierbei sieht man, wie das Objekt in Bild 1 zunächst in einem Behältnis versteckt wird. Anschließend wird dessen Aufenthaltsort verändert (Bild 2). Das erste Kind (der Junge) sucht dann im dritten Bild nach dem Objekt in einem der beiden Behältnisse Entscheidend ist dabei, dass der Junge in Bild 2 nicht sieht, was mit dem Objekt geschieht. Die daraus resultierende Diskrepanz zwischen Realität und Überzeugung muss vom Probanden erkannt werden, um die Aufgabe korrekt zu lösen.

4.5 Ablauf eines Trials

Zur Veranschaulichung des Ablaufes eines Trials zeigt Abbildung 4.3 eine grafische Darstellung einer Präsentation eines Trials, wie sie im Experiment stattfand. Als Beispiel wurde hierbei ein TB-Trial verwendet. Die Serie zeigt das Fixationsbild sowie die Bilder 1, 2 und 3. Parallel zum Ablauf der Bilder sind die Präsentationsdauern der jeweiligen Bilder dargestellt. Die Entscheidung des Probanden („Erwartet oder unerwartet“) am Ende eines jeden Trials wird durch ein einfaches Pfeilschema verdeutlicht.

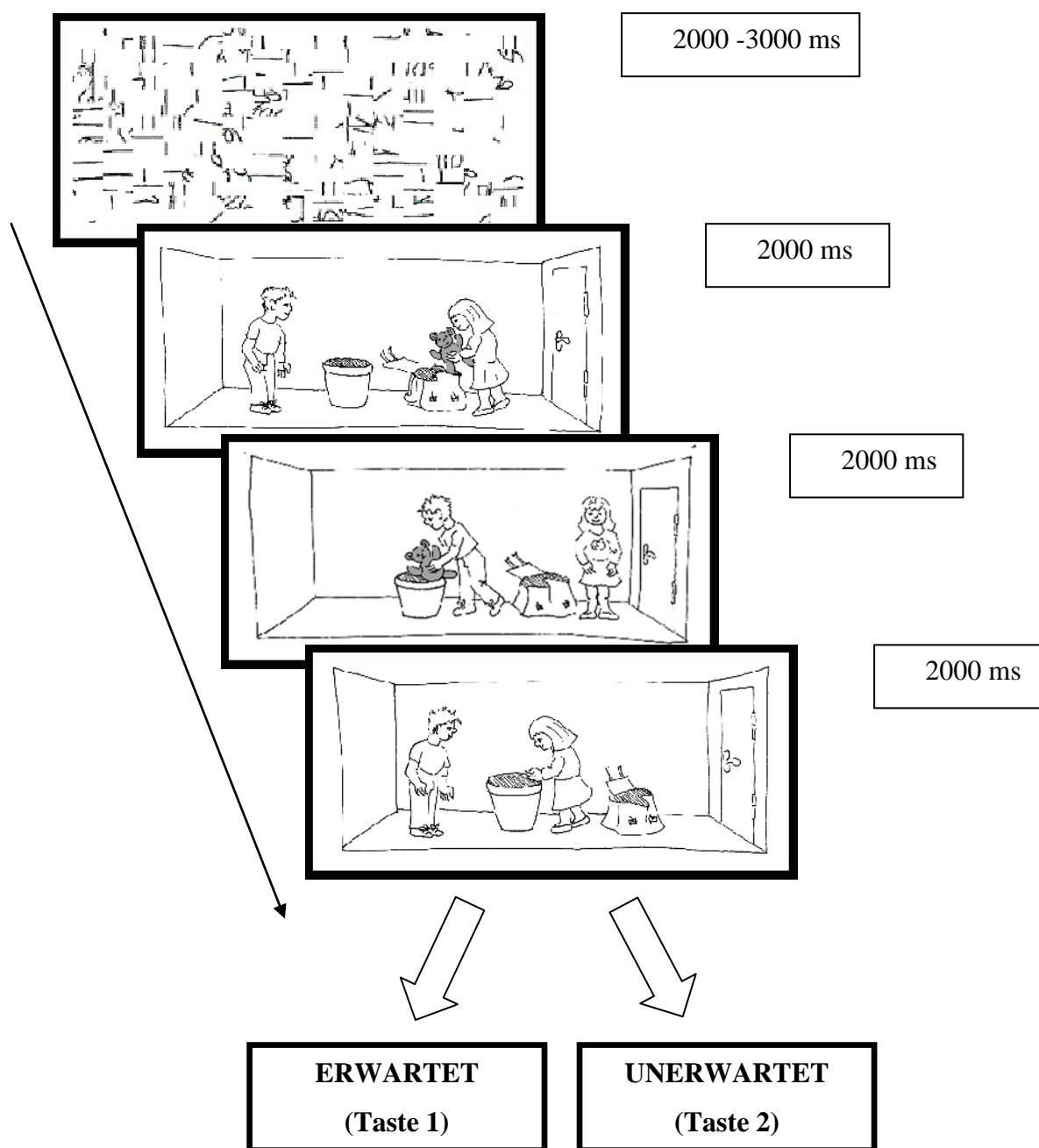


Abbildung 4.3: Schematischer Ablauf eines Trials, als Beispiel wurde ein TB-Trial verwendet. Neben der bekannten Abfolge wird in dieser Grafik auch das Fixationsbild dargestellt. Die Reaktion des Probanden am Ende des Trials ist durch ein einfaches Pfeilschema dargestellt.

4.6 Datenaufzeichnung

Die Untersuchung erfolgte mit einem 3-Tesla Allegra Kopf Scanner (Siemens Inc., Erlangen, Deutschland) auf dem Gelände des Bezirksklinikums Regensburg. Um zu vermeiden, dass die Probanden durch Bewegungen ihres Kopfes die Messgenauigkeit stören, wurde der Kopf mit Schaumstoffpolstern fixiert. Um die richtige Lage des Kopfes zu gewährleisten, wurde zunächst eine Probeaufnahme (Localiser) gemacht. Daraufhin wurde der Kopf gegebenenfalls in seiner Lage korrigiert.

Die funktionellen Daten wurden mithilfe einer sogenannten EPI-Sequenz (Echo Planar Imaging Sequenz) ermittelt. Hierbei wurden 32 Schichten (Schichtdicke = 3mm) aufgezeichnet. Folgende Parameter galten bei diesen Aufnahmen: Time-to-Repeat (TR) von 2000ms, Time-to-Echo (TE) von 30ms, Field of View (FoV) von 192x192 mm und eine Voxel-Größe von 3x3x3 mm. Der Flip Winkel betrug 90°. Insgesamt wurden im gesamten Experiment 790 Bilder aufgenommen. Die strukturellen Daten wurden mit einer MPRAGE (Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo) Aufnahme erstellt. Die Parameter hierbei: TR=2250ms, TE=3,93ms, FoV=256x256mm und Flip angle = 90°. Insgesamt gab es 160 Schichten mit Voxeln der Größe 1x1x1mm.

4.7 Versuchsablauf

Die Messungen erfolgten an mehreren Tagen in einem Zeitraum von etwa 4 Wochen. Die Versuchspersonen wurden dabei so einbestellt, dass drei oder vier Personen in einem möglichst engen zeitlichen Fenster gemessen werden konnten. Nach einer kurzen Begrüßung wurden die Probanden gebeten, ein Formular mit ihren Stammdaten auszufüllen und die Einverständniserklärung zur Teilnahme an unserer Studie zu unterzeichnen. An diesem Punkt wurde erneut überprüft, ob eine entsprechende Kontraindikation für die Durchführung einer Magnetresonanzuntersuchung vorlag. Um einen möglichst reibungslosen Ablauf der Messung und möglichst unverfälschte Ergebnisse zu gewährleisten, wurde jeder einzelne Proband intensiv auf das anstehende Experiment vorbereitet. Die Vorbereitung erfolgte in zwei Stufen. Zunächst wurde den Versuchspersonen der prinzipielle Aufbau des Experiments erläutert. Neben der Vorstellung des Stimulusmaterials und der genauen zeitlichen Abläufe wurde vor allem das Prinzip einer TB/FB Aufgabe genau besprochen. Nachdem die wichtigsten Fragen und Schwierigkeiten mit dem Versuchsleiter besprochen worden waren, folgte der zweite

Schritt der Vorbereitung. Hierbei bekam jeder Proband die Möglichkeit an einem separaten Rechner außerhalb des fMRT Geräts die Bearbeitung der Trials zu üben, die auch im Experiment präsentiert werden würden. Nach der Messung wurde der jeweilige Teilnehmer noch gebeten zusammen mit einem Mitarbeiter einen etwa zwanzigminütigen CFT-Test (Culture Fair Intelligence Test; Cattell, Weiß, Osterland 1997) zu bearbeiten, der eine grob orientierende Aussage über den Intelligenzquotienten des Probanden ergab. Hierzu wurden vier Testabschnitte durchgearbeitet, in denen vor allem logische Abfolgen geometrischer Figuren ergänzt werden mussten. Sobald die gesamte Vorbereitung durchlaufen war, wurden die Versuchspersonen zum Kernspintomografen begleitet. Um Störungen bei der Messung und Beschädigung von Eigentum der Probanden zu verhindern, wurde vor Betreten des MRT-Raums darauf geachtet, dass metallische Gegenstände im Vorraum abgelegt wurden. Aufgrund der erheblichen Lärmbelastung bei einer magnetresonanztomografischen Untersuchung und der daraus möglicherweise resultierenden gestörten Konzentrationsfähigkeit wurden die Versuchspersonen mit Oropax und einem Kopfhörer ausgestattet. Mit diesem Kopfhörer konnten die Versuchsleiter auch mit den Probanden kommunizieren, während sich diese in der Röhre befanden. Die Versuchspersonen wurden gebeten, sich vorsichtig auf die Liege des MRT Geräts zu legen und den Kopf in eine mit Schaumstoff gepolsterte Schale zu betten. Sobald eine für den Probanden möglichst bequeme und vor allem stabile Lage gefunden worden war, wurde die Kopfspule des Gerätes angebracht. Um den Probanden das Liegen für die Dauer der Messung möglichst angenehm zu machen, wurde unter die Kniekehlen der Probanden außerdem ein Schaumstoffkissen gelegt. Die Reaktionsbox zur Übermittlung der jeweiligen Antworten bekamen die Versuchspersonen in die rechte Hand gelegt. Die rechte Hand wurde dabei standardisiert so aufgelegt, dass der Zeigefinger die Antworttaste 1 und der Mittelfinger die Antworttaste 2 drücken konnte. In die linke Hand wurde den Probanden ein Alarmknopf gegeben und der Proband wurde instruiert diesen zu drücken, sobald er sich nicht mehr in der Lage fühle, die Messung im Gerät fortzuführen. Zuletzt wurden die Probanden erneut gebeten sich besonders darauf zu konzentrieren, den Kopf während der gesamten Messung äußerst ruhig zu halten. Nachdem die Versuchspersonen in den Tomografen gefahren worden waren, wurde die erste Messung gestartet. Bei dieser ersten Messung handelte es sich um eine anatomische Referenzmessung. Im Anschluss folgte die T2 gewichtete EPI-Sequenz. Im Laufe dieser Messung wurden dem Probanden die 70 TB und FB Trials präsentiert. Mit den

entsprechenden Pausen zwischen den Trials betrug die Dauer dieser Messung 11 Minuten. Zum Abschluss der Messung wurde noch eine strukturelle Aufnahme des jeweiligen Gehirns angefertigt. Nach dem Ende der Trials wurde der Proband dazu über die Sprechanlage aufgefordert, für weitere 5 Minuten ruhig liegen zu bleiben. Sobald die strukturelle Aufnahme fertig war, wurde der Proband aus dem Tomografen gefahren und es wurden alle Gerätschaften entfernt.

4.8 Statistische Analyse

4.8.1 Analyse der Verhaltensdaten

Anhand der von der Präsentation Software ausgegebenen Logfiles ermittelten wir für jede Versuchsperson die Anzahl der Bearbeitungsfehler in den TB und FB Bedingungen. Die daraus entstandene Quote an richtigen Antworten, so wie die Reaktionszeiten der richtigen und falschen Antworten in den einzelnen Bedingungen wurden in einer Tabelle zusammengefasst. Die erhobenen Daten wurden einem statistischen Vergleich unterzogen. Mithilfe der SPSS 16 Software (SPSS Corp., Chicago, IL) wurden dazu T-Tests errechnet. Das statistische Signifikanzniveau betrug dabei $p \leq 0,05$.

4.8.2 Analyse der fMRT-Daten

Alle aus der fMRT-Messung gewonnenen Bilder und Daten wurden mit der Software SPM5 vorverarbeitet und statistisch analysiert. Dieses Programm kann als Freeware heruntergeladen werden (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm5>) und basiert auf dem Datenauswertungsprogramm Matlab (The MathWorks, Natick, MA).

4.8.2.1 Vorverarbeitung

Um fMRT Daten einer einzelnen Person oder aber auch Daten mehrerer Personen vergleichen zu können, müssen die erhobenen Daten in mehreren Schritten für einen solchen Vergleich vorbereitet werden. Im Folgenden soll eine kurze Erläuterung der Schritte folgen, die mithilfe der SPM 5 Software vorgenommen wurden, um die Analyse der fMRT Daten zu ermöglichen.

Zunächst wurden alle Daten, die das MRT-Gerät als DICOM Daten gespeichert hatte, mithilfe von SPM5 in das NIFTI-Format umgewandelt. Um die Zeitunterschiede, die innerhalb der Messung der verschiedenen Schichten entstanden waren, auszugleichen,

wurde zunächst das so genannte „Slice timing“ verändert. Diese Überarbeitung ist notwendig damit die Informationen aus allen Schichten sich auf denselben Messzeitpunkt beziehen. Damit jegliche Bewegungsartefakte, die bei einer fMRT-Messung regelmäßig entstehen, ausgeglichen werden konnten, wurde anschließend ein sogenanntes Realignment durchgeführt. Dabei werden anhand eines ausgewählten Referenzbildes alle Bilder einer Messung räumlich so angeglichen, dass sie dieselbe Ausrichtung haben. Der nächste Schritt war die Coregistration, bei der die funktionellen Bilder und das strukturelle 3d-Bild übereinandergelegt wurden. Im folgenden Schritt des Normalisierens wurden die so weit vorverarbeiteten Bilder an ein Standardgehirn angeglichen, um sie trotz der unterschiedlichen Strukturen der einzelnen Probanden für die Gruppenanalyse kompatibel zu machen. Als Standardgehirn diente eine Vorlage aus der SPM5 Software (Template „T1.mni“). Diese Vorlage bezieht sich auf Daten, die vom Montreal Neurological Institute (MNI) erhoben wurden. Im abschließenden Schritt der Vorverarbeitung wurden evtl. noch vorliegende störende Effekte unterdrückt, die durch den Vergleich anatomisch verschiedener Gehirne entstehen können. Dazu wurden die jeweiligen Signale räumlich geglättet. In der vorliegenden Studie wurde ein full-width half maximum (FWHM) von 8 mm verwendet.

Nach der beschriebenen Vorverarbeitung der Daten folgte die statistische Analyse der fMRT Daten.

4.8.2.2 Statistische Analyse der fMRT-Daten

Die statistische Auswertung der vor verarbeiteten Daten erfolgt in zwei Schritten. Die „first level“ Modelle stellen dabei einzelne Datensätze eines jeden Probanden dar, die in der Einzelanalyse ausgewertet werden. In der „second level“ Analyse werden dann die einzelnen Modelle der Versuchspersonen zusammengeführt, hierbei spricht man von der Gruppenanalyse.

4.8.2.2.1 Einzelanalyse

Der entscheidende Schritt der Einzelanalyse (Single Subject analysis) ist die Erstellung einer sogenannten Designmatrix. Die Design Matrix definiert das experimentelle Design und die Grundzüge der Hypothesentestung, die durchgeführt werden soll. Dazu werden die jeweiligen Ereignisse und Bedingungen sowie die korrespondierenden Scans

angegeben. Für das Erstellen der Designmatrix müssen vom Benutzer zunächst verschiedene Parameter angegeben werden. Neben verschiedenen anderen Timing-Parametern ist vor allem die jeweilige Startzeit der Bedingungen (Onsets) entscheidend. Im anschließenden Schritt wurde das so erstellte Modell statistisch, anhand multipler t-Tests, geschätzt („Estimate“). Grundlage hierfür bildeten die Annahmen des Allgemeinen Linearen Modells (ALM).

4.8.2.2.2 Gruppenanalyse

Mit den Ergebnissen aus der single subject Analyse wurde im Anschluss mit Hilfe von multiplen t-Tests, basierend auf Annahmen des Allgemeinen Linearen Modells, die Gruppenstatistik erstellt. Wie bei der Schätzung in der Einzelanalyse erfolgt die Modellschätzung über den Befehl „Estimate“ der entsprechenden SPM.mat-Datei.

Für die Auswertung der vorliegenden Studie wurden in der Gruppenanalyse drei Kontraste erstellt. Neben den Vergleichen der True und False Belief Bedingung mit der Baselineaktivität (TB/FB > Baseline) wurden auch die beiden Bedingungen selbst miteinander verglichen (FB > TB).

Wie auch bei den Verhaltensdaten wurden multiple t-Tests zum statistischen Vergleich der einzelnen Daten eingesetzt. Für die Kontraste FB > Baseline und TB > Baseline wurde dabei ein T-Wert von 5 auf Voxel-Ebene verwendet, für den Kontrast FB > TB betrug der T-Wert 4. Auf Clusterebene wurde ein Wert von $p \leq 0,05$ benutzt.

5 ERGEBNISSE

5.1 Verhaltensdaten

5.1.1 Reaktionszeiten

In der deskriptiven Statistik der Verhaltensdaten wurden für die 12 Versuchspersonen gemittelte Reaktionszeiten von 744,8 ms für die True Belief Bedingung (SD = 150,1 ms) und 754,9 ms für die False Belief Bedingung (SD = 148,9 ms) ermittelt. Durch den Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest wurde im Anschluss sichergestellt, dass es sich bei der Verteilung der erhobenen Daten statistisch um eine Normalverteilung handelt. Somit war die Voraussetzung für die weitere Auswertung mit dem T-Test gegeben. Für die Vergleich True Belief – False Belief ergab sich hierbei ein T Wert von 1,14 (df = 11; $p \leq 0,277$). Somit gibt es für die Reaktionszeiten, sowohl in der True Belief als auch in der False Belief Bedingung, keinen signifikanten Unterschied. Abbildung 5.1 veranschaulicht die erhobenen Werte.

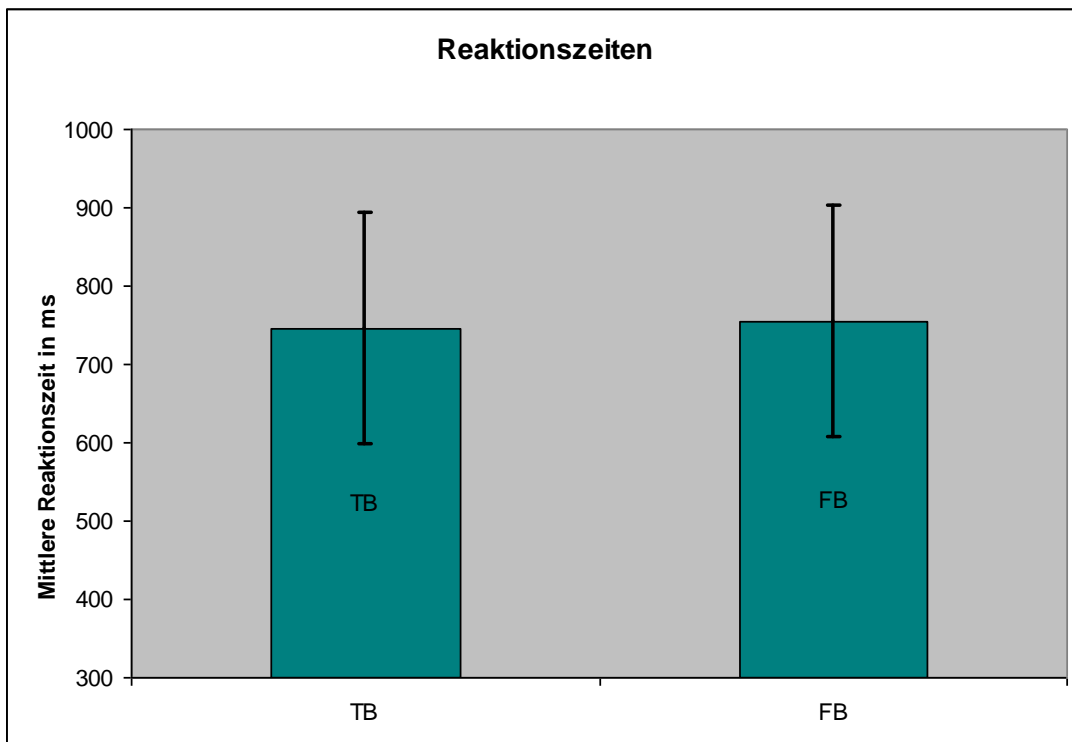


Abbildung 5.1: Mittelwerte \pm Standardabweichung der Reaktionszeiten beim Vergleich der Bedingungen True Belief und False Belief. Eine Signifikanz wurde für den Vergleich der Reaktionszeiten nicht gefunden.

5.1.2 Bearbeitungsgenauigkeit

Die mittlere Bearbeitungsgenauigkeit über alle Versuchspersonen ($N = 12$) für die Bedingung True Belief betrug 96,4 % ($SD = 2,15$; entspricht 2,1 Antworten). Für die Bedingung False Belief ergab sich ein Mittelwert von 95,5 % ($SD = 3,3$; entspricht 3,2 Antworten). Bei einem T-Wert von 0,979 ($df = 11$) wurde ein zweiseitiger Signifikanzwert von 0,349 errechnet ($T(df = 11) = 0,979$). Es ergab sich folglich kein signifikanter Unterschied für die Bearbeitungsgenauigkeit zwischen der TB und FB Bedingung.

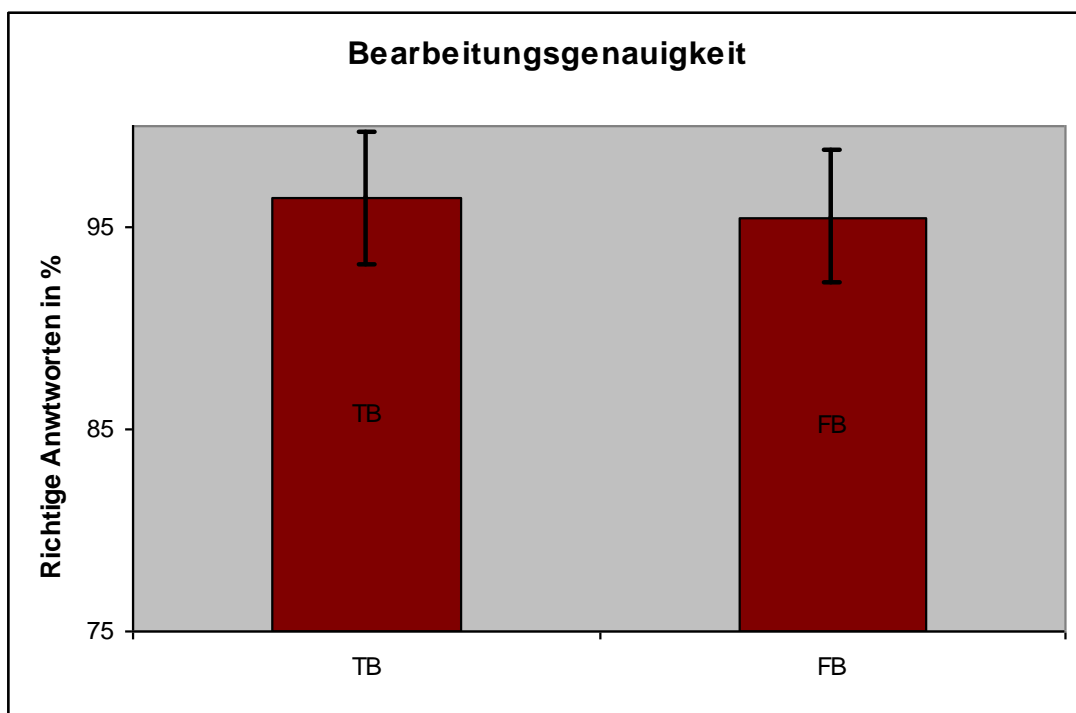


Abbildung 5.2: Bearbeitungsgenauigkeit in Prozent richtiger Antworten \pm Standardabweichung beim Vergleich der Bedingungen True Belief und False Belief. Eine Signifikanz wurde für den Vergleich der Bearbeitungsgenauigkeit bei beiden Bedingungen nicht gefunden.

5.2 FMRT-Daten

Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt, die sich nach statistischer Auswertung der fMRT-Daten für die drei Kontraste TB > Baseline, FB > Baseline und FB > TB ergaben. Während dafür in den beiden Kontrasten TB > Baseline und FB > Baseline die Aktivierungen der jeweiligen Bedingung gegen die Baseline gerechnet wurden, entspricht der dritte Kontrast (FB > TB) einem direkten Vergleich beider Bedingungen. Im

Folgenden werden dafür, nach einer Auflistung der wichtigsten aktivierten Areale, in Tabellen die Gehirnareale aufgelistet, die im jeweiligen Kontrast eine signifikante Mehraktivierung zeigten. Zum anderen werden die Areale in entsprechenden Grafiken dargestellt, die die ermittelten Ergebnisse plastisch veranschaulichen.

5.2.1 FB > TB

Für den Kontrast FB > TB wurde nicht die Aktivierung einer Bedingung gegen die Aktivierung der Baseline gerechnet, sondern es wurden beide Bedingungen gegeneinander verglichen. Der Kontrast wurde dabei so gewählt, dass all die Gehirnareale ausgegeben wurden, in denen die Aktivierung bei der FB-Bedingung größer war als die Aktivierung bei der TB-Bedingung. Dieser Kontrast soll Aufschluss darüber geben welche Gehirnareale bei der Bearbeitung einer FB-Aufgabe, sprich beim Durchführen einer False Belief Attribution, aktiviert werden und eben im TB-Setting nicht oder schwächer aktiviert werden. Somit würden die entsprechenden Areale beim so genannten „decoupling“ mehr aktiviert als bei einer TB-Aufgabe ohne decoupling. Um die tabellarische Darstellung übersichtlicher zu gestalten, wurden manche Areale zu funktionellen Einheiten zusammengefasst. Neben der neuroanatomischen Bezeichnung der einzelnen Strukturen werden die jeweilige Hemisphäre (links/rechts) sowie das entsprechende Areal nach Brodmann (BA) angegeben. In der FB Bedingungen erfuhren der bilaterale mittlere Gyrus frontalis (BA 8), der Gyrus präcentralis links (BA 4), der bilaterale mediale Gyrus frontalis (BA 10) und der superiore Gyrus frontalis (BA 6) eine signifikante Mehraktivierung im Vergleich zur TB-Bedingung. Ebenfalls vermehrt aktiviert wurden der mittlere Gyrus frontalis rechts (BA 8), der superiore Gyrus frontalis rechts (BA 6) und der bilaterale mediale und mittlere Gyrus frontalis (BA 8, 10). Eine entsprechende Mehraktivierung wurde auch für den bilateralen mittleren Gyrus temporalis rechts (BA 21), den bilateralen Gyrus supramarginalis (BA 40) und den bilateralen inferioren Lobulus parietalis (bil. TPJ; BA 39, 40), den Thalamus und den bilateralen Präcuneus (BA 7) errechnet.

Es folgt nun zunächst eine tabellarische Auflistung der Ergebnisse (Tabelle 5.1), anschließend werden diese Ergebnisse anhand zweier Grafiken veranschaulicht (Abbildung 5.3 und 5.4).

Tabelle 5.1. Auflistung der Gehirnareale, für die eine signifikante Mehraktivierung für den Kontrast FB > TB errechnet wurde. Ferner werden die Brodmann Areale, die Cluster-Größe, die MNI-Koordinaten und die entsprechenden T-Werte der Areale angezeigt.

<i>FB > TB</i>							
Gehirnregion & Hemisphäre	Brodmann Areale	Cluster-Größe in Voxel (2x2x2mm)	MNI Koordinaten			T-Werte (korrigierter p-Wert p <=0,5)	
			x	y	z		
mittlerer Gyrus frontalis li, Gyrus präcentralis li	8, 9	532	-42	22	42	10,04	
mittlerer Gyrus frontalis re	6, 8	129	32	4	52	9,12	
Gyrus supramarginalis re. Inferiorer Parietallappen re (inkl. TPJ)	40	505	52	-50	38	8,92	
medialer Gyrus frontalis bil.	9, 10	269	6	66	22	7,06	
mittlerer Gyrus temporalis re	21	161	66	-36	-2	6,89	
Gyrus supramarginalis li. Inferiorer Parietallappen li (inkl. TPJ)	39, 40	543	-52	-50	32	6,89	
mittlerer Gyrus frontalis li	10	182	-40	52	-4	6,86	
mittlerer Gyrus temporalis li	21	89	64	-38	-10	6,68	
Thalamus li	-	162	-18	4	14	6,36	
Präcuneus bilateral	7	179	-2	-62	44	6,24	
medialer Gyrus frontalis bil., superiorer Gyrus frontalis	6, 8	352	10	34	46	6,19	
mittlerer Gyrus frontalis re	9, 46	84	52	28	30	5,98	
mittlerer Gyrus frontalis re, superiorer Gyrus frontalis re	10	110	30	58	10	5,72	

Abbildung 5.3. Signifikante Aktivierungen für den Vergleich FB > TB auf einem Standardgehirn. Die zweite Grafik (5.4) zeigt eine alternative Darstellung der ermittelten Ergebnisse. Der Balken in der Mitte der Grafik ermöglicht eine Abschätzung der Intensität der Aktivierungen in den Standardgehirnen. Die Farbe der Markierung bezieht sich dabei auf den T-Wert des zugrunde liegenden Datensatzes.

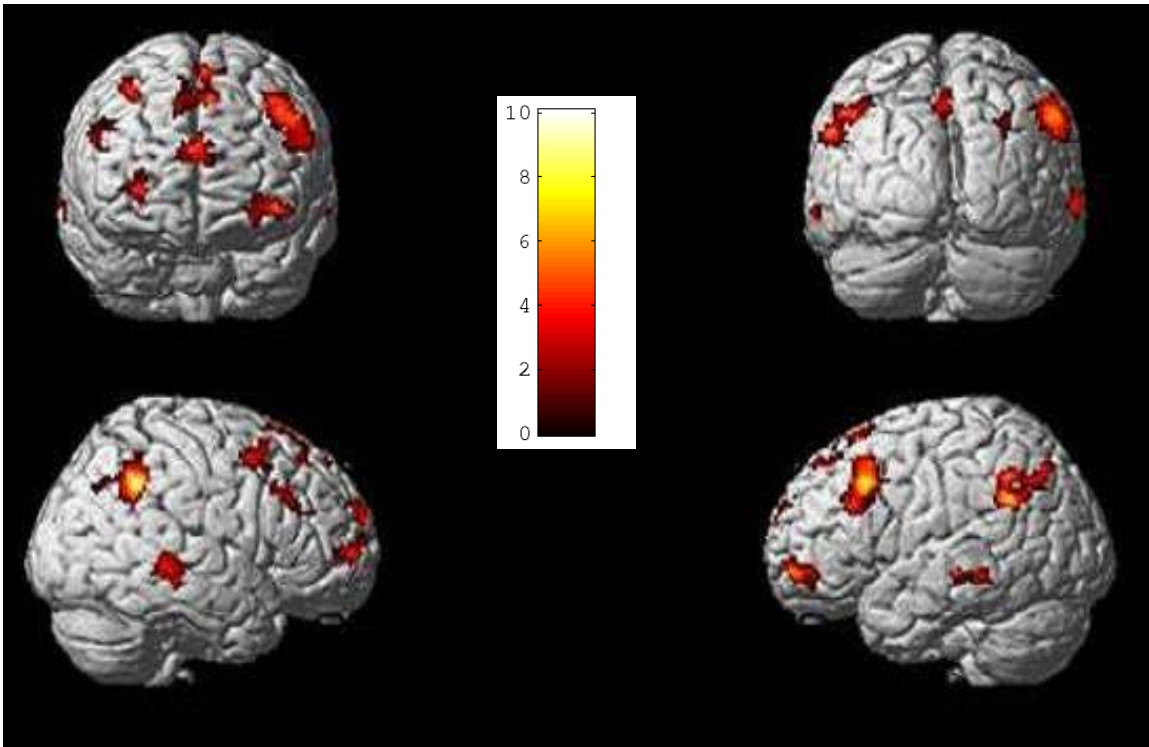


Abbildung 5.3: grafische Darstellung der signifikant mehr aktivierten Gehirnareale für den Kontrast FB > TB, bei einem Voxel-basierten T-Wert von $T=4$ und einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$. Der Balken in der Mitte der Grafik veranschaulicht die Intensität der Aktivierung anhand eines Verhältnisses zwischen Farbe der Markierung und T-Wert des zugrunde liegenden Datensatzes. Das Standardgehirn ist von links oben nach rechts unten jeweils in der Ansicht von frontal – dorsal – rechts - links gezeigt.

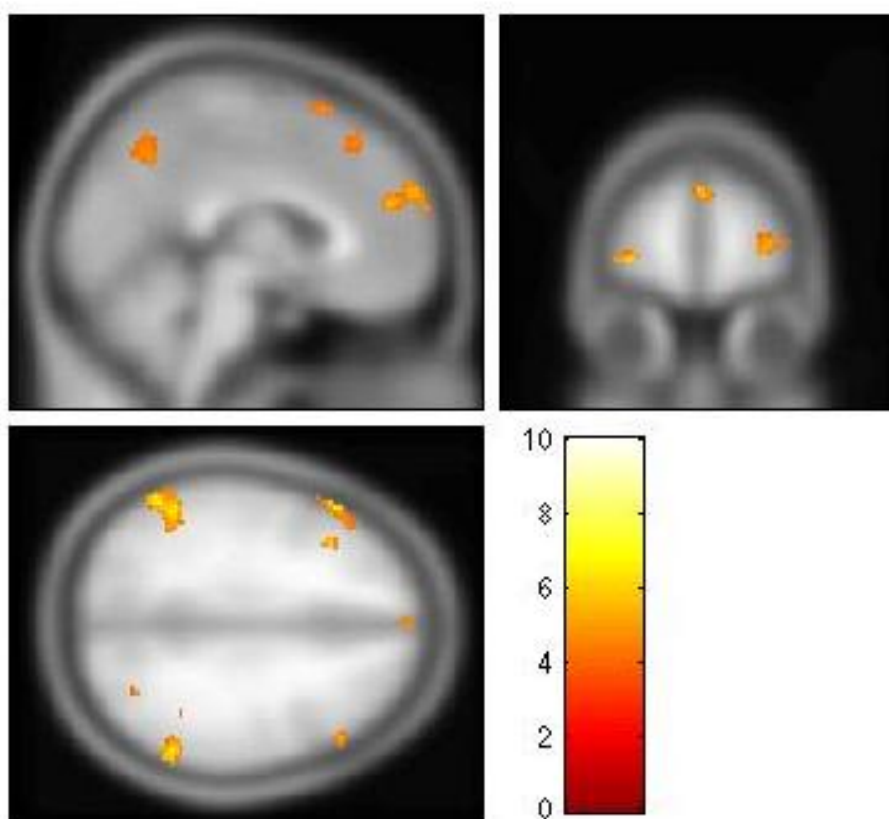


Abbildung 5.4: grafische Darstellung der signifikant mehr aktivierten Gehirnareale für den Kontrast FB > TB; T = 4 (Voxel basiert) $p \leq 0,05$ (Cluster-Ebene). Der Balken im rechten unteren Quadranten veranschaulicht die Intensität der Aktivierung anhand eines Verhältnisses zwischen Farbe der Markierung und T-Wert des zugrunde liegenden Datensatzes. Das Standardgehirn ist im Uhrzeigersinn in den Schnittebenen Sagittal – Frontal – Transversal gezeigt.

5.2.2 TB > Baseline

Der Kontrast True Belief Bedingung > Baseline gibt die Gehirnareale an, die bei der Bearbeitung der TB Aufgaben im Gegensatz zur Baseline mehr aktiviert werden. Es folgt eine Aufzählung der entsprechend aktivierten Areale. Im Gegensatz zur ausführlichen tabellarischen Darstellung im Anschluss wurden dafür manche Areale zu funktionellen Einheiten zusammengefasst. Neben der neuroanatomischen Bezeichnung der einzelnen Strukturen werden die jeweilige Hemisphäre (links/rechts) sowie das entsprechende Areal nach Brodmann (BA) angegeben.

Eine Mehraktivierung während der TB Aufgaben im Vergleich zu der Baseline zeigte sich im Gyrus präcentralis links (BA 4), im Gyrus postcentralis links (BA 1,2,3), dem Gyrus supramarginalis links (BA 40), dem angulären Gyrus links (BA 39) sowie dem inferioren Parietallappen links inklusive der temporo-parietalen Junction (TPJ). Ebenfalls wurde eine Mehraktivierung im mittleren Gyrus temporalis rechts, im superioren Gyrus temporalis rechts inklusive der rechten TPJ sowie dem mittleren occipitalen Gyrus rechts (BA 37, 39, 40) gefunden. Ferner gab es entsprechende Mehraktivierungen im Gyrus postcentralis rechts (BA 1, 2), dem Gyrus frontalis inferior rechts (BA 44, 45) und dem linken Thalamus. Zusätzlich wurden der Gyrus frontalis inferior links (BA 9, 44, 45), der Gyrus präcentralis links (BA 4), der bilaterale Gyrus frontalis superior (BA 6), der bilaterale Gyrus frontalis medialis (BA 8) und der bilaterale Präcuneus (BA 7) vermehrt aktiviert.

In Tabelle 5.2 werden alle registrierten Mehraktivierungen für den Kontrast TB > Baseline gezeigt. Neben der Angabe der anatomischen Strukturen (mit Angabe der jeweiligen Hemisphäre) und den entsprechenden Brodmann Arealen werden die Größe der jeweiligen Cluster (in Voxel), die MNI-Koordinaten (beziehen sich auf das Montreal Neurological Institute Standard Gehirn) und die entsprechenden T-Werte angegeben.

Die darauf folgende Abbildung 5.5 veranschaulicht die aufgelisteten Ergebnisse der Tabelle 5.2. Signifikant mehr aktivierte Areale erscheinen hier an diesem standardisierten Gehirn in verschiedenen Farbstufen (entsprechend den T-Werten) von Gelb bis Rot.

Tabelle 5.2. Auflistung der Gehirnareale, für die eine signifikante Mehraktivierung für den Kontrast TB > Baseline errechnet wurde. Ferner werden die Brodmann Areale, die Cluster –Größe, die MNI-Koordinaten und die entsprechenden T-Werte der Areale angezeigt.

TB > Baseline

Gehirnregion & Hemisphäre	Brodmann Areale	Cluster-Größe in Voxel (2x2x2mm)	MNI Koordinaten			T-Werte (korrigierter p-Wert $p \leq 0,05$)
			x	y	z	
Gyrus präcentralis li, Gyrus postcentralis li, Gyrus supramarginalis li, angulärer Gyrus li, inf. Parietallappen li inkl. TPJ	1, 2, 3, 4, 39, 40	5298	-32	-20	72	15,68
mittlerer Gyrus temporalis re, sup. Gyrus temporalis re inkl. TPJ, mittlerer occipitaler Gyrus re	37, 39, 40	2146	60	-40	6	11,27
Gyrus postcentralis re	1, 2	721	62	-18	44	9,67
Gyrus frontalis inferior re	44, 45	936	52	8	46	9,20
Thalamus li	-	233	-12	-14	4	9,16
Gyrus frontalis inf. li, Gyrus präcentralis li	9, 44, 45	679	-56	0	42	9,13
Gyrus frontalis sup. bil., Gyrus frontalis med. bil.	6, 8	357	0	20	60	8,47
Präcuneus bil.	7	586	6	-66	58	7,04

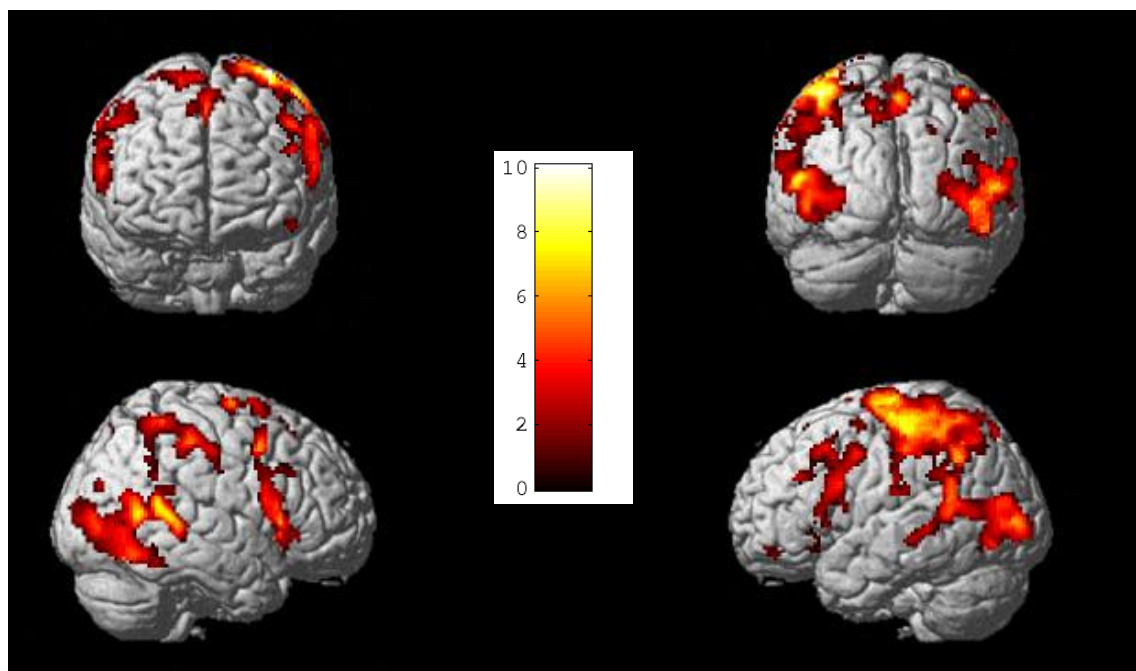


Abbildung 5.5: grafische Darstellung der signifikant aktivierten Gehirnareale für den Kontrast TB > Baseline, bei einem Voxel-basierten T-Wert von $T=5$ und einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$. Der Balken in der Mitte der Grafik veranschaulicht die Intensität der Aktivierung anhand eines Verhältnisses zwischen Farbe der Markierung und T-Wert des zugrunde liegenden Datensatzes. Das Standardgehirn ist von links oben nach rechts unten jeweils in der Ansicht von frontal – dorsal – rechts - links gezeigt.

5.2.3 FB > Baseline

Der Kontrast False Belief Bedingung > Baseline Aktivität gibt die Gehirnareale an, die bei der Bearbeitung der FB-Aufgaben im Gegensatz zur Baselinebedingung stärker aktiviert werden. Es folgt eine Aufzählung der entsprechend aktivierten Areale. Wie bereits bei der Auflistung der Ergebnisse für den Kontrast TB > BL wurden dafür manche Areale zu funktionellen Einheiten zusammengefasst. Neben der neuroanatomischen Bezeichnung der einzelnen Strukturen werden die jeweilige Hemisphäre (links/rechts) sowie das entsprechende Areal nach Brodmann (BA) angegeben.

Eine Mehraktivierung während der FB-Aufgaben im Vergleich zu der Baseline zeigte sich im Gyrus präcentralis links (BA 4), im Gyrus postcentralis links (BA 1,2,3), dem angulären Gyrus links (BA 39), dem Gyrus supramarginalis links (BA 40), dem superioren und inferioren Parietallappen links (BA 6,9) sowie dem linken occipitalen Gyrus. Ebenfalls wurde eine Mehraktivierung im mittleren Gyrus temporalis rechts (BA 37), im superioren Gyrus temporalis rechts (BA 22) sowie dem mittleren occipitalen Gyrus rechts gefunden. Ebenfalls vermehrt aktiviert wurden der bilaterale Gyrus frontalis inferior (BA 44,45), der bilaterale mittlere Gyrus frontalis (BA 9) und der linke Thalamus. Gleiches gilt für den Gyrus frontalis superior rechts (BA 6) und den mittleren Gyrus frontalis rechts (BA 8), den mittleren Gyrus frontalis links (BA 10), den Gyrus supramarginalis (BA 40) sowie den bilateralen inferioren Lobulus parietalis (bil. TPJ) (BA 39, 40) und den rechten Präcuneus (BA 7, 39).

In gleicher Weise wie in der tabellarischen Darstellung für den Kontrast TB > Baseline, stellt Tabelle 5.3 die Areale mit einer Mehraktivierung für den Kontrast FB > Baseline dar. Abbildung 5.6 veranschaulicht die aufgelisteten Ergebnisse der Tabelle 5.3. Signifikant mehr aktivierte Areale erscheinen hier an diesem standardisierten Gehirn in verschiedenen Farbstufen (entsprechend den T-Werten) von Gelb bis Rot.

Tabelle 5.3. Auflistung der Gehirnareale, für die eine signifikante Mehraktivierung für den Kontrast FB > Baseline errechnet wurde. Ferner werden die Brodmann Areale, die Cluster –Größe, die MNI-Koordinaten und die entsprechenden T-Werte der Areale angezeigt.

FB > Baseline

Gehirnregion & Hemisphäre	Brodmann Areale	Cluster- Größe in Voxel (2x2x2mm)	MNI Koordinaten			T-Werte (korrigierter p-Wert p <=0,5)
			x	y	z	
Gyrus präcentralis li, Gyrus postcentralis li, Gyrus supramarginalis li (inkl. TPJ), angulärer Gyrus li, inf. Parietallappen li, sup. Parietallappen li, mittlerer occipitaler Gyrus li	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 39, 40	8935	-46	-80	16	13,05
mittlerer Gyrus temporalis re, sup. Gyrus temporalis re, mittlerer occipitaler Gyrus re	22, 37, 39	2599	64	-36	0	13,04
Gyrus frontalis inferior re, mittlerer Gyrus frontalis re	9, 44, 45	2095	18	-4	2	12,38
Gyrus frontalis inferior li, mittlerer Gyrus frontalis li, Thalamus li	9, 44, 45	2730	-44	22	44	9,78
Gyrus supramarginalis re, inf. Parietallappen re inkl. TPJ	40	1433	50	-50	32	9,44
Gyrus frontalis sup. Re, mittlerer Gyrus frontalis re	6	136	14	-10	70	8,84
mittlerer Gyrus frontalis li	10	127	-48	46	-14	8,01
Präcuneus re	7, 39	91	32	-66	34	6,72

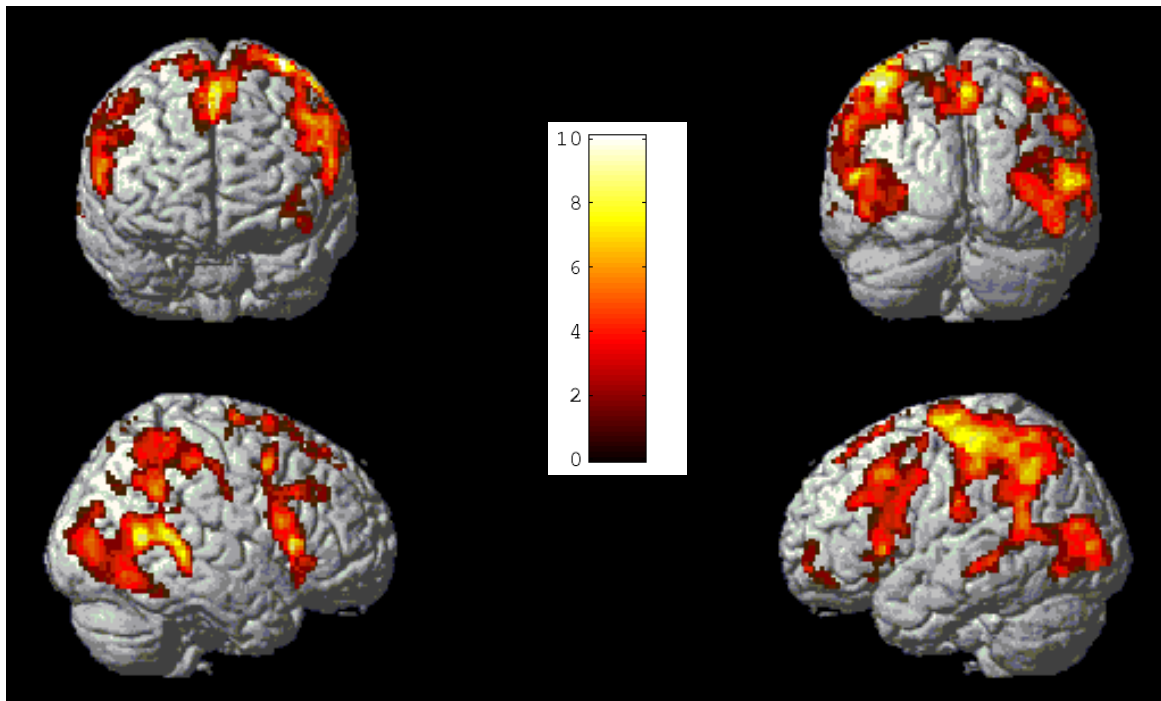


Abbildung 5.6: grafische Darstellung der signifikant mehr aktivierten Gehirnareale für den Kontrast TB > Baseline, bei einem Voxel-basierten T-Wert von $T=5$ und einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$. Der Balken in der Mitte der Grafik veranschaulicht die Intensität der Aktivierung anhand eines Verhältnisses zwischen Farbe der Markierung und T-Wert des zugrunde liegenden Datensatzes. Das Standardgehirn ist von links oben nach rechts unten jeweils in der Ansicht von frontal – dorsal – rechts - links gezeigt.

6 DISKUSSION

Der vorliegenden Studie liegt das zentrale Ziel zugrunde, mit aktuellen Ergebnissen zum Thema „Neuronale Korrelate der Theory of Mind“ mehr Konsistenz für die bereits in anderen Studien erarbeiteten und diskutierten Bereiche und Areale zu liefern. Die Auswahl des Paradigmas leitete sich somit unmittelbar aus dieser Vorgabe ab. Wie eine Großzahl anderer Arbeiten aus der ToM-Forschung mittels fMRT Bildgebung wurde auch in dieser Studie eine Abwandlung des so genannten „Sally-Anne Paradigmas“ verwendet, welches in Kapitel 2.2.1 bereits ausführlich erläutert wurde. Im Gegensatz zu anderen Arbeiten, allen voran der Vorgängerstudie von Sommer et. al (2007) wurden jedoch die einzelnen Paradigmen verkürzt. So bestanden sowohl die 35 True Belief Trials, als auch die 35 False Belief Trials je nur aus einer Serie von drei Bildern (vgl. Sommer et al.: 7 Bilder pro Trial). Die genaue Struktur der verwendeten Trials ist in Kapiteln 4.4.1 und 4.4.2 detailliert aufgezeigt. Trotz der komprimierten Stimuli wurde erwartet, dass die Vorgänge der Belief Attribution weiterhin durch die entsprechenden TB und FB Trials ausgelöst werden würden. Dementsprechend wurde also auch erwartet, dass die verkürzten Stimuli zu vergleichbaren neuronalen Aktivierungen führen würden, wie bei den besagten Vergleichsstudien.

Für die Verhaltensdaten konnte aufgrund entsprechender Angaben in der Literatur (u.a. Sommer et al., 2007) davon ausgegangen werden, dass sich die Reaktionszeiten der Versuchspersonen für die beiden Aufgaben bzw. Bedingungen True Belief (TB) und False Belief (FB) nicht signifikant unterscheiden würden. Da die Studie mit gesunden Probanden ohne kognitive Einschränkungen durchgeführt wurde, konnte auch für die Bearbeitungsgenauigkeit bei der Beantwortungen der TB und FB Trials davon ausgegangen werden, dass kein signifikanter Unterschied auftreten würde. Alle bisherigen Arbeiten weisen daraufhin, dass bei gesunden Erwachsenen der Vorgang des Mentalisierens so automatisiert abläuft, dass keine große Streuung der Beantwortungsgenauigkeit vorkommt. Um trotzdem eventuell vorliegende kognitive Defizite bei den Versuchspersonen auszuschließen, wurde im Rahmen der Vorbereitung auf die Messung mit allen Probanden ein grob orientierender IQ-Test durchgeführt (Culture Fair Intelligence Test - Cattell, Weiß, Osterland 1997; siehe Kapitel 4.5).

Die Erwartungen an die Ergebnisse der Auswertung der fMRT Daten orientierten sich, wie bereits erwähnt, stark an aktuellen Ergebnissen vergleichbaren Studien der letzten Jahre (z. B. Saxe 2006; Mitchell 2007; Sommer et al., 2007). Von entscheidender Bedeutung für den nun folgenden Diskussions-Teil ist dabei der bereits zuvor vorgestellte Kontrast FB > TB, also der Kontrast, der die Areale wiedergeben soll, welche beim Erkennen einer falschen Überzeugung vermehrt aktiviert werden. Für diesen Kontrast wurden unter anderem Mehraktivierungen im mPFC, der bilateralen TPJ und dem bilateralen Präcuneus erwartet.

Im Folgenden soll nun diskutiert werden, inwieweit die gefundenen Ergebnisse zu den eben geschilderten Erwartungen und somit den bisherigen Ergebnissen anderer Studien passen. Für drei Areale, den mPFC, die bilaterale TPJ und den bilaterale Präcuneus soll zusätzlich ausführlich diskutiert werden, wie genau ihre jeweiligen Rollen innerhalb der neuronalen Vorgänge der Theory of Mind aussehen könnten.

6.1 Verhaltensdaten

6.1.1 Bearbeitungsgeschwindigkeit

Die Auswertung der Reaktionszeiten der 12 Versuchspersonen ergab eine mittlere Reaktionszeit bei der Bearbeitung des TB Trials von 744,8 ms und einen Wert von 754,9 ms für die Bearbeitung der FB-Trials. Auch die jeweiligen Standardabweichungen lagen mit 150,1 ms (TB) bzw. 148,9 ms (FB) sehr nah beieinander. In der statistischen Auswertung ergab sich, wie erwartet, kein signifikanter Unterschied für die beiden mittleren Reaktionszeiten. Auch in der Vorgängerarbeit (Sommer et al, 2007) wurde hierfür kein signifikanter Unterschied gefunden. Ableiten lässt sich aus diesen Ergebnissen, dass es für die Versuchspersonen keinen Unterschied für die Bearbeitungsdauer ausmacht, ob sie einen mit der Realität kongruenten TB erkennen, oder mit dem eigentlich komplexeren FB konfrontiert werden. Die dafür so wichtigen Vorgänge des „decouplings“ und des Mentalisierens erfordern also offensichtlich keinen zeitlichen Mehraufwand. Eine mögliche Erklärung für die Homogenität der Reaktionszeiten liefert auch die Tatsache, dass die Probanden während der Vorbereitung auf die eigentliche Messung gezielt für die Bearbeitung der TB und FB Trials vorbereitet wurden. Nachdem zunächst die theoretischen Grundlagen für die Bearbeitung erläutert worden waren, wurde im Anschluss mit den Probanden an einem PC geübt, der bereits

Stimuli präsentierte, wie sie später auch während der Messung gezeigt wurden. Erst nachdem eventuelle Missverständnisse oder Fehlerquellen besprochen wurden, begaben sich die Versuchspersonen zur Messung. Dies bedeutet, dass die Bearbeitung während der Messung bereits in gewissem Maße routiniert erfolgte und es so gelang, eventuelle Unterschiede in der Bearbeitungsdauer aufgrund von möglichen Eingewöhnungseffekten zu vermeiden.

Die Tatsache, dass sich die Bearbeitungsgeschwindigkeit für unterschiedliche Belief Bedingungen nicht signifikant unterscheidet, passt gut zu den entsprechenden Verhaltensdaten, die in anderen Arbeiten veröffentlicht wurden. Anhand dieser Ergebnisse liegt der Schluss nahe, dass es sich beim Abrufen der ToM um einen hoch automatisierten kognitiven Vorgang handelt.

6.1.2 Bearbeitungsgenauigkeit

Vor allem in Anbetracht der sich nicht signifikant unterscheidenden Bearbeitungsgeschwindigkeiten wurde auch für die Bearbeitungsgenauigkeit davon ausgegangen, dass die Probanden beide Trials ähnlich korrekt, oder präzise formuliert ohne signifikanten Unterschied, bearbeiten könnten. Die Auswertung der Verhaltensdaten bestätigte diese Annahme. Demnach antworten bei der Bearbeitung der TB Trials die Probanden in 96,4% der Fälle korrekt, bei der Bearbeitung der FB-Trials kam man auf einen Wert von 95,5%. Die statistische Auswertung mittels T-Tests ergab auch hier keinen signifikanten Unterschied. Ähnlich wie bei der Diskussion der Bearbeitungsgeschwindigkeit kann also auch für das korrekte Bearbeiten der Trials davon ausgegangen werden, dass der an sich komplexere FB Trial in der Realität nicht schwieriger zu beantworten ist, als der theoretisch einfachere TB Trial. Die bereits erwähnte gezielte Vorbereitung der Probanden kann sicherlich auch für dieses Ergebnis als ein Teil des Erklärungsmodells dienen, entscheidend ist aber sicherlich die Erkenntnis, dass Mentalisieren bei gesunden Versuchspersonen genau so gut funktioniert wie das Bearbeiten eines TB Trials.

In Zusammenschau der Ergebnisse kann man bereits aus der Auswertung der jeweiligen Verhaltensdaten wichtige Schlüsse ziehen, die für die gezielte Erforschung der neuronalen Korrelate der ToM sicherlich von Bedeutung sind. Die Tatsache, dass beide Bedingungen scheinbar gleich komplex und gleich schnell zu bearbeiten sind, macht

deutlich, dass die auch in der vorliegenden Arbeit verwendete TB Bedingung gut als Kontrollbedingung geeignet ist. Nur wenn sich die im Fokus stehende FB Bedingung in möglichst wenigen Aspekten von der verwendeten Kontrollbedingung unterscheidet, ist es möglich Areale zu identifizieren, die eben diesen Unterschied ausmachen. Konkret heißt das in diesem Fall, nur wenn sich die Bedingungen außer dem Vorgang des Mentalisierens nicht voneinander unterscheiden, kann man im Vergleich der beiden Bedingungen mögliche neuronale Korrelate des Mentalisierens aufdecken. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist jedoch die Tatsache, dass es keine signifikanten Unterschiede bei Fehlerraten und Reaktionszeiten gibt.

Somit bilden die Ergebnisse aus dem Bereich der Verhaltensdaten und die eben diskutierten Ansätze die Grundlage für das zuverlässige Ermitteln von neuronalen ToM Korrelaten und die Diskussion ihrer möglichen Bedeutung innerhalb der ToM. Im nun folgenden Teil sollen zunächst die Areale vorgestellt werden, die in der vorliegenden Studie ermittelt werden konnten und diese dann entsprechend diskutiert werden.

6.2 FMRT-Daten

Die gesamten Areale, die für die errechneten Kontraste TB > Baseline, FB > Baseline und FB > TB eine Mehraktivierung zeigten, wurden bereits im Kapitel 5.2 vorgestellt. Im Folgenden sollen vor allem die Ergebnisse des Kontrastes FB > TB genauer betrachtet werden, da die Mehraktivierung in eben diesem Kontrast die entscheidenden Aussagen über die Rolle der entsprechenden Areale bei der False Belief-Attribution offen legen.

6.2.1 Kontrast FB > TB

Eine signifikante Mehraktivierung im Kontrast FB > TB erfuhren der bilaterale mittlere Gyrus frontalis (BA 8), der Gyrus präcentralis links (BA 4), der bilaterale mediale Gyrus frontalis (BA 10) und der superiore Gyrus frontalis (BA 6). Ebenfalls vermehrt aktiviert wurden der mittlere Gyrus frontalis rechts (BA 8), der superiore Gyrus frontalis rechts (BA 6) und der bilaterale mediale und mittlere Gyrus frontalis (BA 8, 10). Eine entsprechende Mehraktivierung wurde auch für den bilateralen mittleren Gyrus temporalis rechts (BA 21), den bilateralen Gyrus supramarginalis (BA 40) und den bilateralen inferioren Lobulus parietalis (bil. TPJ; BA 39, 40), den Thalamus und den bilateralen Präcuneus (BA 7) errechnet.

Um diese Ergebnisse interpretieren zu können, muss zunächst dargestellt werden, wie die entsprechenden Areale in der bisherigen Literatur diskutiert wurden. Anhand dieses Überblickes kann das vorliegende Ergebnis für das entsprechende Areal in die aktuelle Datenlage eingeordnet werden. Nur so kann dann wiederum eine subjektive Wertung und Deutung der Ergebnisse erfolgen. An dieser Stelle erfolgt zunächst eine genaue Betrachtung der präfrontalen Areale, genauer des medialen präfrontalen Kortex (mPFC).

6.2.1.1 mPFC

Diese Fokussierung auf den mPFC wird vor allem anhand einer Arbeit von Frith & Frith deutlich (2003). In einem Reviewartikel fassen Frith & Frith den damaligen Stand der bildgebenden Studien zum Thema neuronale Korrelate der ToM zusammen. Alle 12 analysierten Studien des Reviewartikels fanden dabei Aktivierungen in präfrontalen Arealen, genauer beschrieben im medialen präfrontalen Kortex (mPFC). Aus diesen Ergebnissen schließen die Autoren, dass der mPFC immer dann aktiviert wird, wenn Menschen sich selbst oder anderen Personen mental states zuschreiben. Gerade das „decoupling“, also das Entkoppeln dieser mental states von der Realität bei der Zuschreibung einer falschen Überzeugung, werde durch die Aktivierung des mPFC dargestellt.

Bereits zu diesem Zeitpunkt zweifelten verschiedene Autoren jedoch an der exklusiven Rolle des mPFC. Saxe und Kanwisher (2003) führten eine Studie durch, in der sie unter anderem ToM Stories und Geschichten über rein mechanische bzw. physikalische Vorgänge verglichen. Die ToM Geschichten beinhalteten Handlungen von Personen, die aufgrund ihrer False Beliefs handelten. Bei den „mechanical inference“ Texten handelte es sich um Darstellungen von physikalischen Vorgängen wie Schmelzen oder Rosten. Im Kontrast dieser beiden Bedingungen fanden Saxe und Kanwisher keinerlei Aktivierung des mPFC, wohl aber eine deutliche Aktivierung der bilateralen TPJ, des rechten STS um des linken Präcuneus. Dieses Ergebnis sahen die Autoren im klaren Gegensatz zu den früheren Interpretationen, dass der mPFC die zentrale Rolle innerhalb des Vorgangs des Mentalisierens einnehme und die TPJ lediglich als Wegbereiter diene. Für Saxe und Kanwisher schien es hingegen erwiesen, dass die TPJ eine durchaus entscheidende Bedeutung für das Verarbeiten von False Beliefs spielte. Diese Interpretation wiederum erweiterte den Blick bei der Suche nach neuronalen ToM Korrelaten und rückte die Rolle

der TPJ in den Vordergrund. Ein detailliertes Wissen über die Areale um den mPFC sind für eine vollständige Interpretation der Funktion der ToM jedoch nach wie vor unumgänglich.

Erstes augenscheinliches Problem bei der Betrachtung der Rolle des mPFC ist dabei die eigentliche Definition dieses Areals. Zwar wird der Begriff in den meisten Arbeiten zum Thema neuronale Korrelate der ToM verwendet, einheitlich definiert wird der Begriff dabei jedoch nicht. Zunächst muss also geklärt werden, welche neuronalen Regionen genau zum mPFC gezählt werden, um anschließend deren mögliche Rolle innerhalb der ToM zu diskutieren.

Laut Förstl et al. (2004) werden dem präfrontalen Kortex die Brodmann Areale 8-12 sowie 44-47, 24 und 32 zugeschrieben. Entsprechend der anatomischen Lage kann man somit die Brodmann Areale 8-12, 24 und 32 als mediale Anteile des präfrontalen Kortex definieren. Wie genau stellt sich nun die Rolle dieser Hirnareale innerhalb der ToM dar? Die durchaus umstrittene Position gegenüber der Rolle des mPFC soll im Folgenden anhand von zwei Studien aus den letzten Jahren genauer betrachtet werden.

Zunächst geht es dabei um eine Arbeit von Saxe und Wexler aus dem Jahr 2005. Vier Areale, nach Meinung der Autoren die häufigsten mit der ToM assoziierten Gehirnareale, standen dabei im Vordergrund: das posteriore Cingulum (PC), der mPFC sowie die linke und rechte TPJ (LTPJ, RTPJ). Die Methoden der Arbeit unterscheiden sich dabei doch erheblich von den Designs der meisten gängigen ToM Studien. Gerade weil dies für die Einordnung der Ergebnisse und Interpretationen eine erhebliche Rolle spielt, sollen diese Methoden kurz dargestellt werden. Bei den Probanden handelte es sich um eine äußerst heterogene Gruppe aus 6 Frauen und 6 Männern mit unterschiedlichem kulturellen Hintergrund (2 Probanden mit afro-amerikanischem Hintergrund, 1 asiatisch-stämmiger und ein lateinamerikanischer Proband). Diesen 12 Probanden wurden jeweils 24 kurze Geschichten präsentiert, die immer nach denselben Schemata aufgebaut waren. Zunächst wurde ein variabler kultureller Hintergrund des Protagonisten vorgestellt, danach dessen Wunsch (dieser konnte „normal“ oder „normverletzend“ sein). Im dritten Teil der Geschichte wurde angegeben, ob sich der Wunsch der Person erfüllt oder nicht. Im Anschluss musste der Proband durch Knopfdruck mitteilen, ob sich der Protagonist bei diesem Ausgang der Geschichte „positiv“ oder „negativ“ fühle. Die neuronale Reaktion ermittelten die Autoren während des zweiten Teils der Geschichte, als der mental state

des Protagonisten präsentiert wurde. Nur die rechte TPJ, nicht aber das PC und die linke TPJ reagierten signifikant auf diese Präsentation eines Beliefs, oder eher eines Desire. Der mPFC reagierte ebenfalls nicht signifikant während der ToM Inhalte. Saxe und Wexler sahen sich somit bestätigt in der Annahme, dass die TPJ, vielmehr die RTPJ die zentrale Rolle beim Mentalisieren einnimmt und nicht der zuvor angenommene mPFC. Als weiteren Beleg für diese Interpretation der Ergebnisse führen die Autoren zwei Läsionsstudien an, die ihre Theorie zu untermauern scheinen. In einer Arbeit von Bird et al. (Bird et al., 2004) wurde gezeigt, dass Patienten mit einer Läsion im Bereich des mPFC durchaus noch ToM Aufgaben lösen können. Samson et al. (2004) hatten wiederum gezeigt, dass bei Patienten mit Läsionen im Bereich der LTPJ Beeinträchtigungen beim Bearbeiten von ToM Inhalten auftreten können (Samson et al., 2004). Während die Läsionsstudie von Samson et al. später noch genauer betrachtet werden soll, muss man unabhängig davon den Standpunkt von Saxe und Wexler bezüglich der Rolle von mPFC und TPJ bzw. RTPJ kritisch betrachten. Zwei Ergebnisse der Arbeit sind jedoch für die Interpretation der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit von besonderer Bedeutung. Die Rolle der TPJ für die Belief Attribution soll im Folgenden ausführlich diskutiert werden. Zunächst bleibt aber zu klären, ob der mPFC, der so lange als zentrales ToM Areal betrachtet wurde, wirklich keine entscheidende Rolle spielt, wie Saxe und Wexler es postulieren.

Eine der aktuellsten Arbeiten, die sich mit der Suche nach neuronalen Korrelaten der Belief Attribution befasst hat, ist die Studie von Sommer et al. aus dem Jahr 2007. Neben der Suche nach den Korrelaten der Belief Attribution im Allgemeinen stand hier vor allem die Suche nach den neuronalen Äquivalenten des decouplings im Vordergrund. Als Stimuli wurden nonverbale Bildergeschichten präsentiert, die sich eng an das Sally Anne Szenario (Baron-Cohen et al., 1985) anlehnten. Die Bilder, sowie deren Präsentation, entsprachen weitgehend den Methoden der vorliegenden Studie (Siehe Kapitel 4.4). Ein möglicherweise bedeutender Unterschied besteht jedoch in der Anzahl der präsentierten Bilder. Während Sommer et al. sieben Bilder verwendeten, um die Geschichte des Objekttransfers zu schildern, wurde diese Serie in der vorliegenden Arbeit auf drei Bilder reduziert. Für den, die eigentliche Belief Attribution repräsentierenden Kontrast FB > TB fanden Sommer et al. Mehraktivierungen in folgenden Arealen: dem medialen dorsalen anterioren cingulären Kortex (dACC), dem mittleren Gyrus frontalis recht, dem

dorsolateralen präfrontalen Kortex rechts, dem lateralen rostralen präfrontalen Kortex rechts, der rechten TPJ, dem mittleren Gyrus temporalis rechts, dem inferioren Gyrus parietalis rechts sowie dem Präcuneus. Die Mehraktivierung des dACC (BA32), welcher laut Amodio und Frith (2006) als posteriorer Anteil des rostralen mPFC verstanden werden kann, sehen Sommer et al. im Zusammenhang mit zwei verschiedenen Prozessen. Zum einen weist die Mehraktivierung möglicherweise auf das ablaufende Action monitoring, also das Beobachten einer Handlung hin, zum anderen könnte im dACC aber auch die Stimulus-unabhängige Verarbeitung der mentalen Prozesse des Protagonisten stattfinden.

Für den Wechsel der Aufmerksamkeit zwischen Stimulus-unabhängigen und Stimulus-orientierten Prozessen sehen Sommer et al. den lateralen Anteil des PFC verantwortlich. Die Interpretation von Sommer et al. bezüglich der TPJ und des Präcuneus folgt bei der jeweiligen Diskussion der beiden Areale im Anschluss. Bevor die Ergebnisse der vorliegenden Studie für die Bedeutung des mPFC bzw. des präfrontalen Kortex (PFC) interpretiert werden sollen, bleibt festzuhalten, dass Sommer et al. durch die Aktivierung des dACC und des lateralen PFC gezeigt haben, dass präfrontale Areale durchaus eine entscheidende Rolle bei der Belief Attribution und somit der ToM spielen könnten.

Für den Kontrast FB > TB ergab die Auswertung der vorliegenden Studie eine Mehraktivierung in vier Arealen, die dem präfrontalem Kortex (PFC) zugerechnet werden können. Neben dem Gyrus präcentralis li, sind das die bilateralen Anteile des medialen, mittleren und superioren Gyrus frontalis. Sowohl der mittlere, als auch der superioren Gyrus frontalis besitzen Anteile, die in den lateralen rostralen PFC reichen (BA 10). Verschiedene Arbeiten berichten, dass in diesem Bereich der Wechsel der eigenen Aufmerksamkeit zwischen Stimulus-unabhängigen und Stimulus-orientierten Prozessen (Gilbert et al., 2005; Sommer et al., 2007) stattfindet. Wie Sommer et al. bereits für ihre Studie postulierten, könnte auch in der vorliegenden Arbeit die Mehraktivierung dieser Areale den Wechsel der Aufmerksamkeit des Probanden zwischen dem eigentlichen Stimulus und des Stimulus-unabhängigen Beliefs des Protagonisten repräsentieren. Die Mehraktivierung der medialen Anteile des PFC (v.a. medialer Gyrus frontalis bil. BA 8/9/10) in der vorliegenden Arbeit wird dadurch jedoch nicht geklärt. Die eher kaudal gelegenen Anteile dieser Areale grenzen an den Bereich des dACC (BA 32), welches selbst keine signifikante Mehraktivierung in der vorliegenden Studie erfuhr. Geht man

davon aus, dass der Bereich des dACC (32) für das Action monitoring verantwortlich ist (Amodio & Frith, 2006), wäre eine mögliche Argumentation, dass die kaudalen Anteile des medialen PFC diesen Vorgang repräsentieren. Die fehlende signifikante Mehraktivierung des dACC erklärt sich möglicherweise durch die Reduzierung des Stimulusmaterial im Vergleich zu der Studie von Sommer et al. (2007). Die zu beobachtende Handlung wird nicht in sieben, sondern eben nur in drei Einzelschritten dargestellt. Möglicherweise erklärt sich so die etwas rostraler gefundene Mehraktivierung im Bezug auf das Action Monitoring. Gilbert et al. (2005) fand, dass gerade Anteile des mPFC (BA 10) besonders dann aktiviert werden, wenn sich Probanden mit Stimulus-abhängigen Situationen befassen. Dieser Standpunkt eröffnet eine Interpretationsmöglichkeiten der vorliegenden Ergebnisse. Bei dem verwendeten Stimulusmaterial muss eine Form des Action monitoring durchgeführt worden sein, jedoch fand sich in keinem der Kontraste eine signifikante Mehraktivierung des dACC, wohl aber der kaudalen Anteile des PFC, die an das ACC angrenzen. Wenn der mediale Anteil des PFC unter anderem mit der Verarbeitung von Stimulus-bezogen Situationen betraut ist, könnte dessen Aktivierung zeigen, dass das verkürzte Stimulusmaterial dazu führt, dass die Handlung weniger anhand ausführlicher Stimuli beobachtet, sondern vielmehr anhand weniger Stimuli interpretiert werden muss. Ein Teilbereich des mPFC an dessen kaudalen Pol, könnte also möglicherweise anstelle des dACC das Action monitoring durchführen. Der mentale Übergang vom Beobachten einer Handlung hin zu der Focussierung auf einen mental state, wie die Überzeugung des Protagonisten, könnte ebenfalls in einer Untereinheit des mPFC rostral der Einheit für das Action Monitoring statt finden. Diesen Vorgang könnte man als eine Form des attention switching interpretieren.

Auch anhand der vorliegenden Arbeit wird deutlich, dass die Rolle des PFC, bzw. des mPFC noch nicht eindeutig geklärt ist. Betrachtet man die jeweils gegensätzlichsten Standpunkte vom alleinigem ToM Modul (Fletcher et al., 10995; Frith & Frith 2003) und der gar nicht relevanten Rolle für die ToM (Saxe & Wexler, 2005; Saxe 2006), scheint zumindest sicher, dass die tatsächliche Rolle im Spektrum dieser beiden Pole liegt. Ein detaillierteres Verständnis von der Bedeutung der präfrontalen Areale für die Belief Attribution und die Theory of Mind erfordert dabei wohl die separate Betrachtung verschiedener Anteile des PFC. Erst wenn die Funktionen der einzelnen Bereiche wie

lateralen PFC, medialen PFC, ACC und vor allem deren Zusammenspiel geklärt ist, wird sich letztlich sagen lassen wie viel die präfrontalen Areale zur ToM beitragen.

6.2.1.2 TPJ

An dieser Stelle sollen die aktuellen Standpunkte zur Rolle der TPJ innerhalb der ToM diskutiert werden. Ausgangspunkt dafür sind die beiden gegensätzlichen Interpretationen von Frith & Frith sowie Saxe und Kanwisher aus dem Jahr 2003.

Frith & Frith (2003) sehen in der TPJ bzw. im posterioren Sulcus temporalis superior (pSTS) eine Region, die vorrangig für das Beobachten und Bewerten von komplexen Verhaltensweisen zuständig ist. Die bereits erwähnte Meta-Analyse ergab in 10 Studien Aktivierungen in den bilateralen Temporalpolen sowie in allen 12 Studien Aktivierungen im posterioren Sulcus temporalis superior (STS, erweiterte TPJ). Die Aktivierung der Temporalpole wird durch die Autoren dabei vor allem dem Abrufen von sogenannten Skripten zugeschrieben. Die Aktivierung des posterioren STS sieht man im Zusammenhang mit dem Beobachten von biologischen Bewegungsabläufen, dem Abrufen von semantischen Gedächtnisinhalten und der Wahrnehmung von komplexen Verhaltensmustern bzw. unerwarteten Veränderungen in diesen Mustern (Frith & Frith, 2003). Die Funktionen beider Areale, sprich Temporalpol und STS, sehen die Autoren nicht als Teil der ToM Funktion, sondern bestenfalls als „Wegbereiter“ für das Abrufen der Theory of Mind. Darin wiederum sehen die Autoren die Grundlage für die Fähigkeit, den nächsten Schritt in einer Handlungskette vorauszusagen. Diese Fähigkeit werde benötigt, um Vorgänge wie das Folgen eines Blickes oder das Bündeln von Aufmerksamkeit durchzuführen. Eine direkte Verantwortung der TPJ für das Mentalisieren sehen Frith & Frith in ihrer Interpretation nicht gegeben.

Im klaren Gegensatz dazu steht eine Arbeit von Saxe und Kanwisher aus demselben Jahr. Dabei wird gerade der TPJ und nicht etwa dem mPFC die zentrale Rolle für die Belief Attribution und somit die Ausführung der ToM zugeschrieben. Für den Beweis dieser Hypothese fordern Saxe und Kanwisher, dass die TPJ zum einen immer dann eine Mehraktivierung erfahre, wenn ToM Inhalte präsentiert werden, zum anderen dürfe die Region nicht nur auf die bloße Anwesenheit einer menschlichen Person als Stimulus reagieren. Beide Vorgaben sehen die Autoren durch die Ergebnisse ihrer Studie erfüllt. Vorgänge, die der TPJ in vorherigen Arbeiten zugeschrieben wurden, wie das Verfolgen

biologischer Bewegungen bzw. das Erkennen menschlicher Protagonisten, schreiben Saxe und Kanwisher angrenzenden Arealen zu. Für das Erkennen und Verarbeiten menschlicher Körper als Stimuli sei die Region der extrastriate body Area (EBA) verantwortlich. Der posteriore Anteil des STS sei das Areal, das die visuelle Analyse und Verarbeitung von Handlungsabläufen durchführt.

Diese von Saxe und Kanwisher durchgeführte Abgrenzung der TPJ von benachbarten Arealen und die Tatsache, dass diese Areale möglicherweise eben die Funktionen ausführen, die zunächst der TPJ zugeschrieben wurde, macht deutlich, dass man zunächst die Region der TPJ einheitlich definieren muss.

Dem Begriff nach handelt es sich bei der TPJ um das Areal, in dem die posterioren Anteile des Temporallappens und die inferiore rostralen Anteile des inferioren Parietallappens aneinandergrenzen (Decety und Lamm, 2007). Leitstruktur ist dabei das distale Ende der sylvischen Fissur (Trepel et al., 2004). Nach Brodmann handelt es sich um die Areale 39 und 40, anatomisch liegen in diesem Gebiet vor allem der Gyrus supramarginalis und der Gyrus angularis. Wo genau das Gebiet der TPJ endet, wird in der Literatur nicht konsistent definiert. Dies wiederum verleiht der Diskussion um die Rolle der TPJ eine unvermeidbare Unschärfe. Bei der folgenden Vorstellung aktueller Interpretationen zur TPJ, wird die jeweilige Definition des Autors bezüglich der neuroanatomischen Lokalität der TPJ verwendet. In der Diskussion der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sollen einzelne Bereiche der TPJ (BA 39/ BA 40) möglichst differenziert betrachtet werden.

Eine Arbeit, die zentrale Hypothesen für die aktuelle Diskussion um die Rolle der TPJ für die ToM beinhaltet, stammt von Saxe und Wexler aus dem Jahr 2005. Methoden und Ergebnisse wurden bereits bei der Diskussion des mPFC vorgestellt. An dieser Stelle sollen Saxe und Wexlers Interpretationen zur TPJ genauer betrachtet werden. Nach dem in ihrer Studie nur die TPJ der rechten Hemisphäre spezifisch und konsistent auf ToM Inhalte reagiert, sehen die Autoren in der rechten TPJ (RTPJ) das zentrale ToM Areal. Weder der mPFC noch die TPJ der linken Hemisphäre können diese Rolle erfüllen. Laut Saxe und Wexler erklärt sich diese Lateralisation dadurch, dass die linke TPJ weitestgehend mit der Verarbeitung von anhaltenden sozialen Charakteristika beschäftigt ist, während sich die rechte TPJ um die eigentliche Verarbeitung von mentalen Bereichen

kümmert. Während die Idee einer zwei geteilten Rolle der TPJ entsprechend der Hemisphären durchaus interessant ist, muss die exklusive Rolle der RTPJ für die ToM wohl zunächst kritisch betrachtet werden.

Ergebnisse, die die exklusive Rolle der RTPJ für die ToM bzw. die Belief Attribution zu widerlegen scheinen und die Bedeutung der LTPJ verdeutlichen, kommen aus einer Läsionsstudie aus dem Jahr 2004. Samson et al. untersuchten die Fähigkeit zur Belief Attribution von 3 Patienten mit strukturellen Gehirnschäden im Bereich der linken TPJ. Alle drei Patienten hatten 6 bzw. 8 Jahre vor Durchführung der Studie einen Apoplex erlitten, der unter anderem Läsionen im Bereich des angulären Gyrus, des supramarginalen Gyrus und des superioren Gyrus temporalis hinterlassen hatte. Die Läsionen befanden sich dabei lediglich im Bereich der linken Hemisphäre. Die Abfrage der Belief Attribution erfolgte durch zwei Belief Aufgaben, einer Geschichte und einer nicht linguistischen Video Aufgabe. Alle drei Patienten bearbeiteten die Belief Aufgaben mit einer Erfolgsquote knapp unterhalb der Ratewahrscheinlichkeit. Um auszuschließen, dass die Aufgaben aufgrund komplexerer kognitiver Defizite nicht durchgeführt werden konnten, wurden Kontroll-Trials durchgeführt, die keine ToM Inhalte besaßen. Diese Aufgaben erfüllten die Patienten ohne Schwierigkeiten. Während eine solche Läsionsstudie keinen Aufschluss über weitere Komponenten der ToM geben kann, liegt bei Betrachtung der Ergebnisse zumindest der Schluss nahe, dass auch die linke TPJ einen entscheidenden Teil zur Ausführung der Belief Attribution und somit der ToM beiträgt. Geht man von einer Lateralisation bei den Funktionen der TPJ aus (Saxe und Wexler, 2005), dann könnten demnach die Bereiche der TPJ in beiden Hemisphären einen unterschiedlichen Anteil zur Belief Attribution beitragen, die jedoch beide eine funktionelle Rolle für die ToM spielen.

Saxe (2006) gibt einen guten Überblick über die aktuellsten Vorstellungen über die Rolle der TPJ und greift dabei erneut die wichtige Abgrenzung gegenüber des EBA und des pSTS auf (Saxe und Kanwisher, 2003). Sowohl das Erkennen von menschlichen Körpern oder Körperteilen als Protagonisten im EBA, als auch das Verarbeiten von beobachteten Handlungen und deren Konsequenzen im pSTS sind für Saxe (2006) entscheidende Voraussetzungen für die Ausführung des Mentalisierens. Die eigentliche Belief Attribution erfolge hingegen spezifisch in der TPJ. Die von Saxe und Wexler (2005) vorgestellte Hypothese, nur die RTPJ sei für ToM Inhalte verantwortlich, wird in

der Arbeit von Saxe (2006) relativiert. Die Bedeutung der getrennten Diskussion von rechter und linker TPJ wird hingegen erneut hervorgehoben.

Eine weitere durchaus abweichende Sicht der Rolle der TPJ vertreten aktuell Decety und Lamm (2007). Um die Rolle der rechten TPJ für die soziale Kognition genauer zu definieren, führen die Autoren 2007 eine Meta-Analyse von 70 fMRT Studien durch, die sich mit verschiedenen mögliche Ansätzen zur Rolle der RTPJ beschäftigen. Die Ergebnisse der Meta-Analyse zeigen dabei eine deutliche Überlappung von Aktivierungen in der TPJ bei „low-level“ und „high-level“ kognitiven Prozessen (Decety und Lamm, 2007). Als low-level Prozesse bezeichnen die Autoren dabei unter anderem die Fähigkeit sich selbst als Protagonist wahrzunehmen („Sense of Agency, self-other discrimination“) bzw. die Umorientierung der eigenen Aufmerksamkeit auf einen neuen Stimulus. High-level Prozesse sind komplexe Funktionen wie das Abrufen von Empathie oder Theory of Mind. Neben der Rolle für die ToM sehen Decety und Lamm die TPJ somit auch verantwortlich für das Generieren, Testen und Korrigieren von eigenen Vorhersagen über den Ablauf von Handlungen. Die Frage, ob die TPJ schlichtweg beides tut, oder ob es sich nicht vielmehr um verschieden Areale innerhalb der als TPJ bezeichneten Region sind, die diese Aufgaben erfüllen, können die Autoren zunächst nicht beantworten. Zwar zeigen die Ergebnisse der Meta-Analyse eine durchaus etwas unterschiedliche Lokalität der Aktivierungen für ToM (eher kaudal Richtung pSTS) und der Umorientierung der Aufmerksamkeit (eher rostral gelegen), bei der unvermeidbaren Unschärfe einer Meta-Analyse von 70 Studien ist dies jedoch wenig aussagekräftig. Um präziser zu klären, ob die TPJ aus funktionell unterschiedlichen Einheiten besteht, müssten also Studien durchgeführt werden, die beide und weitere entsprechende Aufgaben miteinander vergleicht und dabei versucht, möglichst scharfe Trennlinien zwischen den Aktivierungsarealen zu ziehen. Zusätzlich müsste die gleiche Überlegung sicherlich für die linke TPJ angestrebt werden, alle Ergebnisse und Interpretationen von Decety und Lamm beziehen sich schließlich ausschließlich auf die TPJ der rechten Hemisphäre.

Nicht nur die Ergebnisse von Decety und Lamm (2007) sind interessant für die vorliegende Arbeit, sondern auch die Probleme, die die Autoren bei ihrer Arbeit fanden und beschrieben, spielen eine wichtige Rolle. Neben spezifischen Problemen einer Meta-Analyse (unterschiedliche Stimuli und Designs, Unschärfe der Ergebnisse; uneinheitliche

Definition von Arealen) beschreiben Decety und Lamm ein äußerst komplexes Problem der Arbeit mit bildgebenden Verfahren in der neurokognitiven Forschung. Wann immer versucht wird unterschiedliche Funktionen in angrenzenden Arealen zu diskriminieren, steht man vor der bislang nicht einheitlich geklärten Frage, wie viel Abstand zwischen zwei aktivierten Clustern mindestens herrschen muss, damit man von separaten Aktivierungen sprechen kann. Eine präzise Beschreibung neuronaler Korrelate der ToM, aber auch jeden anderen Prozesses, bedarf zunächst solch einheitlicher Standards.

Bevor im Anschluss die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit für die Areale der TPJ diskutiert werden sollen, erfolgt zunächst noch die Vorstellung der Ergebnisse der Arbeit von Sommer et al. (2007) bezüglich der Rolle der TPJ. Auch Sommer et al. (2007) finden eine vermehrte Aktivierung der rechten TPJ bei der Ausführung der Belief Attribution. Das Gebiet von BA 39 der rechten Hemisphäre wird dabei im Kontrast FB > TB vermehrt aktiviert, nicht jedoch in der Conjunction Analyse der beiden Bedingungen. Die TPJ der linken Hemisphäre erfährt im Kontrast FB > TB keine Aktivierung, in der Conjunction Analyse wird jedoch zumindest ein Anteil des linken inferioren Parietallappens (BA 40) aktiviert. In der ausschließlichen Aktivierung der RTPJ für den Kontrast FB > TB sehen Sommer et al. eine Verletzung der von Saxe et al. (2004) geforderten Generalität, die ein spezifisches neuronales Korrelat der Belief Attribution erfüllen müsse. Sommer et al. sehen die RTPJ daher nicht als verantwortlich für die Belief Attribution per se, sondern speziell für das Attribuieren von False Beliefs. Gerade der Decoupling-Mechanismus, die Realität von dem False Belief des Protagonisten zu differenzieren, könnte durch die Mehraktivierung bei FB Bedingungen repräsentiert werden.

An dieser Stelle stellt sich die Frage, inwieweit die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit den Ansätzen von Sommer et al. (2007), Decety und Lamm (2007) aber auch Saxe (2006) kongruent sind. Gibt es Hinweise, die die jeweiligen Hypothesen erhärten? Die Areale der BA 39 und 40 erfahren in der vorliegenden Arbeit erstaunlicherweise, Mehraktivierungen in allen drei Kontrasten (TB > Baseline, FB > Baseline und FB > TB). Zwar ist in allen drei Kontrasten die Aktivierung der linken Hemisphäre deutlich ausgeprägter als in der rechten Hemisphäre, die Aktivierung der TPJ erfolgt jedoch eindeutig bilateral. Somit zeigen die Ergebnisse keine klare Kongruenz zu den zuvor besprochenen Arbeiten, liefern aber Hinweise, dass die tatsächliche Rolle der TPJ möglicherweise durch eine Kombination der Ansätze erklärt werden könnte. Die von

Saxe et al. (2004) geforderte Generalität, sprich die Mehraktivierung bei der Präsentation von Belief Inhalten im allgemeinen (TB und FB), ist sowohl für die LTPJ als auch die RTPJ gegeben. Die deutlich stärkere Aktivierung der RTPJ im Vergleich zur LTPJ während des Kontrasts $FB > TB$ passt gut zu der von Sommer et al. (2007) vorgeschlagenen Rolle der RTPJ für den Decoupling-Vorgang. Ein Ansatz, der auch für die Thesen der vorliegende Arbeit eine wichtige Rolle spielt, ist die Interpretation von Decety und Lamm (2007), dass die RTPJ mehrere Funktionen aus den Bereichen der low-level und der high-level Kognition parallel erfüllen könnte. So scheint es durchaus vorstellbar, dass zur Ausführung der komplexen ToM (high-level Kognition) auch basale Prozesse wie das Umorientieren der eigenen Aufmerksamkeit oder die mentale Unterscheidung zwischen der eigenen Person und dem Protagonisten des Stimulusmaterials zwingend notwendig sind.

Zusammenfassend lassen sich anhand der aktuellen Studienlage, inklusive der vorliegenden Arbeit, einige neue Ansätze festhalten. Zunächst scheint klar, dass die TPJ nicht, wie bei Frith und Frith (2003) beschrieben nur den Boden bereitet, auf dem andere ToM-spezifische Areale das Mentalisieren ausüben, sondern eine wichtige Rolle innerhalb des komplexen neuronalen Vorgangs der Theory of Mind einnimmt. Eine Lateralisation (Saxe und Wexler, 2005) im Bezug auf die Rolle von RTPJ und LTPJ passt gut zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Anhand der aktuellen Ergebnisse, scheint es jedoch nicht so, dass nur die RTPJ die entscheidende Rolle für die Belief Attribution spielt, sondern dass auch die LTPJ einen spezifischen Beitrag zu einer funktionierenden ToM leistet. Die Ergebnisse lassen sich so interpretieren, dass die TPJ beider Hemisphären integrale Bestandteile der ToM verarbeiten. Die RTPJ scheint neben Vorgängen der low-level Kognition vor allem auch für das zentrale Element des decouplings zuständig zu sein. Die LTPJ hingegen scheint mit Aufgaben betraut, die unabhängig des decouplings bei der Verarbeitung mentaler Bereiche benötigt wird. Möglicherweise verarbeitet die LTPJ dabei die Diskriminierung der eigenen Wahrnehmung von der Wahrnehmung der Protagonisten. Dies würde die Aktivierung in allen drei Kontrasten im Rahmen der vorliegenden Arbeit erklären, aber auch beantworten warum die Patienten der Läsionsstudie von Samson et al. (2004) ToM

Aufgaben unzureichend lösen konnten, da ohne diese Abgrenzung möglicherweise keine suffiziente Verarbeitung der mentalen Bereiche der Protagonisten möglich ist.

Eine eindeutige Klärung der Rolle der RTPJ und LTPJ erfordert mehrere Voraussetzungen. Wie bereits mehrfach erwähnt, sollte zunächst eindeutig geklärt werden, wo und wie genau sich die betrachteten Strukturen anatomisch und funktionell abgrenzen. Hilfreich könnte dabei sein, die Region der TPJ in kleinere Areale aufzuteilen und diese mit Studien zu untersuchen, die z. B. konkret Vorgänge wie das decoupling mit sogenannten low-level Prozessen kontrastieren. Des Weiteren sollte versucht werden zu klären, wie die RTPJ und LTPJ möglicherweise zusammenarbeiten und welche Rolle angrenzende Strukturen wie der pSTS oder die EBA dabei spielen.

Eine weitere Konsequenz, aus der nach wie vor nicht eindeutig geklärten Rolle der TPJ innerhalb der ToM, ist die Suche nach weiteren Arealen, die möglicherweise eine entscheidende Rolle für das Vorhandensein einer funktionstüchtigen ToM spielen könnten. Ein Areal, das dabei wiederholt in der Literatur Erwähnung findet, ist der Präcuneus.

6.2.1.3 Präcuneus

Der Präcuneus ist ein Teil des superioren Parietallappens und liegt bilateral medial im Interhemisphärenspalt (Trepel et al., 2004). Brodmann teilte den Präcuneus dem Areal BA 7 zu. Trotz des zunehmenden Interesses für das Areal, vor allem im Bereich der modernen bildgebenden neurokognitiven Studien, ist die Datenlage zu der eigenen neuronalen Funktion des Präcuneus äußerst spärlich. Cavanna und Trimble (2006) begründen dies mit der "versteckten" Lokalität in der Fissura longitudinalis und dem fast vollständigen Mangel an Läsionsstudien. Um einen ersten Überblick über mögliche Funktionen des Präcuneus unabhängig von der ToM zu geben, sollen daher zunächst die Ergebnisse von Cavanna und Trimble genauer betrachtet werden.

Der Präcuneus zeigt eine intensive Vernetzung mit präfrontalen Arealen (v.a. BA 8, 9 und 46) und dem anterioren Cingulum (Petrides und Pandya, 1984; Leichnetz, 2001). Bei Menschen ist der Präcuneus wesentlich höher entwickelt als bei Primaten, er besitzt eine komplexe zytoarchitektonische Struktur und gehört zu den letzten Gehirnarealen, die in der Entwicklung vollständig myelinisiert werden (Goldman-Rakic, 1987). Aus diesen Ergebnissen schließen Cavanna und Trimble (2006), dass der Präcuneus eine zentrale

Rolle in komplexen higher-order Prozessen der menschlichen Kognition spielen könnte. Ein Review von über 30 Studien ergibt dabei eine konsistente Aktivierung des Präcuneus für Studien, die episodische Gedächtnisinhalte abrufen, visuell-räumliche Bilder präsentieren, oder die Funktion des self-processing abrufen. Während die Autoren der primären Studien die jeweilige Aktivierung des Präcuneus im Sinne der jeweiligen Hypothesen interpretieren, argumentieren Cavanna und Trimble für einen weniger fokussierten Interpretationsansatz. Dabei sehen sie den Präcuneus weniger als verantwortlich für das episodische Gedächtnis, oder die Verarbeitung von visuell-räumlichen Bildern, sondern fragen welche Prozesse die gemeinsame bzw. parallele Aktivierung dieser Funktion hervorruft. Eine Hypothese in diesem Sinn ist, dass der Präcuneus zu einem Netzwerk aus präfrontalen und medial parietalen Arealen gehört, die für die mentale Repräsentation der eigenen Person zuständig ist (Cavanna und Trimble, 2006).

Diese Hypothese zeigt, dass die Rolle des Präcuneus zwar noch nicht ausreichend verstanden ist, es zumindest jedoch möglich scheint, dass dieses Areal eine zentrale Rolle für den Vorgang des Mentalisieren und somit dem Ausführen der ToM spielt. Welche entsprechenden Hinweise finden sich in der ToM Literatur? In ihrer Arbeit aus dem Jahr 2000 finden Gallagher et al. eine Mehraktivierung des Präcuneus in Kontrasten von ToM Bedingungen und Bedingungen (Geschichten und Cartoons) ohne ToM Inhalte. Obwohl die Aktivierung während der ToM Inhalte signifikant stärker war als bei den Stimuli ohne ToM, argumentieren Gallagher und Kollegen, der Präcuneus spiele keine spezifische Rolle für das Mentalisieren, da das Areal auch bei dem Vergleich von Cartoons ohne ToM Inhalte und der Kontrollbedingung eine Mehraktivierung zeigt. Auch Saxe und Kanwisher (2003) finden eine Mehraktivierung des Präcuneus im Kontrast ToM Geschichten > mechanische Prozesse. In der Diskussion der Ergebnisse finden sich aber keine Ansätze über die mögliche Rolle des Präcuneus. Den Ouden et al. (2005) führten eine Studie durch, die sich vorrangig mit dem mentalen Bereich der Absichten (Intentions) befasste. Neben der Kausalitätsbedingung, in der sich eine Kausalität entweder entsprechend einer persönlichen Absicht, oder einer physikalischen Gesetzmäßigkeit ergab, testeten Den Ouden und Kollegen auch eine Bedingung, die prospektive Gedächtnisinhalte abfragte. Der Präcuneus wurde sowohl dann aktiviert, wenn die Probanden über die Folgen ihrer eigenen Absichten nachdachten, als auch dann,

wenn sie sich mit der zuvor gefassten Absicht zu handeln auseinandersetzen mussten (prospektives Gedächtnis/PM). Interessant ist dabei vor allem, dass die Aktivierung während der PM Bedingung deutlich superior und posterior der Aktivierung für die Intentions Bedingung liegt. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre, dass bestimmte Anteile des Präcuneus aktiviert werden, wenn man den mentalen Bereich der eigenen Absichten verarbeitet, während ein anderer Anteil sich mit den eigenen Handlungsabsichten befasst (Den Ouden et al, 2005). Auch in der Studie von Sommer et al. (2007) erfährt der Präcuneus eine Mehraktivierung bei der Bearbeitung mentaler Bereiche, in diesem Fall von Überzeugungen wie TB und FB. In Anbetracht der Datenlage und der eigenen Ergebnisse argumentieren Sommer et al., dass die Mehraktivierung des Präcuneus möglicherweise die Attribution von mentalen Bereichen sowohl in der TB als auch der FB-Bedingung symbolisiert. Die stärkere Mehraktivierung während des FB sehen Sommer et al. im Zusammenhang mit dem komplexen Vorgang des decouplings. Hauptfunktion des Präcuneus könnte während all dieser Vorgänge das Abgrenzen der eigenen Perspektive und Überzeugungen von der Perspektive und den Überzeugungen des Protagonisten sein.

In der vorliegenden Studie erfuhr der Präcuneus eine signifikante Mehraktivierung in allen drei Kontrasten TB > Baseline, FB > Baseline und FB > TB. Somit sind die Ergebnisse kongruent zu der Hypothese von Sommer et al. (2007), dass der Präcuneus möglicherweise für das Abgrenzen der eigenen mentalen Bereiche von den mentalen Bereichen des Protagonisten sein könnte. Auch in der vorliegenden Arbeit ist die Mehraktivierung für die Bedingungen mit FB Inhalten stärker als beim TB, eine Rolle des Präcuneus für das decoupling scheint also durchaus möglich. Die Aktivierungsmuster bei den jeweiligen Kontrasten unterscheiden sich beträchtlich. Für den Kontrast TB > Baseline wurde eine Mehraktivierung in einem bilateralen Areal von 586 Voxel (2x2x2mm) dem Präcuneus zugeschrieben. Die MNI-Koordinaten werden mit $x = 6$, $y = -66$ und $z = 58$ angegeben. Die Bedingung FB > Baseline zeigt eine deutlich enger umschriebene Mehraktivierung von nur 91 Voxel in einem Bereich von $x = 32$, $y = -66$, $z = 34$ der rechten Hemisphäre. Bereiche der BA 7 werden zwar auch in der linken Hemisphäre vermehrt aktiviert, diese Aktivierung erscheint jedoch nicht als Aktivierung des Präcuneus in der Tabelle der vorliegenden Ergebnisse, sondern als parietale Aktivierung in BA 7.

In Anbetracht dieser Befunde sind mehrere Schlüsse möglich. Zum einen scheint es gut vorstellbar, dass der Präcuneus einen wichtigen Anteil an der Ausführung der ToM inne hat. Entsprechend der Hypothese, dass der Präcuneus zu einem Netzwerk aus präfrontalen und medial parietalen Arealen gehört, die für die mentale Repräsentation der eigenen Person zuständig ist (Cavanna und Trimble, 2006) könnte die Rolle des Präcuneus darin bestehen, den eigenen mental state ins Bewusstsein zu rufen und somit zu verdeutlichen, dass bei dem präsentierten Stimulusmaterial mental states vorherrschen, die nicht den eigenen entsprechen. Erst durch diese Erkenntnis kann dann z. B. der Belief des Protagonisten verarbeitet werden. Während dieser Prozess bilateral ablaufen könnte, lassen sich die vorliegenden Ergebnisse so interpretieren, dass ein eng umschriebenes Areal des rechten Präcuneus in Zusammenarbeit mit der RTPJ für den FB spezifischen Vorgang des decouplings verantwortlich ist. Des Weiteren spricht die intensive Vernetzung des Präcuneus mit frontalen und präfrontalen Arealen (Leichnetz, 2001) dafür, dass der Präcuneus möglicherweise als wichtiges Schaltzentrum für den komplexen Mechanismus der ToM Verarbeitung dient. Die Tatsache, dass der Präcuneus in Studien auch unabhängig von ToM Inhalten aktiviert wurde, lässt sich gut durch die anderen Funktionen des Präcuneus, wie zum Beispiel das Abrufen von semantischen oder prospektiven Gedächtnisinhalten (Lundstrom et al., 2003), erklären.

In Anbetracht der Tatsache, dass frühere Arbeiten den Präcuneus kaum diskutierten, sollten die Ergebnisse im Bezug auf den Präcuneus reevaluiert werden. Zum anderen zeigt sich, dass eine klare Aussage über die Rolle des Präcuneus anhand eines Designs wie in der vorliegenden Studie nur schwer möglich ist. Wegweisend wäre daher eine Arbeit, die sich konkret mit der Aktivierung des Präcuneus bei TB und FB Inhalten, aber auch bei Aufgaben mit Inhalten wie prospective memory oder Handlungsabsichten des Probanden befasst. Bei der momentanen Datenlage scheint es durchaus möglich, dass der Präcuneus mehrere Aufgaben, high-order wie low-order, erfüllt von denen einige bei der Ausführung der ToM einen wichtigen Beitrag leisten.

6.2.1.4 Weitere Areale mit signifikanter Mehraktivierung

Neben den eben diskutierten Arealen, erfuhren andere Gehirnareale ebenfalls eine Mehraktivierung während der FB > TB Aufgaben. Während es anhand der vorliegenden Ergebnisse und der gängigen Literatur keine Hinweise darauf gibt, dass diese Areale eine

direkte Rolle für die ToM spielen, sind die Kenntnisse dieser Aktivierung doch unter anderem für den Vergleich der Arbeit mit anderen Studien und ggf. abweichenden Stimuli nützlich. Die Rolle der präfrontalen und frontalen Areale, die nicht unmittelbar dem mPFC zugeteilt werden können, wurde bereits bei der Diskussion des mPFC erläutert. Neben diesen Arealen erfuhren der bilaterale mittlere Gyrus temporalis sowie der linke Thalamus eine Mehraktivierung im Kontrast FB > TB. Die Aktivierung des Gyrus temporalis (BA 21) kann dabei zum einen im Sinne der Verarbeitung von Skripten im anterioren Anteil (Frith & Frith, 2003) und zum anderen als Verarbeitung von biologischen Bewegungsabläufen (Frith & Frith, 2003) und Cartoon Geschichten (Vogeley et al., 2001) im posterioren Anteil interpretiert werden. Beide Vorgänge spielen eine wichtige Rolle bei der Verarbeitung der verwendeten Stimuli in der vorliegenden Arbeit. Die Aktivierung des Thalamus in der linken Hemisphäre ist anhand der gängigen ToM Literatur schwierig zu beurteilen. Aufgrund der Rolle des Thalamus als zentrale Schaltstation, vor allem auch für Informationen aus Bereichen des Kortex, könnte man dessen Mehraktivierung während dieses Kontrastes als Hinweis auf die komplexe Vernetzung und Kooperation der verschiedenen diskutierten Areale interpretieren.

Bereits bei der Diskussion des Präcuneus wurden neben dem Kontrast FB > TB, auch die Ergebnisse der Kontraste FB > Baseline und TB > Baseline zitiert. Auch wenn diese beiden Kontraste nicht die zentrale Rolle des Abgleichs der beiden Belief Bedingungen für die Suche nach neuronalen Korrelaten der ToM einnehmen, sollen die Ergebnisse ebenfalls diskutiert werden.

6.2.2 Kontrast TB > Baseline

Bei der Diskussion eines Kontrasts TB > Baseline ist es zunächst erforderlich sich zu veranschaulichen, welche Unterschiede zu einem Vergleich zweier Bedingungen (FB > TB) herrschen. Der zentrale Ansatz des Kontrasts FB > TB war es, die Areale zu identifizieren, die bei dem speziellen Vorgang der FB-Attribution aktiviert werden und nicht durch Stimuli, die auch in der TB-Bedingung vorhanden sind. Areale, die für die Verarbeitung eines bestimmten Stimulus, in dem vorliegenden Fall einer Bildergeschichte, per se notwendig sind, erscheinen in einem solchen Kontrast nicht. Vergleicht man nun aber eine der beiden Bedingungen mit der inhaltlosen Baseline

Bedingung, erscheinen signifikante Mehraktivierungen in Arealen, die zunächst nichts mit der Belief Attribution zu tun haben müssen. Der Kontrast TB > BL gibt dabei also alle Gehirnareale wieder, die beim Erkennen und Verarbeiten der verwendeten Stimuli bei den Probanden vermehrt aktiviert wurden. In der vorliegenden Arbeit wurden drei Regionen zusätzlich signifikant aktiviert, die keine unterschiedliche Aktivierung im Kontrast FB > TB erfahren hatten.

Die Brodmann Areale 1, 2, 3 und 4 wurden in der vorliegenden Arbeit in der TB-Bedingung signifikant mehr aktiviert als in der Baseline Bedingung. Anatomisch entsprechen diese Areale dem Gyrus postcentralis und dem Gyrus präcentralis. Der Bereich um den Gyrus postcentralis (BA 1,2 und 3) wird als primäre somatosensible Rinde bezeichnet. Dort enden sie somatosensiblen Fasern mit Impulsen aus der jeweils lateralen Körperhälfte (Trepel et al., 2004). Der Gyrus präcentralis (BA 4) ist als sogenannter Motorkortex, eine wichtige Verschaltungsstation für Bewegungsimpulse und somit Bewegungen jeglicher Art (Trepel et al., 2004). Es liegt also nahe, dass während der Präsentation der Bedingung TB sowohl die somatosensorische Wahrnehmung der Probanden, möglicherweise im Sinne einer Vorbereitung und Konzentrationsphase, als auch die Entwicklung von Handlungsimpulsen abgerufen wird. Eine mögliche Rolle für spezielle Inhalte der ToM wurden bislang nicht postuliert und passen auch nicht zu der herrschenden Meinung über die Rolle dieser Areale. Ebenfalls eine signifikante Mehraktivierung für den Kontrast TB > BL erfuhr der Bereich der BA 37, entsprechend den kaudalen Anteilen des superioren und mittleren Gyrus temporalis. Diese Aktivierung ist insofern von Bedeutung, da dieses Areal rostral an den Bereich des Sulcus temporalis superior (STS) angrenzt. Dieses Areal wurde von einigen Autoren (u.a. Frith & Frith) als möglicherweise wichtiges ToM Areal diskutiert. In Anbetracht der anatomischen Nähe zu der TPJ (BA 39 und 40) sind diese Aktivierungen also durchaus interessant. Eine tatsächliche Interpretation wird dadurch extrem schwierig, dass in diesem Gehirnareal viele verschiedene Funktionen (Sprachverständnis, Arbeitsgedächtnis, neokortikale Assoziationen, etc.) abgerufen werden. Will man diese Funktionen enger beschriebenen Arealen zuschreiben, müssten Arbeiten folgen, die die Aktivierungen bei Stimuli mit eben genannten Inhalten mit Stimuli aus dem Bereich der ToM abgleichen würden. Auch die lateral präfrontalen Areale BA 44 und 45 wurden im Kontrast TB > Baseline signifikant mehr aktiviert. Hierbei handelt es sich um die lateralen Anteile des inferioren Gyrus

frontalis. Im Gegensatz zu den medialen Anteilen des frontalen und präfrontalen Kortex wurden diese lateralen Anteile kaum in Zusammenhang mit der ToM gebracht. Neuroanatomisch befindet sich in diesem Gebiet das Broca-Sprachzentrum (Pars opercularis BA 44, Pars triangularis BA 45). Neben der Rolle als motorisches Sprachzentrum findet in diesen Arealen laut Fadiga et al. (2006) jedoch auch anteilsweise das Beobachten von Handlungen statt.

Die Aktivierung der eben beschriebenen Areale zeigt also, welche Vorgänge zunächst bzw. parallel erfolgen müssen, damit eine Verarbeitung der Stimuli im Sinne der ToM erfolgen kann. Die somatosensible Rinde und der motorische Kortex geben dabei das Vorbereiten und Ausführen der Handlung der Probanden (z. B. Drücken der Antworttaste) wieder. Die Aktivierung von BA 37 könnte im Sinne der Nähe zur TPJ als Teil der dort stattfindenden Prozesse, aber auch durch das Beobachten biologischer Bewegungsabläufe und komplexer Handlungsstränge (Frith & Frith, 2003) interpretiert werden. Ebenfalls durch das Beobachten von Handlungen könnte sich die Aktivierung in BA 44 und 45 (lateralen PFC) erklären lassen (Fadiga et al., 2006).

6.2.3 Kontrast FB > Baseline

In großen Teilen entsprechen die Aktivierungen des Kontrasts FB > Baseline, den Mustern die gerade für den Kontrast TB > Baseline diskutiert wurden. Entsprechend dem Kontrast TB > BL gibt der Kontrast FB > BL die Areale wieder, die eine signifikante Mehraktivierung erfahren, wenn die Probanden die Gesamtheit der Stimuli einer FB Aufgabe erkennen und im Sinne des decouplings verarbeiten müssen.

Zwei Areale erfahren in diesem Kontrast jedoch eine Mehraktivierung, die so im Kontrast TB > Baseline nicht errechnet wurden. Zum einen wird ein Gebiet der BA 5 vermehrt aktiviert, welches dicht hinter dem primären somatosensorischen Kortex liegt und ebenfalls noch somatosensorische Funktionen erfüllt. Zum anderen aktiviert die FB-Bedingung Anteile des Temporallappens, die anatomisch noch enger an der bereits ausführlich diskutierten TPJ liegen. Konkret zeigt sich dies, neben der Aktivierung von BA 37, in einer Mehraktivierung der BA 22 (Gyrus temporalis superior). Interessant im Hinblick auf die Rolle dieses Gebietes ist eine Lateralisation, wie sie auch für die TPJ diskutiert wurde, denn nur die Gebiete in der rechten Hemisphäre erfahren diese

signifikante Mehraktivierung. Diese Ergebnisse passen gut zu den bereits postulierten Ansätzen über die Rolle der TPJ im Kontrast FB > TB.

Die Mehraktivierung der somatosensiblen Rinde und des motorische Kortex (BA 1, 2, 3, 4, 5) zeigt das Vorbereiten und Ausführen der Handlungen der Probanden an. Die vermehrte Aktivierung von BA 22 (superiorer Gyrus temporalis) ist vor allem dadurch besonders interessant, dass die Aktivierung im Kontrast TB > BL nicht erfolgt. Während also beide Kontraste den kaudalen Anteil des mittleren und unteren Gyrus temporalis (BA 37,) aktivieren, erscheint der superiore Anteil nur bei der Präsentation eines FB. Die Aktivierung in BA 37 scheint also für beide Bedingungen notwendig, z. B. durch das dort verarbeitete Beobachten von Handlungsabläufen, in BA 22 scheint hingegen ein FB spezifischer Prozess abgerufen zu werden. Betrachtet man die unmittelbare Nähe dieser Region zur TPJ und die Tatsache, dass nur die BA 22 der rechten Hemisphäre vermehrt aktiviert wurde, lässt sich auch anhand dieses Ergebnisse ableiten, dass in der RTPJ und in angrenzenden Arealen Informationen verarbeitet werden, deren Kenntnis unmittelbar für den Vorgang des decouplings verantwortlich sein könnten.

6.3 Zusammenfassung der Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die neuronalen Aktivierungsmuster der Belief Attribution aufzudecken. Die Kenntnisse dieser Aktivierungen wiederum sollen dazu dienen, ein besseres Verständnis der neuronalen Korrelate der ToM zu erlangen. Aufgrund der aktuellen Studienlage (u.a. Den Ouden et al., 2005; Saxe 2006; Sommer, 2007) konzentriert sich die Diskussion der vorliegenden Ergebnisse auf drei Areale. Neben dem mPFC sollte vor allem die Rolle der bilateralen TPJ und des bilateralen Präcuneus genauer betrachtet werden. Zunächst zeigte die Analyse der Verhaltensdaten keinerlei signifikante Unterschiede für die Bearbeitungsgeschwindigkeit und die Bearbeitungsdauer von TB und FB Bedingung. Nach einer komprimierten Darstellung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit für den Kontrast FB > TB erfolgte die ausführliche Diskussion der frontalen und präfrontalen Gehirnareale und deren Rolle für die ToM. Entscheidend dabei ist die Abkehr von der Hypothese, im mPFC das spezifische „ToM Modul“ gefunden zu haben (Fletcher et al, 1995; Frith & Frith, 2003). Die entgegengesetzte Hypothese von Saxe und Wexler (2005), der mPFC spiele keine entscheidende Rolle für das Mentalisieren, kann aufgrund der vorliegenden Ergebnisse

jedoch genauso wenig bestätigt werden. Vielmehr scheint es so, als ob verschiedene Anteile des Gebiets des mPFC (u.a. ACC) zumindest Funktionen erfüllen, die für die Ausführung der ToM eine wichtige Grundlage bilden. Für die Rolle der TPJ innerhalb der ToM zeigt die vorliegende Diskussion, dass dieses Areal keineswegs nur ein „Wegbereiter für andere, ToM spezifische Areale“ darstellt (Frith & Frith, 2003), sondern Funktionen repräsentiert, die entscheidend für den Vorgang des Mentalisierens sind. Eine ausschließliche Bedeutung der TPJ der rechten Hemisphäre wie bei Saxe und Wexler (2005) passt dabei nicht zu den vorliegenden Ergebnissen. Vielmehr legt diese Arbeit nahe, dass sowohl die RTPJ als auch die LTPJ Aufgaben aus den Bereichen der high-level und low-level Kognition erfüllen, die für das Mentalisieren, bzw. die ToM notwendig sind. Die von Sommer et al. (2007) vorgeschlagene Rolle der RTPJ für das decoupling ist gut mit den vorliegenden Ergebnissen vereinbar. Schließlich wurde die Rolle des Präcuneus für die Attribution mentaler Bereiche diskutiert. Auch für dieses Areal konnte in der vorliegenden Arbeit eine möglicherweise entscheidende Rolle innerhalb der ToM gezeigt werden. Eine möglicher Ansatz wäre dabei, dass im Präcuneus die wichtige Abgrenzung der eigenen Überzeugung und der selbst wahrgenommenen Realität von den Überzeugungen und entsprechenden „Realität“ des Protagonisten erfolgt. Um eine präzisere Aussage über die Rolle des Präcuneus treffen zu können, müssten jedoch Studien designt werden, die die mögliche ToM Funktionen des Areals gegenüber anderen Funktionen wie das Abrufen episodischer Gedächtnisinhalte, die Verarbeitung visuell-räumliche Bilder, oder die Funktion des self-processing (Cavanna und Trimble, 2006) abgrenzen.

Trotz der mittlerweile enorm komplexen Datenlage bezüglich der neuronalen Korrelate der Belief Attribution, oder besser den neuronalen Korrelaten der ToM, zeigt die vorliegende Arbeit, dass die Suche nach den präzisen Vorgängen dieser Fähigkeit noch lange nicht abgeschlossen ist. Bei der Betrachtung aller drei Areale, mPFC, bilaterale TPJ und Präcuneus, zeigen sich dabei ähnliche Probleme. Aktivierungen der entsprechenden Areale werden meist im Sinne der einen Hypothese interpretiert, die eine andere Hypothese widerlegen soll. Betrachtet man jedoch die unscharfen Abgrenzungen der Areale und die oft erheblichen Unterschiede der Lokalisation der jeweiligen Aktivierungen, erscheint es wahrscheinlich, dass die diskutierten Areale mehrere Funktionen parallel erfüllen könnten. Vielleicht ist es gerade das Zusammenspiel aus

Anteilen des mPFC, der linken und rechten TPJ und des Präcuneus, dass die spezielle menschliche Fähigkeit der ToM repräsentiert.

6.4 Ausblick – Klinische Relevanz der Erforschung neuronaler Korrelate höherer kognitiver Mechanismen

Im Verlauf der vorliegenden Arbeit sollten auch immer wieder mögliche Berührungspunkte zwischen neurokognitiver Forschung mittels fMRT und der klinischen Arbeit bzw. der klinischen Forschung aufgedeckt werden. Gerade die Literatur zur Rolle der temporoparietalen Junction (TPJ) bietet dabei interessante Hinweise aus beiden Blickwinkeln. Nicht nur hat, unter anderem, die bereits diskutierte Läsionsstudie von Samson et al. (2004) gezeigt, wie wertvoll Läsionsstudien für die neurokognitive Forschung sein können, andere Arbeiten zeigen auch, dass detailliertes Wissen über neuronale Korrelate bestimmter Funktionen helfen können, komplexe klinische Sachverhalte anders zu betrachten. So konnte gezeigt werden, dass eine gestörte Körperwahrnehmung im Sinne einer Anosognosie (Leugnen von Erkrankung), Asomatognosie (fehlende Wahrnehmung von Körperteilen und Körperfunktionen), oder einer Somatoparaphrenie (fehlerhafte Wahrnehmungen über den eigenen Körper) gehäuft bei Patienten mit Läsionen im Bereich der TPJ auf treten (Decety und Lamm, 2007; Berlucchi und Agliot, 1997). Eine ausgeprägte Störung der eigenen Körperwahrnehmung kommt wiederum in verschiedensten Formen als Teil der Symptomenkomplexe unterschiedlicher psychiatrischer und neurologischer Erkrankungen vor (Berlucchi und Agliot, 1997). Als Beispiel dienen neben halluzinatorischen Positiv-Symptomen im Rahmen einer paranoiden Schizophrenie, auch Phänomene wie Phantomschmerzen, oder ein völliger Verlust der Beziehung zu dem eigenen physikalischen Körper im Sinne eines katatonen Stupors, oder einer schwersten Form einer depressiven Episode mit stuporos/katatoner Symptomatik. Gerade die gestörten Körperwahrnehmungen bei Erkrankungen aus dem schizophrenen Formenkreis wurden immer wieder auch durch neurokognitive Forschungsgruppen analysiert. Arzy et al. (2006 a) hatte gezeigt, dass neben dem extrastriate body area (EBA), vor allem auch die temporo-parietale Junction für die mentale Wahrnehmung einer Person innerhalb des eigenen Körpers verantwortlich ist. In einer weiteren Arbeit, ebenfalls aus dem Jahr 2006, betrachteten Azry und Kollegen (2006 b) dann die Korrelation zwischen dem neuronalen Aktivierungsmuster der rechten TPJ und schizophrenietypischen Symptomen einer gestörten

Körperwahrnehmung. Besonders interessant ist dabei, dass Patienten mit einer entsprechend gestörten Wahrnehmung des Körpers nicht weniger, sondern sogar stärker im Bereich der TPJ aktivieren als gesunde Probanden. Das Aktivierungsmuster der Patienten ist dabei jedoch länger und diffuser lokalisiert als bei nicht-pathologischen Probanden.

Bevor die Bedeutung solcher Funde diskutiert werden soll, folgt zunächst ein weiteres Beispiel eines psychiatrischen bzw. neurologischen Phänomens und dessen mögliche Relation zum neuroanatomischen Areal der TPJ. Bei diesem Phänomen handelt es sich um sogenannte Out of Body Experiences (OBEs). Eine solche OBE ist laut Blanke et al (2006) durch drei phänomenologische Kriterien definiert: erstens ein so genanntes „disembodiment“ - also die empfundene Lokalisation der eigenen Person, außerhalb des eigenen Körpers, zweitens das Gefühl die Welt von einem erhabenen und fernen Standpunkt aus zu betrachten, und drittens eine Autoskopie, in der die Person sich selbst von diesem Standpunkt aus betrachtet. Patienten, die häufig unter Migräne oder einer Epilepsie leiden, erfahren dabei signifikant häufiger solche OBEs. Blanke et al. postulieren, dass es sich bei solchen OBEs um eine gestörte Integration verschiedenster visueller, propriozeptiver und taktiler Reize handelt, die zu einer Diskrepanz zwischen der gefühlten und der tatsächlichen Position der eigenen Person innerhalb bzw. außerhalb des realen Körpers führt. Im Bereich der TPJ erfolgt dabei ein entscheidender Vorgang bei der Integration von low-level Signalen (visuelle, taktil, oder vestibulär) und dem high-order-Vorgang der Selbstwahrnehmung (Blanke et al., 2005). Eine Rolle der TPJ bei solchen Integrationen von low- und high-level Prozessen wurde in der vorliegenden Arbeit unter 6.2.1.2 bereits ausführlich diskutiert. OBEs treten jedoch nicht nur bei neurologischen oder psychiatrischen Patienten auf. Verschiedenen Forschungsgruppen, unter anderem auch Blanke et al. (2002), konnten zeigen, dass durch evozierte Stimulierung der TPJ auch bei völlig gesunden Probanden Zustände ausgelöst werden konnten, die einer OBE ähnelten.

An dieser Stelle ergibt sich die Möglichkeit einer interessanten Vernetzung der eben beschriebenen Ergebnisse mit der zuvor durchgeführten Interpretation der Rolle der TPJ innerhalb der ToM. Für den Bereich der LTPJ wurde dort postuliert, dass in diesem Bereich möglicherweise die Unterscheidung zwischen der Wahrnehmung der Protagonisten und der eigenen Wahrnehmung stattfinden könnte, die eine Verarbeitung

der mentalen Bereich der Protagonisten erst ermögliche. Um die jeweilige Wahrnehmung einer Person beurteilen zu können, ist die Wahrnehmung über die Beziehung der Person und deren Umgebung bzw. deren Umwelt von entscheidender Bedeutung. Die gerade beschriebenen Arbeiten zeigen eindrucksvoll, welche Rolle die TPJ für die Wahrnehmung des eigenen Körpers und dessen Beziehung zu seiner Umwelt hat. Vielleicht ist es gerade diese Wahrnehmung von Personen und deren körperlichen Rolle in ihrer Umwelt, sowie die Diskrimination zur eigenen Rolle innerhalb dieser Umgebung, die die Rolle der TPJ innerhalb der ToM ein weiteres Stück erklärt.

Diese Beispiele machen deutlich, dass es bereits einige Berührungspunkte zwischen neurokognitiver Forschung und der klinischen Arbeit in Psychiatrie und Neurologie gibt. Vernetzt man die theoretische Erforschung bestimmter neuronaler Areale und deren kognitiver Funktionen mit den Erfahrungen mit Patienten, die entsprechende Pathologien aufweisen, werden beide Seiten deutlich von den gewonnen Erkenntnissen profitieren können. Betrachtet man das Beispiel der paranoiden Schizophrenie (F 20.0), könnte ein detailliertes Wissen über die Lokalisation der neuronalen Korrelate der verschiedensten möglichen Symptome, im Idealfall eine wesentlich präzisere und zielgerichtete Therapie der einzelnen Symptome und somit der individuellen Ausprägung einer schizophrenen Erkrankung mit sich bringen. Im Gegenzug sind es gerade Kontraste der neuronalen Aktivierungsmuster zwischen Patienten mit eng umschriebenen Pathologien und gesunden Probanden, die der neurokognitiven Forschung helfen können, die komplexen neuronalen Vorgänge der menschlichen Kognition zu entschlüsseln.

7 LITERATUR

- Amodio, D.M. & Frith, C.D. (2006). Meeting the minds: the medial frontal cortex and social cognition. *Nature Reviews, Neuroscience*, 7, 268-277.
- Apperly, I.A., (2008). Beyond Simulation-Theory and Theory-Theory: Why social cognitive neuroscience should use its own concepts to study “theory of mind”. *Cognition*, 107, 266-283.
- Apperly, I.A., Samson, D., Chiavarino, C., and Humphreys, G.W. (2004). Frontal and temporo-parietal lobe contribution to Theory of Mind: Neuropsychological evidence from a false belief task with reduced language and executive demands. *Journal of Cognitive Neuroscience* 16, 1773–1784.
- Arzy S., Thut G., Mohr C, Michel C., Blanke O. (2006). Neural Basis of Embodiment. *Journal of Neuroscience*, 26, 8074-8081.
- Arzy S., Mohr C., Michel C.M., Blanke O. (2007). Duration and not strength in temporo-parietal cortex positively correlates with schizotypy. *NeuroImage*, 35, 326-333.
- Baron-Cohen, S. (1991). Precursors to a theory of mind: Understanding attention in others. In A. Whiten (Hrsg.), *Natural Theories of Mind: Evolution, Development and Simulation of Everyday Mindreading*, 233-251.
- Baron-Cohen, S., Leslie, A. M. & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a “theory of mind”? *Cognition*, 21, 37-46.
- Baron-Cohen S., Ring H. A., Wheelwright S., Bullmore E. T., Brammer M. J., Simmons A. & Williams, S. C. R (1999). Social intelligence in the normal and autistic brain: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, 11, 1891-1898.
- Berlucchi G, Aglioti S. (1997). The body in the brain: neural bases of corporeal awareness. *Trends in Neuroscience* 20, 560–564.
- Bird, C. M., Castelli, F., Malik, O., Frith, U. & Husain, M. (2004). The impact of extensive medial frontal lobe damage on “Theory of Mind“ and cognition. *Brain*, 127, 914-928.
- Blanke O., Arzy S. (2005). The out-of-body experience: disturbed selfprocessing at the temporo-parietal junction. *Neuroscientist* 11, 16–24.
- Blanke O. et al. (2005). Linking OBEs and self processing to mental own body imagery at the temporo-parietal junction. *Journal of Neuroscience* 25, 550-55.
- Blanke O., Ortigue S., Landis T., Seeck M. (2002). Stimulating illusory own-body perceptions. *Nature* 419, 269–70.

- Brothers, L., (1990). The social brain: A project for integrating primate behavior and neurophysiology in a new domain. *Concepts of Neuroscience* 1, 27–51.
- Brüne, M., (2005a). Emotion recognition, ‘theory of mind’ and social behavior in schizophrenia. *Psychiatrist Research* 133, 135–147.
- Brüne, M., (2005b). ‘Theory of mind’ in schizophrenia: A review of the literature. *Schizophrenia Bulletin* 31, 21–42.
- Carlson, S. M. & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children’s theory of mind. *Child Development*, 72, 1032-1053.
- Castelli F., Frith C. D., Happé F. & Frith U. (2002). Autism, Asperger syndrome and brain mechanisms for the attribution of mental states to animated shapes. *Brain*, 125, 1839-1849.
- Castelli F., Happé F., Frith U. & Frith C. D. (2000). Movement and mind: a functional imaging study of perception and interpretation of complex intentional movement pattern. *NeuroImage*, 12, 314-325.
- Cavanna, A. E. & Trimble, M. R. (2006). The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, 129, 564-583.
- Decety, J. & Chaminade, T. (2003). Neural correlates of feeling sympathy. *Neuropsychologia*, 41, 127-138.
- Decety, J. & Lamm, C. (2007). The Role of the Right Temporoparietal Junction in Social Interaction: How Low-Level Computational Processes Contribute to Meta-Cognition. *Neuroscientist OnlineFirst*.
- Den Ouden H. E. M., Frith U., Frith C. D. & Blakemore S.-J. (2005). Thinking about intentions. *NeuroImage*, 28, 787-796.
- Dennett, D. (1978). *Brainstorms: Philosophical Essays on Mind and Psychology*. Cambridge: Bradford Books/MIT Press.
- Doody, G. A., Gotz, M., Johnstone, E. C., Frith, C. D. & Owens, D. G. (1998). Theory of mind and psychoses. *Psychological Medicine* 28, 397–405.
- Fletcher, P. C., Happe, F., Frith, U., Baker, S. C., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S. & Frith, C. D. (1995). Other minds in the brain: A functional imaging study of “theory of mind” in story comprehension. *Cognition*, 57, 109-128.
- Frith, C. D. (2003). What do imaging studies tell us about the neural basis of autism? *Novartis Foundation Symposium*, 251, 149-166.
- Frith, C. D. (2004). Schizophrenia and theory of mind. *Psychological Medicine* 34, 385-389.

- Frith C. D. & Frith U. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B*, 358, 459-473.
- Frith C. D. & Frith U. (2006). The Neural Basis of Mentalizing. *Neuron* 50, 531-534.
- Frith, U., Morton, J. & Leslie, A. M. (1991). The cognitive basis of a biological disorder: autism. *Trends in Neurosciences*, 14, 433-438
- Gallagher, H. L. & Frith, C. D. (2003). Functional imaging of 'theory of mind'. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 77-83.
- Gallagher, H. L., Happe, F., Brunswick, N., Fletcher, P. C., Frith, U. & Frith, C. D. (2000). Reading the mind in cartoons and stories: An fMRI study of 'theory of mind' in verbal and nonverbal tasks. *Neuropsychologia*, 38, 11-21.
- Goldman-Rakic PS. (1987). Development of cortical circuitry and cognitive function. *Child Development*, 58, 601-22.
- Goldman-Rakic PS. (1988). Topography of cognition: parallel distributed networks in primate association cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 11, 137-56.
- Gopnik, A. & H. Wellmann, H. (1992). Why the child's theory of mind really is a theory. *Mind and Language*, 7, 145-151.
- Grèzes, J., Frith, C. D. & Passingham, R. E. (2004). Inferring false beliefs from the actions of oneself and others: an fMRI study. *NeuroImage*, 21, 744-750.
- Happe', F.G.E., (1994). An advanced test of theory of mind: Understanding of story characters' thoughts and feelings by able autistics, mentally handicapped and normal children and adults. *J. Autism. Dev. Disord.* 24, 129-154.
- Happé F. G., Ehlers S., Fletcher S., Frith U., Johansson M., Gillberg C., Dolan, R., Frackowiak, R. & Frith, C. D. (1996). 'Theory of mind' in the brain. Evidence from a PET scan study of Asperger syndrome. *Neuroreport*, 8, 197-201.
- Harris, P. L. (1991). The work of the imagination. In *Natural theories of mind: evolution, development and simulation of everyday mindreading*, 283-304.
- Lee, K.-H., Farrow, T. F. D., Spence, S. A. & Woodruff, P. W. R. (2004). Social cognition, brain networks and schizophrenia. *Psychological Medicine*, 34, 391-400.
- Leslie, A. M. (1987). Pretence and representation: the origin of "theory of mind". *Psychological Review*, 94, 412-426.
- Leslie, A. M. (1994). Pretending and believing: issues in the theory of mind. *Cognition*, 50, 211-238.
- Lundstrom, B., Peterson, K., Anderson J., Johanson M, Franson, P., Ingvar, M. (2003). Isolating the retrieval of imagined pictures during episodic memory: activation of the left precuneus and the left prefrontal cortex. *Neuroimage*, 20, 1934-43.

- Mazoyer, B. M., Tzourio, N., Frak, V., Syrota, A., Murayama, N., Levrier, O., Salamon, G., Dehaene, S., Cohen, L. & Mehler, J. (1993). The cortical representation of speech. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 467–479.
- Mitchell, J. (2007). Activity in Right Temporo-Parietal Junction is Not Selective for Theory-of-Mind. *Cerebral Cortex* 18, 262-271.
- Pickup, G. J. & Frith, C. D. (2001). Theory of mind impairments in schizophrenia: symptomatology, severity and specificity. *Psychological Medicine* 31, 207–220.
- Perner, J. & Wimmer, H. (1985). “Joseph thinks that Mary thinks that ... “. Attribution of second-order beliefs by 5- to 10-year-old children. *Journal of Experimental Psychology*, 39, 437-471.
- Premack, D. & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *The Behavioral and Brain Sciences*, 4, 515-526.
- Samson, D., Apperly, I.A., Chiavarino, C., Humphreys, G.W., (2004). Left temporoparietal junction is necessary for representing someone else’s belief. *Nature of Neuroscience*, 7, 499–500.
- Saxe, R., (2006). Why and how to study Theory of Mind with fMRI. *Brain Research* 1079, 57–65.
- Saxe R. (2006). Uniquely human social cognition. *Current Opinion in Neurobiology* 16, 235–239.
- Saxe R. & Kanwisher N. (2003). People thinking about thinking people: fMRI studies of Theory of Mind. *Neuroimage*, 19, 1835-1842.
- Saxe, R., Carey, S. & Kanwisher, N. (2004). Understanding other minds: Linking developmental psychology and functional neuroimaging. *Annual Psychological Reviews*, 55, 87-124.
- Saxe, R., Schulz, L., Jiang, Y. (2006). Reading minds versus following rules. Dissociating theory of mind and executive control in the brain. *Social Neuroscience* 1, 284-298.
- Saxe R. & Wexler A. (2005). Making sense of another mind: the role of the right temporoparietal junction. *Neuropsychologia*, 43, 1391-1399.
- Sodian, B., Hülken C., Thoermer, C. (2003). The self and action in theory of mind research. *Consciousness and Cognition* 12, 777-782.
- Sodian, B., (2005). Theory of mind. The case for conceptual development. In: Schneider, W., Schumann-Hengsteler, R., Sodian, B. (Eds.), *Young Children's Cognitive Development. Interrelationships Among Executive Functioning, Working Memory, Verbal Ability and Theory of Mind*, 95–130.

- Sommer, M., Döhnell, K., Sodian, B., Meinhardt, J., Thoermer, C., Hajak G. (2007). Neural correlates of true and false belief reasoning. *NeuroImage* 35, 1378-1384.
- Stich, S., & Nichols, S. (1992). Folk psychology: simulation or tacit theory. *Mind and Language*, 7, 35–71.
- Trepel, M. (2004). *Neuroanatomie – Struktur und Funktion*. 3. Auflage im Urban & Fischer Verlag.
- Vogeley, K., Bussfeld, P., Newen, A., Herrmann, S., Happé, F., Falkai, P., Maier, W., Shah, N. J., Fink, G. R. & Zilles, K. (2001). Mind Reading: Neural Mechanisms of Theory of Mind and Self-Perspective. *Neuroimage*, 14, 170-181.
- Wellman, H.M., Cross, D., Watson, J., (2001). Meta-analysis of theory of mind development: the truth about false belief. *Child Development*, 72, 655–684.
- Wimmer, H. & Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs: representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition*, 13, 103-128.
- Ziv, M. & Frye, D. (2003). The relation between desire and false belief in children's theory of mind: No satisfaction?. *Developmental Psychology*, 39, 859-876.

8 DANKSAGUNG

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. Göran Hajak, für die Möglichkeit meine Inaugural Dissertation am Bezirksklinikum Regensburg zu erarbeiten und zu verfassen. Ganz besonders möchte ich mich auch bei der Forschungsgruppe um Frau Dr. Monika Sommer bedanken, die mich von Beginn an freundschaftlich aufgenommen und stets hervorragend unterstützt hat. Herausheben möchte ich dabei Herrn Dr. Christoph Rothmayr, ohne dessen Hilfe, Rat und vor allem auch Motivation, es mir nicht möglich gewesen wäre, die Arbeit in der vorliegenden Form zu schreiben. Ich hoffe aufrichtig, dass ich dieser Arbeitsgruppe und dem Gebiet der neurokognitiven Forschung auf lange Sicht hin verbunden bleiben kann.

An dieser Stelle möchte ich vor allem aber auch meiner Familie und meiner Partnerin danken. Nicht nur für die erfolgreiche Fertigstellung dieser Arbeit war ihre liebevolle Unterstützung absolut unerlässlich. Mit Rat und Trost, aber eben auch materieller Unterstützung ist es vor allem meinen Eltern zu verdanken, dass mir das Studium der Humanmedizin und das verfassen der Doktorarbeit überhaupt möglich waren. Ganz besonderer Dank gilt auch meiner Freundin, die mich nicht nur unermüdlich moralisch unterstützt, sondern auch als Probandin an der durchgeführten Studie teilgenommen hat. Auch den anderen Probanden, allesamt Freunde und Kollegen, gilt mein herzlicher Dank.

Widmen möchte ich diese Arbeit, in liebevollem Gedenken, meiner Großmutter Anni. Niemand kann sich mehr für mich freuen, als sie es getan hätte.

9 LEBENSLAUF

Philipp Holter

Rilkestraße 7 • 93049 Regensburg • Tel.: 0176235979780

■ Persönliche Daten

Name: Philipp Holter
Geburtsdaten: 01.12. 83 Nabburg
Mutter: Monika Holter, geb. 14.09.51
Beruf: Realschullehrerin
Vater: Günther Holter, geb. 15.02.52
Beruf: Realschullehrer

■ Schulbildung

1990-1994 Grundschule Pfreimd
1994-2000 Johann-Andreas-Schmeller-Gymnasium Nabburg
2000/2001 Shenandoah Community High School, Iowa, USA
2001-2003 Johann-Andreas-Schmeller-Gymnasium Nabburg
Abschluss: Abitur 2003 (1,4)

■ Zivildienst

04. 08. 2003 - 31. 05. 2004 Altenheim St. Johannis-Stift, Prägarten 10,
92536 Pfreimd (stationäre Altenpflege)

■ Studium

13. Fachsemester Humanmedizin, Universität Regensburg
Schriftliches Staatsexamen Oktober 2010 - Note: 3
Mündliches Staatsexamen 08. und 09. November 2010 - Note: 1

10 ERKLÄRUNG

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel

**„Neuronale Aktivierungsmuster der Belief Attribution –
ein Überblick über aktuelle Ergebnisse der Suche nach den neuronalen
Korrelaten der Theory of Mind“**

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. Beratungsdiensten in Anspruch genommen. Niemand hat von mir mittelbar oder unmittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bislang weder im In- noch Ausland in ähnlicher oder gleicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Regensburg, 01. Februar 2012

Philipp Holter