

Aus dem Lehrstuhl  
für Psychiatrie und Psychotherapie  
Prof. Dr. Rainer Rupprecht  
der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

**„Theory of Mind und Aufmerksamkeitsreorientierung –  
Die Auswirkungen des sozialen Kontextes auf das  
Aufmerksamkeitsnetzwerk“**

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Valentin Böhm

2020



Aus dem Lehrstuhl  
für Psychiatrie und Psychotherapie  
Prof. Dr. Rainer Rupprecht  
der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

**„Theory of Mind und Aufmerksamkeitsreorientierung –  
Die Auswirkungen des sozialen Kontextes auf das  
Aufmerksamkeitsnetzwerk“**

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Valentin Böhm

2020

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Rainer Rupprecht

2. Berichterstatter: Prof. Dr. rer. nat. Jens Schwarzbach

Tag der mündlichen Prüfung: 15.01.2020

## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende fMRT Studie lässt sich in die aktuelle neurokognitive Forschung zur Theory of Mind (ToM) und deren Zusammenhang zur Aufmerksamkeitsreorientierung einordnen. Bildgebende Studien zur ToM als auch zur Aufmerksamkeitsreorientierung weisen auf eine Beteiligung der rechten temporoparietalen Junction (rTPJ) bei der Verarbeitung beider Prozesse hin. Trotz zahlreicher Studien besteht weiterhin Uneinigkeit bezüglich der Funktionsweise der rTPJ und einem möglichen, den beiden Forschungsbereichen gemeinsam zugrundeliegenden, Verarbeitungsprozess. Ziel unserer Studie war es durch ein Studiendesign, welches beide kognitive Leistungen in einer Aufgabe vereint, diese Prozesse vergleichbar zu machen und zu überprüfen, ob sich eine soziale Interaktion innerhalb eines Aufmerksamkeitsparadigmas auf das neuronale Aufmerksamkeitsnetzwerk auswirkt.

An der Studie nahmen 25 Probanden im Alter von 19 bis 32 Jahren teil. Die von uns im fMRT verwendete experimentelle Aufgabe lehnte sich an ein von Posner et al. (1980) entwickeltes Paradigma zur Erfassung der selektiven visuellen Aufmerksamkeit an, welches durch einen sozialen Kontext erweitert wurde. Die Aufgabe der Probanden bestand darin einen Zielreiz zu erkennen, welchem ein valider oder nicht-valider Hinweisreiz voranging. Während der sozialen Bedingung war der Proband im Glauben, der Hinweisreiz werde ihm von einem Mitarbeiter gegeben. In der nicht-sozialen Bedingung wurde dem Probanden vermittelt, die Hinweisreize würden computerbasiert generiert. Durch die Einführung einer sozialen Komponente in ein Aufmerksamkeitsparadigma war es möglich die Auswirkung eines sozialen Kontextes auf ein Aufmerksamkeitsnetzwerk zu überprüfen. Die Ergebnisse zeigten ausschließlich eine Mehraktivierung der rTPJ während der nicht-sozialen Bedingung. Dies ließ vermuten, dass die rTPJ nur während der Aufmerksamkeitsreorientierung aktiviert ist. Der Interaktionseffekt (Validität x Kontext) wies auf eine Beeinflussung des sozialen Kontextes auf das Aufmerksamkeitsparadigma hin, was auf ein komplexeres kognitives Verarbeitungsmuster schließen ließ. In diesem Zusammenhang lässt sich die rTPJ mit den beobachteten Koaktivierungen in das Modell der kontextuellen Aktualisierung (Geng et al., 2013) bringen. Demnach wird die spezifische Funktion der rTPJ durch den jeweils vorliegenden Kontext, sozial oder nicht-sozial, und dem damit verbunden Aktivitätsmuster eines Netzwerkes determiniert.

## INHALT

<b>1. EINFÜHRUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2. THEORETISCHER HINTERGRUND</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Definition Theory of Mind</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 Methoden der Theory of Mind Forschung und Entwicklung der Theory of Mind</b> .....	<b>4</b>
2.2.1 Autismus und ToM .....	9
<b>2.3 Neuronale Korrelate der Theory of Mind und der Belief Attribution</b> .....	<b>10</b>
2.3.1 Neuronale Korrelate der Aufmerksamkeitsreorientierung .....	15
2.3.2. Auswirkungen eines sozialen Kontextes auf ein Aufmerksamkeitsnetzwerk .....	19
2.3.3 Offene Fragen und daraus resultierende Anforderungen an zukünftige Studien .....	23
<b>3. ZIELE DER VORLIEGENDEN ARBEIT</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1 Hypothesen</b> .....	<b>26</b>
3.1.1 Behaviorale Daten .....	26
3.1.2 fMRT Daten.....	27
<b>4. METHODE</b> .....	<b>29</b>
<b>4.1 Probanden</b> .....	<b>29</b>
<b>4.2 Stimuli</b> .....	<b>29</b>
<b>4.3 Präsentation der Reize</b> .....	<b>31</b>
<b>4.4 Ablauf der Reizdarbietung</b> .....	<b>31</b>
<b>4.5 Versuchsablauf</b> .....	<b>34</b>
<b>4.6 Statistische Analyse</b> .....	<b>37</b>
4.6.1 Analyse der Verhaltensdaten.....	37
4.6.2 Analyse der fMRT-Daten.....	37
4.6.2.1 Datenvorverarbeitung .....	38
4.6.2.2 Statistische Analyse der fMRT-Daten .....	39
4.6.2.2.1 Einzelanalyse.....	39
4.6.2.2.2 Gruppenanalyse .....	40
<b>5. ERGEBNISSE</b> .....	<b>41</b>
<b>5.1 Verhaltensdaten</b> .....	<b>41</b>
5.1.1 Reaktionszeiten .....	41
5.1.2 Bearbeitungsgenauigkeit.....	42
<b>5.2 fMRT-Daten</b> .....	<b>42</b>
5.2.1 Anova (Analysis of variance) Kontext und Validität.....	42
5.2.1.1 Kontrast „Validität“ .....	43
5.2.1.2 Kontrast „Kontext“ .....	44
5.2.1.2.1 Kontrast „sozial>nicht-sozial“ .....	44
5.2.1.2.2 Kontrast „nicht-sozial>sozial“ .....	44
5.2.1.3 Interaktionseffekt .....	44
5.2.2 T-Test .....	48
<b>6. DISKUSSION</b> .....	<b>49</b>
<b>6.1 Zusammenfassung der Untersuchungsziele</b> .....	<b>49</b>
<b>6.2 Diskussion der Verhaltensdaten und ihre Bedeutung für die Hypothesen</b> .....	<b>50</b>
6.2.1 Reaktionszeiten .....	50
6.2.2 Bearbeitungsgenauigkeit.....	52
<b>6.3 Diskussion fMRT Daten</b> .....	<b>53</b>
6.3.1 Kontrast „Validität“ .....	53
6.3.1.1 Bedeutung bestehender Literatur .....	54

6.3.1.2 TPJ .....	58
6.3.1.3 Bezug unsere Daten zur aktuellen Studienlage .....	59
6.3.2 Kontrast „Kontext“ .....	60
6.3.3 Interaktionseffekt: „Validität x Kontext“ .....	62
<b>6.4 Übergreifender Vorschlag .....</b>	<b>63</b>
6.4.1 Fraktionierungstheorie .....	64
6.4.2 Theorie eines allumfassenden Verarbeitungsprozesses .....	65
6.4.3 Diskussion dieser beiden Ansätze .....	66
6.4.3.1 Kontextuelle Aktualisierung „contextual updating“ .....	68
6.4.3.1.1 Kontextuelle Aktualisierung im Rahmen der Aufmerksamkeitskontrolle .....	68
6.4.3.1.2 Kontextuelle Aktualisierung in Bezug auf die Theory of Mind .....	69
6.4.4 Koaktivierungen .....	70
6.4.5 Integration unserer Daten in das Modell der kontextuellen Aktualisierung .....	72
<b>6.5 Zusammenfassende Diskussion.....</b>	<b>73</b>
<b>6.6 Ausblick.....</b>	<b>74</b>
<b>7. LITERATUR.....</b>	<b>76</b>
<b>8. ANHANG.....</b>	<b>85</b>
<b>9. ERKLÄRUNG ZUM PROMOTIONSVERFAHREN.....</b>	<b>99</b>
<b>10. LEBENSLAUF .....</b>	<b>100</b>

## 1. EINFÜHRUNG

„Von dem Moment an, wo jemand unserem Tun zuschaut, passen wir uns wohl oder übel den Augen an, die uns beobachten, und alles, was wir tun, wird unwahr.“

Milan Kundera

Die unerträgliche Leichtigkeit des Seins

Auf was uns der tschechische Autor Milan Kundera mit diesen recht pessimistisch anmutenden Worten hinweisen möchte, ist eines der grundlegenden Prinzipien menschlichen Verhaltens. Das Handeln eines jeden Individuums ist beeinflusst durch den kognitiven Prozess der Attribuierung mentaler Zustände des Gegenübers wie auch der daraus erwachsenden Rezeption des eigenen Handelns. Nur auf diesem Wege ist es dem Menschen möglich, das Verhalten anderer Personen zu verstehen und vorhersagen zu können als auch Empathie zu empfinden. Zusammengefasst wird dieser für die soziale Interaktion essentielle Prozess durch den ursprünglich aus der Entwicklungspsychologie stammenden Begriff der „Theory of Mind“ (ToM; Wimmer & Perner, 1983; Gallagher & Frith, 2003).

Um der Komplexität des Lebens gerecht zu werden, ist jedoch die gelungene Auseinandersetzung mit seinen Mitmenschen und der Umwelt alleinig auf sozialer Ebene nicht ausreichend und stellt nur eine von einer Vielzahl der Anforderungen des menschlichen Daseins dar. Ein weiterer nicht-sozial-kognitiver grundlegender Prozess menschlicher Informationsverarbeitung ist die schnelle selektive Wahrnehmung sensorischer Informationen. Um sich sicher in der Umwelt bewegen zu können, ist eben dies von größter Bedeutung. Doch nicht nur die bloße Wahrnehmung, auch die Fähigkeit, eine gerade vollzogene Handlung zu unterbrechen und die Aufmerksamkeit auf einen neuen, potenziell bedrohlichen Reiz hin auszurichten (attentional reorienting), stellt für den Menschen einen maßgeblich evolutionären Vorteil dar (Corbetta et al., 2008).

Auf Grund der enormen Relevanz dieser beiden kognitiven Prozesse stehen sowohl die Theory of Mind als auch die Aufmerksamkeitsreorientierung schon seit geraumer Zeit im Fokus der Forschung.

Die ursprünglich von der Entwicklungspsychologie ausgehende Forschung zur ToM, welche im Jahre 1978 durch die von den Psychologen und Verhaltensforschern Premack und Woodruff veröffentlichte Arbeit „Does a chimpanzee have a theory of mind?“ eingeleitet wurde, erweiterte sich bis in das Gebiet der Neurowissenschaften und ist, wie auch die Aufmerksamkeitsreorientierung, aktueller Bestandteil der neurokognitiven Forschung.

Sowohl in der Forschung zur ToM als auch in der zur Aufmerksamkeitsreorientierung wurden relevante Aktivierungen im Bereich der rechten temporoparietalen Übergangsregion (rTPJ) beobachtet. Bisher wurde angenommen, dass die Aufmerksamkeitsreorientierung, assoziiert mit rTPJ-Aktivität, einen basalen kognitiven Prozess darstelle, welcher unabhängig von einem sozialen Kontext auftritt. Neuere Theorien zum neurokognitiven Wesen dieser Region schlagen jedoch vor, dass die primäre Funktion der rTPJ, die Neuausrichtung der Aufmerksamkeit, durch eine soziale Komponente, der Theory of Mind, evolutionär augmentiert wurde (Decety & Lamm, 2007; Corbetta et al., 2008). Trotz zahlreicher Studien besteht weiterhin Unklarheit über einen möglichen, den beiden Prozessen gemeinsam zugrunde liegenden Mechanismus oder die Funktionsweise eines potenziellen Zusammenspiels beider Prozesse.

Ziel unserer Studie war es, dieser Kontroverse zu begegnen und die Annahmen aktueller Theorien empirisch zu überprüfen. Ein spezielles Augenmerk legten wir auf die Frage, inwiefern sich ein sozialer Kontext auf das Aufmerksamkeitsnetzwerk auswirkt und wie sich dies in den neuronalen Korrelaten widerspiegelt.

Im Folgenden möchte ich im Rahmen des theoretischen Hintergrundes die Begriffe der „Theory of Mind“ als auch des „attentional-reorienting“ erläutern und einen Überblick über die lang währende Debatte der Aufmerksamkeitsforscher und den Vertretern der „ToM“ über die neuronalen Prozesse in Aufmerksamkeitsnetzwerken und speziell der rTPJ geben.

## 2. THEORETISCHER HINTERGRUND

### 2.1 Definition Theory of Mind

Der Begriff „Theory of Mind“ (ToM) wurde erstmals von Premack und Woodruff (1978) verwendet, um die kognitive Fähigkeit eines Individuums, sich in eine andere Person hineinzuversetzen, deren Verhalten erklären und vorhersagen als auch deren mentale Zustände verstehen zu können, zu beschreiben.

Aus Studien der Entwicklungspsychologie geht hervor, dass eben jenes Verständnis um die mentalen Zustände eine sich in zwei Phasen entwickelnde Domäne der kognitiven Fähigkeiten beansprucht; eine sich früher entwickelnde Komponente für Überlegungen über Ziele, Wünsche und Emotionen (*desires*) und ein später entwickeltes System zum Erfassen von Überzeugungen (*beliefs*) (Sodian & Thoermer, 2006).

Entscheidend bei dem Attributionsprozess der Theory of Mind ist dabei das Bewusstsein, dass eben diese mentalen Zustände durch die subjektive Rezeption der Realität des Gegenübers bedingt sind. Die Quelle des „Mind“ der „Theory of Mind“ ist dem Individuum zwar inhärent, jedoch immer subjektiv bedingt. So verhält es sich, wenn zwei Subjekte einander begegnen. Wechselseitig machen sie ihr Verhalten von dem ihres Gegenübers abhängig (*doppelte Kontingenz*, Talcott Parsons), da beide kein Wissen über das Bewusstsein, die Wahrnehmungsempfindung oder die Motive und Intentionen des Anderen besitzen. Dies führt zu einem Zustand des Stillstands, der nur durch das gegenseitige Unterstellen einer mutmaßlichen Wahrnehmung und Auffassung aufgehoben werden kann.

Eben hierin liegt die nicht zu unterschätzende ständige menschliche Leistung der Theory of Mind, welche die Erkenntnis beinhaltet, dass die Auffassung einer Person mit der Realität inkongruent sein kann, da das Verhalten der Person von den Absichten und Überzeugungen bestimmt wird, nicht jedoch von der Realität (Frith & Frith, 2003; 2006; Gallagher & Frith, 2003; Leslie, 1987). Ist man sich dessen bewusst, so eröffnet dies die Option, bewusst den Geisteszustand des Gegenübers von dem eigenen abzugrenzen, beide einander gegenüberzustellen als auch die Handlungen seiner Mitmenschen wie auch seiner selbst erschließen und teilweise prognostizieren zu können.

## **2.2 Methoden der Theory of Mind Forschung und Entwicklung der Theory of Mind**

Mit der Veröffentlichung der Arbeit Premack und Woodruffs (1978) zur Theory of Mind stand die wissenschaftliche Forschung vor der Aufgabe, die Hintergründe des evolutionären Fortschritts als auch der Entwicklung der ToM bei dem heranwachsenden Menschen nachvollziehbar zu machen.

Trotz des Aufwandes eines evolutionären Ausleseprozesses, welcher mit der Entwicklung einer solchen Fähigkeit verbunden ist, steht der Selektionsvorteil einer ToM für den in Gruppen lebenden Menschen nicht zur Diskussion. Bietet die Existenz in einer Gemeinschaft für einen Jeden klare Vorteile, wie beispielsweise den Schutz vor möglichen Gefahren, so ist sie doch zudem verbunden mit der Notwendigkeit, auch innerhalb der Gruppe zwischen sozial wertvollem und potenziell gefährdendem Verhalten differenzieren zu können wie auch solche Verhaltensweisen zu antizipieren.

Um jedoch zu erforschen, wie diese Fähigkeit der Zuschreibung mentaler Zustände und daraus resultierende Handlungen entsteht, war die Entwicklung valider Tests von Nöten, wie es auch Dennett (1978) einforderte. Dennett, als auch Frith & Frith (2003) wiesen darauf hin, dass diese Testparadigmen sogenannte „false-belief-Aufgaben“ beinhalten sollten, da es für ein solches Experiment nicht suffizient sei, den Probanden eine Voraussage über den mentalen Zustand des Gegenübers treffen zu lassen, wenn sich dieser mit dem der Realität deckt (true belief). Wäre dies der Fall, so sei die Vorhersage über die Überzeugung auch ohne Attribution eines geistigen Zustandes allein basierend auf dem Status quo der Realität (own belief/state of reality) möglich. Hingegen können falsche Überzeugungen (false belief) lediglich durch die Fähigkeit des Mentalisierens attribuiert werden.

Die erste Aufgabe, welche die genannten Forderungen hinlänglich erfüllte, wurde von Wimmer und Perner (1983) entwickelt und als das „Maxi Paradigma“ bekannt. Dieses findet auch noch in der aktuellen Forschung der ToM Anwendung. Den Versuchspersonen wird hierbei folgende Geschichte mit Puppen vorgespielt:

Ein Protagonist namens Maxi tritt auf, welcher im Besitz einer Tafel Schokolade ist. Diese Tafel verstaut er in einem blauen Schrank an der Wand und verlässt daraufhin den Raum in Richtung des Spielplatzes. Nun betritt Maxis Mutter den Raum, nimmt die Tafel Schokolade aus dem blauen Wandschrank und legt sie stattdessen in einen grünen

Schrank. Von diesem Vorgang bekommt Maxi nichts mit, da er sich auf dem Spielplatz befindet. Maxi kehrt nach einer gewissen Zeit zurück und möchte ein Stück der Schokolade essen. Dies ist der Punkt, an dem den Probanden die Frage zur Überzeugung Maxis gestellt wird, an welchem Ort Maxi die Schokolade suchen wird („Where will Maxi look for the chocolate?“). Es wird lediglich den Kindern möglich sein, die Frage richtig zu beantworten, wenn sie die falsche Überzeugung Maxis von dem Zustand der Realität entkoppeln können. Nahezu alle Kinder unter drei Jahren antworteten, dass Maxi im blauen Schrank nach der Schokolade suchen würde. Unter den vier- bis sechsjährigen Kindern erwarteten schon 57%, dass Maxi im grünen Schrank nachschauen würde. Die Testpersonen im Alter von sechs bis neun Jahren gaben hingegen zu 87% die richtige Antwort. Aus diesen Ergebnissen schlussfolgerten Wimmer und Perner, dass sich die kognitive Leistung der Theory of Mind im Alter von vier bis sechs Jahren entwickelt (Wimmer & Perner 1983).

Innerhalb der nun mittlerweile fast 30 Jahre andauernden Forschung zur ToM stellten sich jedoch divergierende Resultate zu dem Entwicklungszeitpunkt des Mentalisierens heraus. Zudem ist dieser Entwicklungsprozess – hin zu einer vollständig ausgeprägten ToM – genauer zu differenzieren und in einzelne Schritte zu unterteilen. Im Folgenden möchte ich einige der relevanten Studien zur Entwicklung einer Theory of Mind nennen und diese weiter erläutern.

Wie in den meisten Fällen der Genese von Fertigkeiten, setzt die Entwicklung der ToM nicht plötzlich ein, sondern ist ein langsam progredienter Prozess. Der aktuellen Forschung nach sind Kinder im Alter zwischen drei und vier Jahren in der Lage explizit zu mentalisieren (Perner & Roessler, 2012; Wellman, Cross, & Watson, 2001). Hinzukommend gibt es Beobachtungen, dass sich vor diesem Entwicklungsschritt hin zur ToM ein grundlegendes psychologisches Handlungsverständnis schon in der früheren Kindheit anfängt zu entwickeln. Aus einer Studie geht hervor, dass bereits Kinder im Alter von neun Monaten Erwartungen über rationales Handeln eines Agenten haben (Gergely et al., 1995). In dieser Studie wurden neun bis zwölf Monate alten Babys über einen Bildschirm ein computeranimiertes Paradigma präsentiert, in welchem Kreise als handelnde Objekte auftraten, deren Aufgabe es war, einen Zielpunkt auf dem Bildschirm zu erreichen. Auf Grund eines eingebauten Hindernisses auf dem Weg zu diesem Punkt oblag es den Objekten, das Hindernis durch Überspringen der Barriere zu erreichen. Dieses Szenario wurde den Probanden wiederholt dargeboten, um diese an

den Handlungsablauf zu habituieren. In der Testphase wurde nun das Hindernis entfernt. Bereits die neun Monate alten Babys zeigten insofern ein Verständnis über rationales Handeln anderer, als dass sie sich verwundert zeigten, indiziert durch verlängerte Blickzeiten, wenn das Objekt trotz Entfernung des Hindernisses einen Sprung auf dem Weg zum Zielpunkt vollzog.

In einer Studie von Schöppner et al. (2006) wurden Kindern im Alter von 11 Monaten Filme präsentiert, in welchen ein Agent einem anderen Blumen überreicht. Für die Probanden war es von Bedeutung, sich der Rollenverteilung innerhalb des Experiments gewahr zu werden; also der Rolle des Empfängers und des Überreichenden. Die Resultate zeigten, dass die Kinder auf den Wechsel der Handlungsrollen stärker dishabituieren als auf den Wechsel der Position, von welcher aus die Blume übergeben wurde. Geschlussfolgert wurde, dass bereits Babys von unter einem Jahr die Handlungen von Personen als auf Intentionen basierend bewerteten. Gergely et al. sowie auch Schöppner et al. benutzten in ihren Studien die so genannte Blickzeitmethode. Eine solche Form von Studie basiert auf der Annahme, dass Säuglinge unerwartet auftretende Ereignisse signifikant länger betrachten, als Ereignisse, welche sie vermutet haben. Anhand dieser Methode wurden Hinweise für ein implizites Verständnis – einem nicht objektivierbaren Wissen – über mentale Zustände von erst 15 Monate alten Kindern gefunden (Onishi & Baillargeon, 2005). In dem an die „Maxi-Aufgabe“ angelehnten Experiment wurde den Kindern eine Situation veranschaulicht, in welcher eine Person ein Objekt zunächst an Ort A versteckte. Der Hälfte der Kinder wurde gezeigt, wie vor den Augen der Person das Objekt von A nach B verlegt wurde. Der anderen Hälfte der Kinder wurde das identische Szenario vorgespielt, jedoch mit dem entscheidenden Unterschied, dass die Person den Objekttransfer nicht beobachtete. Im Folgenden sahen die Kinder der Person bei der Suche nach dem Objekt an Ort A bzw. Ort B zu. Aus der längeren Blickzeit der Kinder, die beobachtet hatten, wie die Person ein Objekt anfänglich in A deponierte, dem Objekttransfer von A nach B aber nicht beiwohnten und schließlich an Ort B zu suchen begannen, ging hervor, dass die Kinder die von der Person an Ort B begonnene Suche nicht erwartet hatten. Die zentrale Frage dieses Experimentes bleibt jedoch offen: Befinden die Kinder sich zu diesem Zeitpunkt bereits im Besitz der Fähigkeit des Verständnisses falscher Überzeugungen oder ist das Kind lediglich aufgrund vom Verständnis über Bedürfnisse und Überzeugungen anderer dazu in der Lage, die Verhaltensweise des Akteurs vorherzusagen („Desire-Psychologie“;

Wellmann, 2002). Dies lässt sich durch eine Blickzeitstudie nicht belegen, da in einer solchen Studie lediglich Auskunft über das implizite, nicht aber über das explizite Wissen des Betroffenen Aufschluss gibt. Dahingegen gilt als gesichert, dass das Kind ausgehend von der beobachteten Handlung Rückschlüsse auf die zur Handlung hinführenden Intention ziehen kann. Das Gewährwerden des Kindes, dass das Gegenüber wie auch man selbst ein zielgerichtet handelndes Wesen ist, stellt für Meltzoff (2002) eine Voraussetzung für die sich später entwickelnde ToM dar. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für die spätere Entwicklung der ToM notwendige sozialkognitive Fähigkeiten schon ab einem Alter von ca. 11 Monaten nachweisbar sind, welche das Kind jedoch noch nicht dazu befähigen, Überzeugungen anderer Personen zu erkennen und ausgehend von diesen Handlungsgrundlagen abzuleiten.

Lange bestand Unklarheit darüber, inwiefern ein Zusammenhang zwischen der, zusammengefasst ca. ab dem 2. Lebensjahr ausgebildeten Entwicklung frühkindlicher kognitiver Fähigkeiten, sozialen Interaktion und der ToM besteht, wie auch der exakte Beginn der Ausbildung einer Theory of Mind. Aschersleben et al. (2008) entdeckten schließlich, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen frühkindlichen Blickzeitaufgaben und false-belief Aufgaben im Vorschulalter besteht.

Eine Metaanalyse, welche 143 Studien zum Vergleich heranzog, bemühte sich darum, die aus der Vielzahl an Studien zu dem Entwicklungszeitpunkt der ToM erwachsenen Kontroversen und den teilweise divergierenden Ergebnissen zu einem genaueren Überblick zu gelangen und das Entwicklungsalter der ToM hinreichend zu bestimmen. Aus dieser Analyse ging hervor, dass Kinder unter 41 Monaten auf Rateniveau abschneiden und die Fähigkeit des Mentalisierens (ToM) erst ab dem dritten bis vierten Lebensjahr besteht, die Kinder also signifikant seltener den „false-belief“-Fehler begehen, und die davor ausgebildeten kognitiven Fähigkeiten als eine subjektiv-psychologische Wahrnehmung der Gefühle und Bedürfnisse von Personen verstanden werden dürfen (Wellman et al. 2001). Es lässt sich festhalten, dass die Datenlage auf eine voll entwickelte Fähigkeit der ToM ab dem vierten Lebensjahr hinweist, wenn auch neue, kontrovers diskutierte Befunde andeuten, dass ein implizites Verständnis über mentale Zustände anderer bereits ab dem ersten Lebensjahr bestehe.

Ebenso spricht ein im Alter von drei Jahren einsetzender Erwerb, der für die Sprache des auf Erkenntnis basierenden Mentalisierens wichtiger Begriffe für ein in der besagten Altersgruppe (Bartsch & Wellmann 1995) einsetzenden Entwicklungsprozess.

Wie anfänglich bereits angeführt, ist der Hergang hin zu einer vollständig ausgebildeten Theory of Mind in weitere Entwicklungsschritte zu untergliedern, in welcher das Verständnis des Mentalisierens weiter spezifiziert und vervollständigt wird. So lässt sich anhand einer von Wellman und Liu (2004) entwickelten Skala der aktuelle Entwicklungsstand und die damit einhergehenden Fertigkeiten der ToM nachvollziehen. Der Skala zufolge sind ein Großteil der dreijährigen Kinder dazu in der Lage, Wünsche und Absichten (desires/intentions) mit dem schlussendlichen Handeln des Akteurs in Verbindung zu bringen. Die Fähigkeit, Überzeugungen (beliefs) seinem Gegenüber zu attribuieren, scheint sich hingegen später auszubilden (Sodian et al., 2003). Erst im Alter von vier Jahren ist ein Kind in der Lage zu verstehen, dass jemand aufgrund seiner eigenen Überzeugung, welche sich auf eine unzureichende Wissenslage stützt, falsch handelt. Zudem ist es den Kindern in besagtem Alter nicht nur möglich, das Verhalten in einen kausalen Zusammenhang mit denen für das Handeln zu Grunde liegenden Geisteszustand zu bringen, auch ist es ihnen möglich, einen Zusammenhang zwischen der Informationsquelle und der durch sie hervorgerufenen individuellen Interpretation der Situation herzustellen (Woolley & Bruell 1996). Nach Frith und Frith (2001) ist die Entwicklung der ToM im Alter zwischen fünf und sechs Jahren abgeschlossen und wird im Folgenden lediglich erweitert und optimiert. Der Optimierungs-Prozess schreitet dahingehend weiter fort, als dass ein sechsjähriges Kind im Stande ist, den noch komplexeren Denkvorgang einer ToM zweiter Ordnung zu bewältigen. Hierbei ist es sich gewiss, dass eine Überzeugung über die Auffassung eines anderen Subjekts nicht korrekt sein kann – Maxi glaubt, dass Anna glaubt, der Schlüssel liege in der Schublade (Wimmer & Perner 1985). Auch ist sich ein sechsjähriges Kind bewusst, dass es durch das Konkludieren von Information Handlungsvorhersagen treffen kann, ein vier jähriges Kind ist dazu lediglich durch Beobachtung einer Situation in der Lage (Sodian u. Wimmer 1987).

Die Entwicklung der Identität erwächst demnach durch die Übernahme der Haltung anderer und formt so das Selbstbewusstsein eines Menschen. Überdies entfaltet sich mit fortschreitendem Alter die ToM dann so weit, dass das Individuum eben dazu in der Lage ist, was Milan Kundera im eingangs angeführten Zitat beschreibt. Menschen

schreiben ihren Mitmenschen auf Grund von gemachten Erfahrungen fortdauernde Charaktereigenschaften zu und betrachten das aktuelle Handeln nicht aus dem kausalen Zusammenhang erwachsend, sondern auf Grund von Vorurteilen.

### **2.2.1 Autismus und ToM**

Wie in den meisten Bereichen der Medizin ließ und lässt sich auch in der Psychiatrie durch Patientenstudien und auftretende Pathologien oft ein genaueres Verständnis über die „gesunde“ Funktionsweise des Organismus erlangen. Diesen Ansatz machten sich Baron-Cohen et al. zu Nutze, um anhand der Autismus Spektrum Störung (ASS) weitere Erkenntnisse über neuronale Korrelate der Theory of Mind zu gewinnen (Baron-Cohen et al., 1985 ). Sie beriefen sich auf eine Studie von Leslie et al. (1984) und postulierten, dass die für den Autismus charakteristischen Störungen in Bereichen der sozialen Interaktion als auch der verbalen und nonverbalen Kommunikation durch eine mangelhaft ausgeprägte Fähigkeit des Mentalisierens bedingt seien, welche sie für die soziale Interaktion als essenziell erachten. Diese Theorie des Defizits einer ToM bei autistischen Kindern sollte anhand des „Sally-Anne-Paradigmas“ verifiziert werden, welches konzeptuell dem Maxi-Paradigma identisch ist. Die Überzeugungsfrage wurde in dieser Studie jedoch nicht nur gesunden Kindern, sondern auch Kindern mit Autismus-Spektrum-Störung wie auch Kindern mit Down Syndrom gestellt. Zur Kontrolle wurde den Probanden anschließend eine Realitätsfrage („Wo befindet der Ball tatsächlich?“) und eine Gedächtnisfrage („Wo befand sich der Ball zu Beginn?“) gestellt. Es resultierte, dass 23 der 27 gesunden Kinder und 12 der 14 Kinder mit Down Syndrom die Überzeugungs-Frage richtig beantworteten. Im Gegensatz dazu meisterten, trotz eines insgesamt höheren mentalen Alters als das der Kontrollgruppe, lediglich vier der 20 autistischen Kinder die Frage erfolgreich. Die Kontrollfragen wurden hingegen unter allen Testgruppen mit nicht signifikanten Unterschieden richtig beantwortet. Den Autoren zufolge lässt sich der hoch signifikante Unterschied anhand des Unvermögens der autistischen Probanden, zwischen dem Realitätszustand bzw. der eigenen Überzeugung und der Überzeugung Sallys zu unterscheiden, erklären.

Auf Grund der hohen Sensibilität dieses Paradigmas, wird es auch heut zu Tage noch in der Forschung angewandt.

Die beschriebenen Paradigmen weisen darauf hin, wie mit der Forschung zur Theory of Mind verfahren wird, um suffiziente Auskünfte über die Funktionsweise, auf welche sich die ToM gründet, zu erlangen, wie auch die Entwicklung der ToM nachvollziehbar zu machen. Wie sich diese Fähigkeit in neuronalen Korrelaten niederschlägt, möchte ich im Folgenden erläutern.

### **2.3 Neuronale Korrelate der Theory of Mind und der Belief Attribution**

Wie im vorangegangenen Kapitel bereits angeführt, zog die damals noch vorwiegend auf die Entwicklungspsychologie beschränkte Forschung zur Theory of Mind primär false-belief Paradigmen heran, um die belief-Attribution zu ergründen. Mit dem Fortschreiten der Zeit und den technischen Möglichkeiten zweigten sich zudem Wege der ToM-Forschung, ausgehend von dem Gebiet der Entwicklungspsychologie, ab und brachen zu neuen Themenbereichen wie der Hirnforschung und den Neurowissenschaften auf. Letztere machten sich zur Aufgabe, die spezifischen neuronalen Korrelate des sozial-kognitiven Mechanismus des Mentalisierens zu erforschen und abzubilden. Hierzu wurden ca. ab den 90er Jahren primär bildgebende Verfahren wie die damals neu entwickelte funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) und die Methode der ereigniskorrelierten Potenziale (EKP) bemüht und haben sich bis zum heutigen Tage fest in den Neurowissenschaften etabliert.

Mittels der erwähnten fMRT wurde es möglich, indirekt eine Mehraktivierung von Bereichen im Hirn sichtbar zu machen. Seiji Ogawa et al. (2000) machten sich hierbei die von C.S. Roy und C.S. Sherrington gemachte Beobachtung zunutze, dass eine neuronale Aktivitätssteigerung in dem für den relevanten Prozess spezifischen Gehirnbereich mit einer vermehrten lokalen Durchblutung korreliert. Diese Durchblutungssteigerung wird im fMRT durch den so genannten „BOLD-Kontrast“ (blood oxygenation level dependent) dargestellt, welcher auf der unterschiedlichen magnetischen Beschaffenheit von oxygeniertem und desoxygeniertem Hämoglobin basiert. Folglich war der Weg geebnet, die neurokognitive Basis der ToM mittels der bereits in der Entwicklungspsychologie etablierten false-belief-Paradigmen bildlich festzuhalten. Eine Möglichkeit, welcher sich hiernach vor allem die Gebiete der Neurologie, Psychologie und Psychiatrie bedienen.

Eine im Jahre 2000 von Gallagher et al. durchgeführte Studie bietet ein gutes Beispiel, um die Umsetzung der ToM-Forschung in die Neurowissenschaften zu veranschaulichen und die erzielten Resultate neuronaler Korrelate der ToM anzuführen.

Den Probanden wurden zwei unterschiedliche Formen von Paradigmen dargeboten. Die Fähigkeit des Mentalisierens wurde einerseits durch eine so genannte „story task“, andererseits durch eine „cartoon task“ exploriert. Diese zusätzliche Differenzierung diente der Frage, ob sich innerhalb verbaler und visueller Hirnareale zusätzliche ToM-spezifische Domänen nachweisen ließen. Sowohl der verbale als auch der visuelle Teil der Testung gliederten sich jeweils in drei weitere Untertypen. Das verbale Material setzte sich aus ToM-Geschichten („theory of mind stories“; ToMS), Nicht-ToM-Geschichten („non-theory of mind stories“ Non-ToMS) und nicht zusammenhängenden Sätzen („unlinked sentences“) zusammen. Diese Kontrollbedingungen waren nötig, um die durch simples Lesen der Geschichten ausgelösten kognitiven Prozesse und somit auch abbildbare Hirnaktivitäten nicht als ToM Korrelate falsch zu identifizieren. Die ToMS beinhalteten eine für die fMRT-Forschung kompatible false-belief Aufgabe, in welcher sich ein Einbrecher nach einem Überfall auf der Flucht befindet. Im Eifer des Gefechts verliert dieser einen Handschuh. Ein Polizist, welcher dem Überfall nicht beiwohnte, beobachtet diese Szene und ruft dem Einbrecher hinterher: „Hey du! Stopp!“. Dies allerdings nur, um den Einbrecher auf den Verlust des Handschuhs hinzuweisen. Der Einbrecher hingegen dreht sich auf den Ruf folgend um, sieht des Polizisten, ergibt sich und gesteht den Überfall. An diesem Punkt des Experiments wird der Proband gefragt, warum der Einbrecher sich so verhalten hat. In den Non-ToMS werden die Probanden ebenfalls gebeten, zum Handeln eines Protagonisten Stellung zu nehmen. Der entscheidende Unterschied ist, dass sich der Proband nicht der Fähigkeit einer ToM behelfen muss, um die Non-ToMS zu erklären. Im Falle der ToMS ist es jedoch nicht möglich, die Geschichte ohne Mentalisieren richtig zu beantworten. Identisch gliederte sich auch der visuelle Teil („cartoon task“) der Studie. Wie auch im verbalen Abschnitt der Studie sah sich der Proband mit einem ToM-Cartoon (ToMC), einem Cartoon ohne ToM-Gehalt wie auch einem Abschnitt mit inhaltlich nicht zusammenhängenden Bildern konfrontiert, den so genannten „jumbled pictures“ (JC). Diese ausschlaggebenden Unterschiede wurden geschickt gewählt, um in den Resultaten eine hinreichende Kontrastierung zwischen Aufgaben mit und ohne ToM-Inhalten im fMRT darstellen zu können. In der Gegenüberstellung ToMS vs. Kontrollbedingungen zeigte sich in den

Resultaten eine signifikante Mehraktivierung im medialen Präfrontalkortex (mPFC), den bilateralen Temporalpolen sowie beidseits der temporoparietalen Junction (TPJ). Bis auf den mPFC wurden jedoch identische Aktivierungsmuster auch im Kontrast Non-ToMS > Kontrollbedingung beobachtet. Die Resultate im visuellen Part der Studie waren denen des verbalen ähnlich. Die Subtraktion der Bedingungen ToMC > Non-ToMC führte zu signifikanten Mehraktivierungen im medialen Präfrontalkortex, der bilateralen temporoparietalen Junction, dem mittleren Gyrus frontalis der rechten Hemisphäre, dem Precuneus und dem Gyrus fusiformis. Doch wie auch der verbale Part führte der visuelle Part zu einer nahezu identischen Mehraktivierung, bis auf den mPFC, im Kontrast Non-ToMC > Kontrollbedingungen. In einem zusätzlichen Vergleich wurden schließlich die Aktivierungsmuster der ToMS > Non-ToMS und die ToMC > Non-ToMC miteinander verrechnet, wobei sich ebenfalls eine signifikante Aktivierung im medialen Präfrontalkortex als auch in den bilateralen temporoparietalen Junctionen zeigten. Des Weiteren wiesen der rechte mittlere Gyrus frontalis, der Precuneus und der linke Temporalpol eine vermehrte Aktivierung auf, welche jedoch im nicht signifikanten Bereich blieb. Aus diesen Resultaten schlussfolgerten Gallagher et al., dass der mediale Präfrontalkortex (mPFC) als ein zentraler Mediator in Bezug auf die Fähigkeit der Attribuierung von mentalen Geisteszuständen agiert.

Diese von Gallagher und Kollegen angeführten Resultate decken sich zum größten Teil mit den Befunden einer Reihe anderer Studien und Reviews der kognitiven Neurowissenschaften des letzten Jahrzehnts zur Erforschung des Mentalisierens, welche ebenfalls false-belief (Frith & Frith 2003; Frith & Frith 2006; Gallagher & Frith 2003; Sommer et al. 2007) als auch false-photo Paradigmen (Saxe & Kanwisher 2003) zur Identifizierung der ToM verwendeten.

Von großer Relevanz war hierbei vor allem die Studie von Saxe et al. (2003), welche speziell eine Subregion der rechten temporoparietalen Junction (rTPJ) – bezeichnet als TPJ-M – als ein für den Prozess des Mentalisierens spezifisches Areal des Gehirns erachten.

Um das Kriterium einer markanten Beteiligung an der kognitiven Leistung der ToM zu erfüllen, setzten Saxe et al. für entsprechende Hirnareale zwei Bedingungen voraus. Zum einen sei es obligat, dass im Kontrast zwischen Aufgaben mit ToM-Inhalten, unabhängig ob false- oder true-belief, und solchen ohne einer sozialen Komponente eine signifikante Mehraktivierung zu beobachten ist. Zum anderen sei es nicht ausreichend,

wenn die entsprechenden Gehirnregionen eine Mehraktivierung bei bloßer Anwesenheit einer Person im Stimulusmaterial aufzeigen. Lediglich bei einer Auseinandersetzung mit den Bewusstseinszuständen der Person würde eine regionale Aktivitätssteigerung für eine Mitwirkung am Prozess des Verarbeitens von Repräsentationen mentaler Zustände sprechen. Für die angeführte fMRT-Studie entwickelten Saxe et al. unter Berücksichtigung der genannten Bedingungen zwei verschiedene Paradigmen, um ihre Hypothese der spezifischen funktionellen Beteiligung der rTPJ an der ToM zu bestätigen. In Experiment 1 wurden Geschichten konstruiert, welche in vier Kriterien zu untergliedern waren: false-belief Geschichten, Geschichten mit mechanischen Schlussfolgerungen, Beschreibungen menschlicher Handlungen und Beschreibungen von Hergängen ohne menschliche Beteiligung. Zudem wurden vierzehn der 25 Probanden einem zusätzlichen Scan unterzogen, in welchem ihnen 20 Bilder von Menschen in verschiedenen Körperhaltungen als auch 20 Bilder von unbelebten Objekten dargeboten wurden.

Im Vergleich der Theory of Mind Geschichte mit der Beschreibung von mechanischen Schlussfolgerungen zeigten fünf Areale ein stärkeres Aktivierungsmuster. Dazu gehörten die linke und rechte TPJ, der linke und rechte anteriore Sulcus temporalis superior (aSTS) und der Precuneus. Das Resultat der Steigerung im BOLD-Antwortverhalten bei 22 von 25 Probanden in der TPJ-M sahen Saxe et al. als Bestätigung ihrer Eingangshypothese an und schlussfolgerten, dass die TPJ-M einen für den Prozess des Mentalisierens spezifischen Bereich im Gehirn eines Menschen darstellt. Laut Saxe et al. sei jedoch innerhalb des Antwortverhaltens der TPJ-M weiter zu differenzieren. Während die linke TPJ-M eine Selektivität für verbale Beschreibungen aufwies, schien die rechte TPJ-M eine allgemeine Aktivierung auf nonverbalen Stimuli, wie beispielsweise Photographien, anzusprechen.

Aus der Tatsache, dass in Experiment 1 lediglich Vergleiche von Geschichten mit Menschen und deren Bewusstseinszuständen und Geschichten, welche weder Menschen noch deren Geisteszustände enthielten, angeführt wurden, ließ sich die Notwendigkeit ableiten, ein zweites Experiment aufzustellen. Zudem ließ sich in Experiment 1 die logische Struktur zwischen ToM-Geschichten und Kontroll-Geschichten nicht vergleichen, da lediglich die false-belief Geschichten eine Vorstellung über eine „falsche Darstellung“ enthielten, den false-belief. Diese experimentellen Unzulänglichkeiten versuchten Saxe et al. im zweiten Teil des Experiments mittels der Einführung von so

genannten false-photograph-stories zu beheben. In diesen sollte eine Vorstellung über einen „falschen“ Sachverhalt erzeugt werden, indem der Proband eine Aussage darüber treffen sollte, ob bestimmte Gegenstände, welche ursprünglich im Fokus der Kamera standen, letztlich am gleichen Ort des Bildes zu sehen seien, obwohl diese während der Entwicklungszeit des Fotos die Position gewechselt haben. Zusätzlich zu den Fotogeschichten wurden den 21 Probanden abermals Kurzgeschichten präsentiert, welche sich in weitere vier Kategorien gliedern ließen. Zu diesen zählten erneut Geschichten mit Inhalten von falschen Überzeugungen (false-belief), Wünschen (desire sample story), Beschreibungen von theoretischen unbelebten Sachverhalten und Geschichten über physische Eigenschaften eines Menschen. Im Anschluss wurde den Probanden eine Frage gestellt, deren Lösung sich aus den Informationen des vorangegangenen Textes erschließen ließ. Um die Frage zu beantworten, ob allein der Prozess des Mentalisierens eine verstärkte Aktivierung in der TPJ-M hervorrufe, oder ob auch vergleichbare Geschichten mit Vorstellung über eine inhaltlich „falsche“ Sachlage ohne ToM-Inhalt eine Mehraktivierung der TPJ-M zur Folge hat, kontrastierten Saxe et al. diese beiden Bedingungen (false belief > false photograph). Die Resultate zeigten, dass auch unter diesem Kontrast eine gesteigerte Aktivität der TPJ-M lediglich bei Stimuli, welche ToM-Denkmuster beanspruchen, nach vollzogen werden konnte, nicht jedoch bei vergleichbaren Stimuli ohne soziale Komponente (false-photograph). Des Weiteren zeigte sich keine Aktivität bei bloßem Auftreten von Personen bzw. der Beschreibung derer physischer Eigenschaften.

Ferner wurden, wie auch schon in Experiment 1, neben der beidseitigen Mehraktivierung der TPJ-M der Precuneus, der mediale Gyrus frontalis superior, der anteriore Sulcus temporalis superior (aSTS) und das posteriore Cingulum während der Bearbeitung von false-belief Aufgaben vermehrt aktiviert. Saxe et al. sahen ihre Hypothese durch die gewonnenen Resultate bestätigt. Wie prognostiziert, zeigte die TPJ-M ein deutlich verstärktes Antwortverhalten auf Stimuli mit inhaltlichen Komponenten des Mentalisierens. Darüber hinaus schien die TPJ-M nicht durch das alleinige Auftreten von Personen im Stimulusmaterial beansprucht zu werden. Diese Beobachtungen veranlassten Saxe et al. zu der Feststellung, dass die TPJ-M eine für die kognitive Fähigkeit der Theory of Mind spezifische Region sei.

Betrachtet man übergreifend die Ergebnisse der in diesem Teil genannten Studien, so stößt man mit auffallender Konstanz auf die immer wieder auftretenden Regionen, wie

vor allem der linken und rechten temporoparietalen Junction (TPJ) mit den angrenzenden Teilen des superioren temporalen Sulcus (STS) sowie dem medialen Präfrontalkortex (mPFC), welche für das Mentalisieren zentrale Gebiete zu sein scheinen. Des Weiteren erwecken Areale wie bilaterale Teile der Temporallappen, die Amygdala, als auch der Precuneus, den Anschein, am kognitiven Prozess der Theory of Mind beteiligt zu sein. Eine detaillierte Darstellung der Anatomie der temporoparietalen Junction folgt im Teil 6.3.1.2.

Doch ist mit der Identifizierung der relevanten Areale lediglich der erste Schritt hin zum Verständnis der Theory of Mind getan. Trotz dieser auffallenden Konsistenz empirischer Befunde besteht bis heute ein relativ geringes Verständnis über die genauen neurokognitiven Prozesse des Mentalisierens. Ein besseres Verständnis der neurokognitiven Grundlagen könnte einen entscheidenden Nutzen für die entwicklungspsychologische Forschung wie auch die Forschung der Autismus-Spektrums-Störung darstellen. Des Weiteren gilt es die Aktivierungsmuster der neuronalen Areale während des Mentalisierens zu erforschen und zu klären welche spezifische Funktion die jeweiligen Gebiete für die ToM haben, da die bisherigen Forschungsergebnisse lediglich eine allgemeine Beteiligung der Areale an der ToM ausmachen konnten.

### **2.3.1 Neuronale Korrelate der Aufmerksamkeitsreorientierung**

Es wäre jedoch voreilig zu behaupten, die genannten Regionen seien für die Fähigkeit der Annahme über Bewusstseinszustände des Gegenübers spezifisch und an keinem anderen Prozess beteiligt. Vor allem über die funktionelle Bedeutung der rechten temporoparietalen Junction (rTPJ) konnte unter den verschiedenen Strömungen der Wissenschaften noch kein Konsens gefunden werden. In einem sich parallel zur ToM Forschung entwickelten Forschungsgebiet haben Wissenschaftler wiederholt Mehraktivierungen in der rechten TPJ beobachten können, welche auf die sogenannte Aufmerksamkeitsreorientierung, einem Prozess, bei dem der aktuelle Aufmerksamkeitsfokus zu einem aufgabenrelevanten Stimulus reorientiert wird, zurückzuführen seien (Corbetta et al., 2000, 2005, 2008; Corbetta & Shulman 2002; Astafiev et al. 2006; Serences et al. 2005). Corbetta et al. (2008) zu Folge handelt es sich

bei dem Prozess des Reorientierens der Aufmerksamkeit um eine für das Überleben essentielle kognitive Fertigkeit, die es dem Menschen erlaubt, auf die Vielzahl an Reizen aus der Umwelt adäquat zu reagieren. Dabei beschreibt er zwei Muster des Reorientierens. Eine Neuausrichtung der Aufmerksamkeit kann demnach einerseits zwischen zwei Stimuli aus der Umwelt erfolgen, so zum Beispiel, wenn wir während des Lesens einer Zeitung durch die Sirene der Feuerwehr aufgeschreckt werden, andererseits aber auch, wenn die nach „innen“ gerichtete Aufmerksamkeit durch einen Reiz aus der Umgebung unterbrochen wird, beispielsweise, wenn wir beim Nachdenken über einen bestimmten Sachverhalt durch eine Sirene aus dem Gedankenstrom gerissen werden.

Corbetta et al. (2008) sprechen der rTPJ eine entscheidende Rolle in der Interaktion zweier kortikaler Aufmerksamkeitsnetzwerke zu, bei welchen vor allem der ventrale Anteil des Netzwerks und die darin repräsentierte rTPJ den Prozess der Reorientierung von Aufmerksamkeit steuere.

In der angeführten Studie bedienten sich Corbetta et al. dem „posner-cueing-Paradigma“, um neuronale Aktivitäten während des Reorientierens abbildbar zu machen. Den Probanden wird dabei folgende Bilderfolge dargeboten:

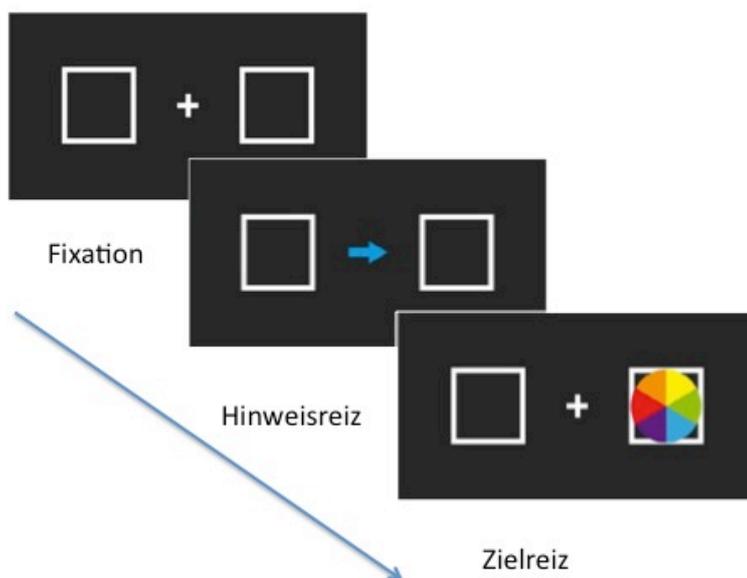


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung der „validen“-Bedingung“ eines posner-cueing-Paradigmas. Unterteilung der Messung in Fixations- und Hinweisreiz und Zielreizphase sowie ihre Abfolge. Der Pfeil stellt den chronologischen Ablauf dar.

Aufgabe der Versuchsteilnehmer ist es, ein Fixationskreuz zu fokussieren, welches in der Mitte des Bildschirms abgebildet ist. Dieses Fixationskreuz wird darauf folgend durch einen Hinweisreiz (cue) ausgetauscht, welcher zum Beispiel in Form eines richtungsweisenden Pfeils repräsentiert sein kann und unsere Aufmerksamkeit auf eine Seite des Bildschirms ausrichtet. Der Pfeil übermittelt demnach Informationen über den Ort des möglichen Auftretens eines Zielreizes (target). Erscheint der Zielreiz in einem der beidseits angelegten Kästchen, obliegt es dem Probanden, schnellstmöglich einen Antwortknopf zu drücken. Der Hinweispfeil zeigt jedoch nicht lediglich in die Richtung der Bildschirmhälfte, auf welcher schließlich auch der Zielreiz auftreten wird. Sowohl valide Durchgänge, in denen die Richtung des Hinweispfeils und der Ort des Zielreizes übereinstimmen, als auch nicht-valide Abläufe, in welchen der Pfeil in die entgegengesetzte Richtung des Zielreizortes gerichtet ist, können auftreten. Diese validen und nicht-validen Hinweise haben einen Einfluss auf die Reaktionszeiten der Probanden. Ein valider Hinweisreiz führt im Vergleich zu nicht-validen Hinweisreizen zu schnelleren Reaktionszeiten. Daraus wurde geschlussfolgert, dass der Hinweisreiz die Aufmerksamkeit des Individuums auf eine bestimmte Lokalisation ausrichtet. Wird die ortsbezogene Aufmerksamkeit jedoch missgeleitet und der Zielreiz tritt außerhalb des Aufmerksamkeitsfokus auf, resultiert dies folglich in einer verlängerten Reaktionszeit des Probanden, welcher seinen Aufmerksamkeitsfokus neu justieren muss.

Basierend auf den abgebildeten Aktivierungsmustern, welche durch Aufmerksamkeitsstudien mittels posner-cueing-Paradigmen gewonnen wurden, postulierten Corbetta et al., dass eben diese Aufmerksamkeitsreorientierung auf einer kortiko-kortikalen Interaktion von zwei Aufmerksamkeitsnetzwerken beruht; einem dorsalen Netzwerk (DAN: dorsal attention network), welches sich speziell über den Sulcus intraparietalis (IPS) und den Lobus parietalis superior (SPL) des dorsalen Parietalkortexes sowie Areale nahe des frontalen Augenfeldes erstreckt und einem ventralen (VAN: ventral attentional network) Netzwerk, dessen neuronale Korrelate sich in der TPJ, dem Sulcus temporalis superior (STS) und in ventralen Teilen des Gyrus supramarginalis (SMG) darstellen lassen. Hierbei sei das VAN für das Erkennen von salienten, ins Auge springenden und verhaltensrelevanten Reizen aus der Umwelt zuständig. Vor allem, wenn diese nicht im aktuellen Fokus der Aufmerksamkeit stehen, unterbreche das VAN den aktuellen Fokus und richte die Aufmerksamkeit auf den neuen, relevanteren Reiz aus. So sei auch nachzuvollziehen, dass das VAN bei einer

fokussierten Aufmerksamkeit unterdrückt bleibe, um das ablenkende Wahrnehmen von nicht relevanten Reizen zu vermeiden. Mit diesem ventralen Aufmerksamkeitsnetzwerk steht nach Corbetta das DAN in ständigem Austausch. Das DAN hingegen ist für die Selektion von Stimuli und die Verbindung dieser wahrgenommenen Stimuli mit einer angemessenen motorischen Antwort verantwortlich. Aus einer weiteren Studie von Corbetta et al. (2000) geht hervor, dass dieses Netzwerk endogene Signale funktionell generiert, die auf aktuellen Zielen, Motivationen und bereits existierenden Informationen basieren (goal driven attention), diese aufrecht erhält und schließlich so genannte „top-down“-Signale aussendet, welche dann die Verarbeitung von Reizen und Stimuli beeinflusst. Aus den Ergebnissen zweier Studien (Shulman et al., 2003 und Todd et al., 2005) folgern Corbetta et al. zudem, dass die genannten „top-down“-Signale die bereits erwähnte Unterdrückung des VANs bei fokussierter Aufmerksamkeit bedingen. Diese Interaktion der beiden Netzwerke beschreiben Corbetta und Kollegen als einen Rezeptionsprozess, bei dem die von Objekten in der Umwelt produzierten so genannten „bottom-up“-Signale durch vom DAN generierte „top-down“-Signale gefiltert werden, was dazu führt, dass schließlich nur diejenigen Signale wahrgenommen werden, die für eine Person in dem aktuellen Kontext relevant sind oder so stark hervorstechen bzw. durch Erkenntnisse aus der Vergangenheit eine große Wichtigkeit besitzen, dass sie in den Fokus der Aufmerksamkeit gerückt werden.

Wie aus der Erläuterung hervorgeht, wird von Corbetta et al. (2008) die TPJ dem ventralen Teil des Aufmerksamkeitsnetzwerkes zugeordnet, der die Steuerung der Aufmerksamkeitsreorientierung vollzieht.

Im Teil 2.3.2 möchte ich weiter darauf eingehen, wie Corbetta et al. der TPJ über das bloße Entdecken von verhaltensrelevanten Stimuli hinaus eine mögliche Relevanz für das Lösen von false-belief Aufgaben zusprechen.

Bis heute herrscht Uneinigkeit über die kognitive Funktion der TPJ-Aktivität. Handelt es sich bei den Verfahren der ToM und der Aufmerksamkeitsreorientierung um zwei voneinander völlig unabhängige Domänen, welche lediglich in den selben bzw. eng benachbarten Arealen repräsentiert werden oder gibt es einen, den beiden kognitiven Fähigkeiten zugrundeliegenden Prozess, welcher beide Forschungsbereiche tangiert und es auf Grund dessen zu überlappenden Aktivierungen innerhalb der rTPJ bei entsprechenden fMRT-Untersuchungen kommt? Diesen Fragestellungen haben sich in

den vergangenen Jahren mehrere Forschungsteams gestellt (Geng et al., 2013; Mitchell et al., 2008; Kubit et al., 2013; McKell Carter et al., 2013) und auch unsere Studie hat sich zur Aufgabe gemacht, durch weiter differenzierte Testmethodik dem Wesen der rTPJ nachzuforschen.

Im nachfolgenden Kapitel werden die verschiedenen Ansätze bezüglich der rTPJ innerhalb der wissenschaftlichen Strömungen genauer erläutert sowie einige relevante Studien angeführt und – daraus abgeleitet – der Ansatz unserer Studie dargelegt.

### **2.3.2. Auswirkungen eines sozialen Kontextes auf ein Aufmerksamkeitsnetzwerk**

Wie bereits eingangs angeführt, werden der Region der rechten temporoparietalen Junction (rTPJ) zwei für das Überleben existentielle kognitive Prozesse zugesprochen. Vermeintlich simple, basale Aufgaben des Alltags, wie eine sinnvolle Auseinandersetzung mit Reizen sowohl in der Umwelt als auch in sozialen Interaktionen, werden nach Meinungen verschiedener Wissenschaftler in eben jenem Hirnareal verarbeitet. Bis zum heutigen Tage herrscht kein Konsens, ob der sozialkognitiven Theory of Mind – Fähigkeit und dem basalen Mechanismus des Reorientierens von Aufmerksamkeit ein kognitiver Prozess in überlappenden Gebieten der rTPJ zugrunde liegt, oder ob zwei unterschiedliche kognitive Prozesse unabhängig voneinander in benachbarten Regionen der RTPJ bei Aufmerksamkeitsreorientierung bzw. ToM eine Rolle spielen.

Im Folgenden möchte ich einen chronologischen Überblick über die Debatte zwischen den verschiedenen wissenschaftlichen Ansichten zur Funktion der rTPJ geben, einige wissenschaftliche Vereinbarungversuche anführen und schließlich aus der immer noch bestehenden Problematik entspringend den Ansatz unserer Studie erläutern.

Wie bereits in 2.3.1 erläutert wird von Corbetta et al. (2008) der rTPJ eine entscheidende Rolle in zwei kortikalen Aufmerksamkeitsnetzwerken zugesprochen, bei welcher vor allem der ventrale Teil und die darin repräsentierte rTPJ den Prozess der Aufmerksamkeitsreorientierung steuert.

Corbetta und Kollegen spannen den Bogen der funktionellen Bedeutung der rTPJ zudem über das bloße Entdecken von verhaltensrelevanten Stimuli hinaus und suggerieren, dass aus dem Wahrnehmen von Reizen heraus die Vorstellung der eigenen Person im Spannungsverhältnis zur Umwelt entstehe. Aus dieser Feststellung und der

Annahme, dass die kognitive Fähigkeit der ToM eine enge Interaktion zwischen Wahrnehmungsprozessen und der Selbstreflexion beinhalte (Buckner & Carroll, 2007), leiten Corbetta et al. eine mögliche Relevanz für das Lösen von false-belief Aufgaben ab.

Eine von Mitchell et al. (2008) beobachtete Kollokalisierung der Aktivitäten in der rTPJ bei false-belief Aufgaben und dem Prozess des Reorientierens der Aufmerksamkeit könnte auf einen kognitiven Prozess hinweisen, welcher in beiden Domänen von Belang sei. So schlägt Corbetta brückenbildend vor, dass sowohl ToM-Paradigmen als auch Reorientierungsaufgaben häufig Verletzungen von Erwartungen beinhalten. Diese Abweichungen von den ursprünglichen Überzeugungen über einen Handlungsablauf schlagen sich dem Anschein nach in einer Aktivierung des ventralen Aufmerksamkeitsnetzwerkes bzw. der rTPJ nieder. Übertrage man demnach das Modell der Aufmerksamkeitsreorientierung auf eine soziale Ebene, so könnte man laut Corbetta den Prozess der ToM als einen durch die Modifikation der Aufmerksamkeit initiierten ständigen Wechsel und Abgleich zwischen einer immanenten, internalen Perspektive, welche durch die Wahrnehmung der Umwelt bedingt ist und der Sichtweise eines Gegenübers verstehen.

Eine der Theorie Corbettas konträre Vorstellung zum Wesen der rTPJ wird, wie bereits vorangegangen genauer erläutert, von Saxe et al. (2003) vertreten. Im Gegensatz zur Meinung anderer Forscher der kognitiven Neurowissenschaften (z.B. Gallagher & Frith 2003), welche die rTPJ lediglich als eine an Vorstufen der sozialen Kognition beteiligte und damit die ToM bloß unterstützende Gehirnregion beschreiben, erachten Saxe et al. eine Subregion der rTPJ – bezeichnet als TPJ-M – als eine für die kognitive Fähigkeit der Theory of Mind spezifisches Areal des Gehirns.

Ein Ansatz die rTPJ als ein multifunktionales Schaltzentrum in unserem Hirn zu erachten, welches nicht für einen spezifischen kognitiven Prozess verantwortlich ist, sondern möglicherweise mehrere Funktionen miteinander vereint, wird in einer Metaanalyse von Decety und Lamm (2007) diskutiert. In der genannten Studie gehen Decety und Lamm auf die bereits bestehenden Forschungsergebnisse ein, darunter auch die von Saxe et al. und Corbetta et al., und bemühen sich, die verschiedenen Ansätze zur funktionellen Bedeutung der TPJ miteinander zu vereinen. Im Gegensatz zu den im Vorangegangenen angeführten Forschungsteams plädieren sie nicht für eine domänenspezifische Funktion der TPJ, sondern postulieren einen übergreifenden Funktionsmechanismus für die Reorientierung der Aufmerksamkeit und der sozial

kognitiven Leistung der ToM. Um dies zu verdeutlichen, bedienten sie sich 70 bildgebenden Studien zu den Themen Empathie und ToM einerseits und der Aufmerksamkeitsreorientierung andererseits und werteten diese hinsichtlich der funktionellen Aktivität der TPJ aus. Die Resultate der Metaanalyse ergaben eine substantielle Überlappung der Aktivierungscluster in der TPJ während der beiden kognitiven Leistungen. Daraus schlussfolgern sie, dass die Aktivierung der TPJ während des Mentalisierens auf ein Generieren, Testen und Berichtigen von internalen Verhaltensvorhersagen und sensorischen Stimuli aus der Umwelt zurückzuführen ist. Ihrer Ansicht nach besteht demnach zumindest partiell ein Zusammenhang zwischen kognitiv anspruchsvolleren Verarbeitungsmechanismen, wie der ToM und basaleren, welche mit der Vorhersage von externen Ereignissen einhergehen.

Mitchell et al. (2008) nehmen einen, diese Theorie unterstützenden, Standpunkt ein. Auch dieser sieht eine domänenspezifische funktionelle Bedeutung der TPJ kritisch. Sie erachten es allerdings als erforderlich zu testen, ob die bisherigen Beobachtungen der TPJ-Aktivitätscluster im Zusammenhang mit der Attribuierung von Bewusstseinszuständen und der Reorientierung der Aufmerksamkeit tatsächlich identische Loci innerhalb des Hirns beschreiben, oder ob es sich lediglich um nah benachbarte Regionen handelt. Um dies zu eruieren, verglichen Sie die Aktivierungsmuster beider kognitiver Leistungen. Die Probanden hatten sich demnach zum einen einem an das posner-cueing-Paradigma angelehnten Paradigma zur Erfassung der Aufmerksamkeitskomponente zu unterziehen und zum anderen ein so genannten Theory of mind localizer in Form von Geschichten mit false-belief Inhalten, identisch wie die von Saxe et al. (2003), zu bearbeiten. Wie von Mitchell et al. prognostiziert, führte der Kontrast invalid > valid (nicht-valide Richtungsvorgabe des Hinweispfeils > korrekte Richtungsvorgabe des Hinweispfeils) zu einer im fMRT abbildbaren gesteigerten Aktivierung im Bereich der rTPJ. Die Bearbeitung der false-belief Paradigmen und damit die Anwendung einer ToM führte ebenfalls, den Erwartungen Mitchells und Kollegen entsprechend, zu einer Aktivitätssteigerung der rechten temporoparietalen Junction, des medialen Präfrontalkortex, des Precuneus sowie auch des gyrus frontalis superior. Wie bereits erwähnt, bestand das Hauptaugenmerk der Studie jedoch nicht in der alleinigen Darstellung der relevanten Hirnareale, sondern vielmehr in dem exakten Vergleich der Aktivierungsmuster während der ToM und der Aufmerksamkeitsreorientierung. Um die lokalisierten BOLD-

Kontraste möglichst exakt darstellbar und damit vergleichbar zu machen, wählten Mitchell und Kollegen für jeden Probanden individuell, da präzise neuroanatomische „Positionen“ von Proband zu Proband verschieden sein können, die durch den Vergleich „belief > photograph“ gewonnenen ROIs aus und projizierte sie als Auswertungsraster auf die gewonnenen Daten der attentional-cueing-task. Auf diese Art und Weise sollte überprüft werden, ob eine der identifizierten Regionen aus dem ToM-Paradigma auch bei dem Kontrast invalid > valid in dem Aufmerksamkeitsparadigma eine relevante Mehraktivierung aufweist. Eine Überlappung des Antwortverhaltens ließ sich lediglich in der rTPJ erfassen. Mitchell und Kollegen sehen auf Grund des nachgewiesenen Überlappungsmusters in der rTPJ eine Domänenspezifität widerlegt und einen funktionellen Zusammenhang beziehungsweise einen gemeinsam grundlegenden Prozess der beiden betrachteten kognitiven Fähigkeiten als sehr wahrscheinlich an. Wie dieser genau aussehen könnte, lässt sich durch die Studie Mitchells et al. nicht belegen, doch führen Sie hypothetisch fort, dass es möglich und denkbar sei, die Fähigkeit der ToM als eine Manipulation von Aufmerksamkeitsprozessen zu reinterpretieren. Des Weiteren sei es denkbar, dass die rTPJ selektiv für beide Verarbeitungsprozesse ist, jedoch in Abhängigkeit von Koaktivierung anderer Areale des Gehirns. So sei es möglich, dass während der Überzeugungsattribution von einer Domänenspezifität der rTPJ zu sprechen ist, die mit einer parallelen Aktivierung des MPFC sowie des Precuneus einhergeht, jedoch zudem eine Selektivität für die Aufmerksamkeitsreorientierung bestehe, die mit einer gleichzeitigen Interaktion mit dem ventrolateralen Präfrontalkortex korreliert.

Der Frage, ob sowohl die ToM als auch exogene Aufmerksamkeit dieselbe neuronale Region rekrutieren, oder ob es sich lediglich um benachbarte Regionen innerhalb der rTPJ handele, widmeten sich zudem Scholz et al. in ihrer im Jahre 2009 veröffentlichten Studie. Sie gingen davon aus, dass die von Mitchell beobachteten Überlappungen der Aktivierungsschemata auf methodischen Mängeln beruhten. Um konfundierende Variablen zu minimieren, zogen Scholz et al. eine größere Feldstärke sowie eine höhere Auflösung im Scanner heran und präsentierten den Probanden sowohl false-belief Aufgaben wie auch Aufgaben zur Reorientierung der Aufmerksamkeit. Konträr zu Mitchell führten ihre Messungen tatsächlich zu benachbarten, jedoch klar voneinander abgrenzbaren Teilbereichen der Aktivierungsmuster von ToM-Kognition und der Aufmerksamkeitsreorientierung innerhalb der rTPJ.

Aus den angeführten Studien lässt sich erkennen, wie komplex das Forschungsgebiet zur funktionellen Bedeutung der rTPJ ist und wie überaus schwierig es sich gestaltet, trotz technisch hoch entwickelter Messmethoden eine exakte Aussage zu treffen. Allein die Forschung zur ToM und zur Aufmerksamkeitsreorientierung haben eine Vielzahl an Studien hervorgebracht, welche sich größtenteils der funktionellen Magnetresonanztomographie bedienen, um den neuronalen Grundlagen der beiden kognitiven Fähigkeit auf den Grund zu gehen.

Doch ist es eben diese Vielzahl und die mit ihr einhergegangene uneindeutige Befundlage, welche eine genaue Betrachtung und einen validen Vergleich der Aktivierungsmuster von ToM als auch der Aufmerksamkeitsreorientierung so diffizil werden lassen. Die bereits angeführten Studien haben sich auf verschiedene Art und Weise an eine Gegenüberstellung herangewagt. Mittels unterschiedlicher Versuchsparadigma und divergierender Genauigkeiten des räumlichen Auflösungsvermögens wurde versucht den Ansprüchen einer gültigen Auseinandersetzung gerecht zu werden. Doch kommen eben diese unterschiedlichen Versuchsbedingungen einem genauen Vergleich und einer objektiven Beurteilung erschwerend hinzu. Ein solch genauer Vergleich wird lediglich möglich, wenn übergreifende konstante und vor allem vervielfältigbare Versuchsbedingungen, wie einheitliche Paradigmen, identische Anforderungen bezüglich der Auflösung sowie die daraus resultierende analoge Beschreibung der genauen Anatomie, eingehalten werden. Aus diesem Grund sollen an dieser Stelle die Testmethoden der einzelnen Studien nochmals kurz angeführt werden und aus den vereinzelt Schwachstellen der Studien und den daraus resultierenden offenen Fragen unsere Versuchsansätze und Ziele abgeleitet wie auch die Hypothesen formuliert werden.

### **2.3.3 Offene Fragen und daraus resultierende Anforderungen an zukünftige Studien**

Wie sich resümierend festhalten lässt, trafen sich in der wissenschaftlichen Literatur der letzten Jahre zwei konträre Ansichten aus unterschiedlichen Forschungsfeldern in der Diskussion um die neurokognitive Rolle der rechten temporoparietalen Junktion (rTPJ). Nachdem im Jahre 2000 die Arbeit von Gallagher et al. differenzierte Ergebnisse zu neuronalen Korrelaten der ToM lieferte, zu denen die TPJ, angrenzende Teile des Sulcus

temporals superior (STS) und der mediale Präfrontalkortex gehörten, wurde insbesondere die Gehirnregion der rTPJ in den Folgejahren von Forschungsgruppen der Theory of Mind (Saxe et al., 2003 & 2006; DiQuattro et al., 2014) als auch der Aufmerksamkeitsforschung (Corbetta et al., 2000; 2002; 2008; Vossel et al., 2009; Doricchi 2009) genauer hinsichtlich der funktionellen Bedeutung betrachtet. Über dies wurden Metaanalysen, wie beispielsweise die von Decety und Lamm (2007), angefertigt, um ein zusammenfassendes Bild über die Vielzahl an Studienergebnissen zu erlangen und aus diesem Bild neue Erkenntnisse zu ziehen. Ein zentraler Kritikpunkt hinsichtlich einer Metaanalyse ist jedoch, dass zwar aus ihr erwachsend retrospektiv Annahmen bezüglich der Rolle der rTPJ abgeleitet werden können, diese sich jedoch aus einer Vielzahl an Untersuchungen speisen, welche unterschiedliche methodische Herangehensweisen beinhalten, was zwingend zur Folge hat, diese Annahmen experimentell nachzuprüfen. Ohne homogene Operationalisierungsverfahren ist folglich ein zusammenfassendes Résumé nur bedingt möglich. Indem Mitchell (2008) und Scholz et al., (2009) in ihren Studien sowohl ToM-Paradigmen als auch Paradigmen zur Aufmerksamkeitsreorientierung bearbeiten ließen, lieferten sie einen entscheidenden Schritt hin zu einer exakteren Betrachtung und einer besseren Vergleichbarkeit der Aktivierungsmuster der beiden kognitiven Leistungen. Auch wenn dieser Ansatz sicherlich zu einer akkurateren Gegenüberstellung beigetragen hat, bleibt ein Kritikpunkt offen. Die beiden Testparadigmen werden zwar an derselben Versuchsperson untersucht, allerdings liegen immer noch zwei grundverschiedene Paradigmen vor, welche unterschiedliche Anforderungsbedingungen implizieren. Die mit ihr einhergehende Differenz zwischen der Prozessierung des basalen Aufmerksamkeitsmechanismus und den „high-level“ kognitiven Prozessen der ToM (Decety & Lamm, 2007) kommt einer validen Gegenüberstellung der neuronalen Aktivierungsschemata erschwerend hinzu.

Aus den Ergebnissen der genannten Studien lassen sich folgende – für unsere Studie – relevante Fragen ableiten: Es steht weiterhin zur Debatte, ob die beobachteten Aktivierungsmuster, welche mit der ToM als auch mit der Aufmerksamkeitsreorientierung in Verbindung gebracht werden – hierbei liegt in besonderem Maße das Augenmerk auf der rTPJ – identisch sind oder sich nur teilweise überlappen beziehungsweise eine unterschiedliche Koaktivierung mit anderen

Hirnarealen besteht. Mit dieser Fragestellung einher geht die Ermittlung, ob den beiden kognitiven Prozessen ein gemeinsamer Verarbeitungsmechanismus zu Grunde liegt, welcher sich zum einen auf soziale Kognition zum anderen auch auf die Aufmerksamkeitsreorientierung ausprägen kann.

### **3. ZIELE DER VORLIEGENDEN ARBEIT**

Für die vorliegende Arbeit wurde ein fMRT Paradigma entwickelt, welches beide kognitiven Leistungen in einer Aufgabe zusammenfasst. Hierzu entwarfen wir ein an das Posner Paradigma angelehntes Versuchsschema, welches durch zwei unterschiedliche Ausprägungen eines sozialen Kontexts erweitert wurde. So war der Proband im sozialen Teil unserer Studie im Glauben, die Hinweisfeile seien von einem Mitarbeiter eingegeben, welcher diese, basierend auf nur für ihn zugänglichen Informationen, einloggt. In der nicht-sozialen Bedingung der Studie hingegen wurde dem Probanden vermittelt, die Hinweisreize seien computerbasiert. Tatsächlich unterschieden sich die beiden Versuchsbedingungen in keiner Weise, da es sich in beiden Fällen um randomisiert auftretende Hinweisreize handelte. Demzufolge konnten wir durch die Einführung einer sozialen Komponente in ein Aufmerksamkeitsparadigma den Einfluss eines sozialen Kontextes auf die neuronalen Grundlagen einer wichtigen Aufmerksamkeitsfunktion untersuchen.

Des Weiteren versuchten wir durch die Übernahme der zeitlichen Rahmenbedingungen, welche Corbetta et al., (2002) verwendeten, konstante Versuchsparameter über verschiedene Studien hinaus zu gewährleisten und damit die die Ergebnisse unserer Studie mit denen von Corbetta vergleichbar zu machen.

Zusätzlich zu den ermittelten Daten der fMRT wurden in unserer Studie zudem auch Reaktionszeiten sowie die Bearbeitungsgenauigkeit, bestimmt, um den Cueingeffekt behavioral zu überprüfen.

#### **3.1 Hypothesen**

##### **3.1.1 Behaviorale Daten**

Bezüglich der Verhaltensdaten erwarten wir längere Reaktionszeiten in der nicht-validen Bedingung verglichen mit der validen Bedingung. Diese Annahme basiert auf der Vermutung, dass die Auseinandersetzung mit einer nicht kongruenten Erwartung diffiziler sein sollte, da die vorliegende Diskrepanz zwischen Erwartung und Zielreiz eine Diskrepanz entstehen lässt, welche von den Versuchspersonen zunächst erkannt

und aufgelöst werden muss. Hingegen ist dieser zusätzliche Verarbeitungsmechanismus bei der kongruenten Bedingung nicht von Nöten. Auf Grund dessen sollten sich die Reaktionszeiten zwischen diesen beiden Bedingungen unterscheiden.

Hinsichtlich der Bearbeitungsgenauigkeit halten wir einen signifikanten Unterschied zwischen der sozialen und nicht-sozialen Bedingung nicht für wahrscheinlich, da der Schwierigkeitsgrad absolut identisch und zudem höchst simpel ist.

### **3.1.2 fMRT Daten**

Basierend auf vorangegangenen Studien zur ToM (Gallagher et al. 2000; Saxe & Kanwisher 2003; Saxe & Wexler 2005; Saxe & Powell 2006) erwarten wir für den Kontrast sozial>nicht-sozial eine neuronale Aktivitätssteigerung innerhalb der rTPJ, wie auch des medialen Präfrontalkortex (mPFC), des Precuneus und des Sulcus temporalis superior (STS).

Bemüht man die rezente Literatur der Aufmerksamkeitsforschung (Corbetta & Shulman 2002; Arrington et al., 2000; Corbetta et al., 2000; Kincade et al., 2005; Macaluso et al., 2002; Vossel et al., 2006) so lässt sich anhand der gewonnenen Daten ebenfalls im Kontrast nicht-valide>valide eine neuronale Aktivität in der rTPJ, dem dorsalen Parietalkortex und speziell die Teilbereiche des Sulcus Intraparietalis (IPS) und des Lobus parietalis superior (SPL), sowie in Arealen nahe des frontalen Augenfeldes (FEF) während der Aufmerksamkeitsreorientierung für unsere Studie prognostizieren.

Aufgrund dieser nahezu identischen Ergebnisse innerhalb zwei verschiedener Forschungsfelder bezüglich einer Gehirnregion, der rTPJ, stellt sich innerhalb unseres Experiments nun die Frage, ob und inwieweit eine soziale Interaktion innerhalb eines identischen Paradigmas eine Auswirkung auf ein Aufmerksamkeitsnetzwerk hat.

Wird kein Einfluss des sozialen Kontexts auf rTPJ-Aktivität in diesem Aufmerksamkeitsreorientierungs-Paradigma beobachtet, spricht dies gegen eine gesonderte Rolle dieser Region in der Neurokognition der Theory of Mind (H0).

Hat jedoch der soziale- vs. nicht-soziale Kontext einen Einfluss auf funktionale Aktivität der rTPJ, spricht dies gegen eine exklusive Beteiligung dieser Region bei der Aufmerksamkeitsreorientierung und für eine substantielle Rolle der rTPJ in beiden kognitiven Domänen und assoziierten neuronalen Netzwerken (H1).

Zudem besteht die Möglichkeit, dass sich zwei räumlich nicht überlappende, voneinander unabhängige Gebiete innerhalb der rTPJ in Zusammenhang mit der Aufmerksamkeitsreorientierung bzw. Verarbeitung des sozialen Kontexts zeigen. Diese letzte Möglichkeit spräche gegen das Bestehen von funktionellen Gemeinsamkeiten und für eine separate Verarbeitung.

Die genannten Hypothesen werden ausführlich und in Zusammenschau mit den von uns erhaltenen Ergebnissen im Diskussionsteil abgehandelt.

## **4. METHODE**

### **4.1 Probanden**

An der vorliegenden Studie nahmen 25 Probanden teil. Die Stichprobe setzte sich aus 12 Männern und 13 Frauen im Alter von 19 bis 32 Jahren zusammen. Das Durchschnittsalter betrug 23.12 Jahre ( $SD = 3.45$ ). Einer der Probanden musste wegen zu starken Bewegungsartefakten aus der Studie ausgeschlossen werden, was zu einer finalen Stichprobengröße von  $N=24$  führte.

Die Probanden wurden über Aushänge an der Universität Regensburg sowie über Mundpropaganda angeworben. Bei den Probanden handelte es sich vorwiegend um Studenten. Bereits im Vorfeld wurden die Probanden über Rahmenbedingungen der Studie und Datenschutzbestimmungen aufgeklärt. Die Teilnahme war an eine Vergütung als auch die Aushändigung von gewonnen Bildern des jeweiligen Gehirns gekoppelt. Zudem ging eine Klärung von möglichen Ausschlusskriterien voraus. Entsprechende Kriterien waren metallische Implantate, vor allem im Bereich der Kopfes, Linkshänder (gemessen mit dem „Edinburgh Handedness Inventory“, Oldfield 1971), Schwangerschaft, Medikamentenpumpe, Herzschrittmacher, ADHS oder andere psychische Störungen und eine aktuelle Einnahme von Psychopharmaka. Die Sehkraft der Probanden war uneingeschränkt oder zu voller Sehkraft korrigiert. Die Studie war durch Ethikkommission der Universität Regensburg genehmigt.

### **4.2 Stimuli**

Für die Studie wurde, angelehnt an Posner et al. (1980), ein Spatial-Cueing-Paradigma entwickelt.

Die Aufgabe des Probanden bestand darin, einen Zielreiz in Form eines bunten Farbkreises zu erkennen, welchem ein valider oder nicht-valider Hinweisreiz in Form eines farblich markierten Pfeils vorangegangen war. Der Proband teilte das Erkennen durch das Drücken einer Bestätigungstaste auf einer ihm beigelegten Reaktionsbox mit.

Das Posner Paradigma wurde zusätzlich durch zwei unterschiedliche Formen des Kontexts erweitert und dadurch variiert. Hierbei handelte es sich einerseits um eine soziale (social) als auch eine nicht-soziale (non-social) Kontext-Bedingung.

In der sozialen Bedingung war der Proband im Glauben, die Hinweis-Pfeile werden ihm von einem Mitarbeiter eingegeben, welcher diese, basierend auf nur für ihn zugänglichen Informationen einloggt. Diese Attribution des Bewusstseinszustandes des Gegenübers war maßgebend für den sozialen Kontext. In der nicht-sozialen Bedingung wird dem Probanden vermittelt, die Hinweis-Pfeile seien computerbasiert. Wichtig anzumerken ist, dass die Bedingung „sozial“ sich im Aufbau nicht von der Bedingung „nicht-sozial“ unterscheidet. In beiden Fällen basierten die Hinweisreize auf einer pseudorandomisierten Reihenfolge. Lediglich der Proband befand sich in dem Glauben, in der Bedingung „sozial“ die Hinweis-Pfeile von einem Mitarbeiter eingegeben zu bekommen. Der Glaube des Probanden und die Realität differierten demnach in diesem Teil des Paradigmas.

Die gegenwärtige Bedingung wurde dem Probanden durch die Farbe des Hinweis-Pfeils verdeutlicht. So wies beispielsweise bei einem Teil der Versuchspersonen ein gelber Hinweispfeil auf die vermeintliche Eingabe durch einen Mitarbeiter hin, wohingegen ein blauer Hinweispfeil darauf hinwies, dass die Hinweise computerbasierte generiert würden. Bei dem anderen Teil der Probanden war die Farbverteilung umgekehrt. Die Zuordnung der Farbgebung zu der jeweiligen Bedingung wurde zwischen Versuchspersonen ausbalanciert.

Nach diesen Bedingungen lässt sich das Paradigma in sechs Blöcke zu je drei „soziale“ und drei „nicht-soziale“ Blöcke in abwechselnder Reihenfolge aufteilen. Die Anzahl der Blöcke diente einer ausreichenden Generierung von Trials für die soziale als auch nicht soziale Bedingung. Um eine Habituation auf die jeweilige Bedingung zu vermeiden, wurden diese in abwechselnder Reihenfolge präsentiert. Auch wurde auf diese Weise versucht die Induktion des jeweiligen Kontextes, und damit des kognitiven Zustanden, sicherzustellen und einen möglichen Verlust der Relevanz des Kontextes über die Zeit entgegenzuwirken.

Die Reihenfolge der Blöcke wurde ebenfalls randomisiert. Eine Gruppe beginnt demnach mit dem Block „Hinweise basierend auf Mitarbeiter“, die andere Gruppe startet hingegen mit den computerbasierten Hinweisen.

### **4.3 Präsentation der Reize**

Für die Präsentation der jeweiligen Trials und die Erfassung des Antwortverhaltens wurde die Software Presentation (Neurobehavioral Systems Inc., Albany, CA) verwendet. Von einem Rechner ausgehend wurden die Bilderfolgen über einen Video-Beamer der Firma NEC (Modell MT 1030+), welcher außerhalb des MRT-Raumes stand, auf eine Leinwand projiziert, die sich hinter dem Kopf des Probanden in der MRT-Röhre befand. Der Versuchsperson war es über die Applizierung eines kipp- und schwenkbaren Spiegels, welcher exakt über den Augen an der Kopfspule installiert wurde, möglich, die auf die Leinwand projizierten Bilder zu sehen.

Das Antwortverhalten des Probanden wurde über eine fMRT kompatible, mit fünf Tasten versehene Reaktionsbox der Firma Lumitouch (LUMItouch, Photon Control Inc., Burnaby, Canada), registriert. Hierbei war es Aufgabe der Versuchsperson, den Antwortknopf zu drücken, sobald er den bunten Farbkreis als Zielreiz wahrgenommen hat. Unabhängig von der Lokalisation des Zielreizes gab es lediglich einen Antwortknopf.

Der Ablauf des Versuchs wurde vorausgehend mit dem Probanden geübt, um für ihn die Geschichte noch glaubwürdiger und verständlicher wirken zu lassen. Genauer wird dies im Abschnitt 4.5 erläutert.

### **4.4 Ablauf der Reizdarbietung**

Jedes Trial begann mit der Präsentation eines mittig platzierten farbigen Hinweispfeils, beidseits flankiert von einem weiß gerahmten Viereck auf schwarzem Hintergrund. Dieser zeigte entweder nach links oder rechts. Der Pfeil verblieb für 2000ms sichtbar, woraufhin dieser dann durch ein weißes Fixations-Kreuz ausgetauscht wurde. Nach einem variablen Interstimulus-Intervall von 1500 - 3000 ms, welches zur Vermeidung der Vorhersehbarkeit eingeführt wurde, erschien entweder in dem linken oder rechten Viereck der Zielreiz in Form eines bunten Farbkreises für eine Dauer von 100 ms. Auf den Farbkreis folgend erschien abermals das weiße Fixations-Kreuz für eine variable Zeitdauer von 900 - 2400ms. Insgesamt dauerte diese „Target-Phase“ 4000ms. Abgeschlossen wurde jedes Trial durch ein rotes Fixations-Kreuz. Dieses Intertrial-Intervall dauerte 4000, 6000 oder 8000ms. Die variablen Präsentationszeiten des

weißen Fixationskreuzes innerhalb der Trials wurden gewählt, um ein Trial weniger vorhersehbar zu machen und auf diese Weise einem Habituationseffekt entgegenzuwirken.

Innerhalb eines Blocks erschien der Zielreiz mit einer Wahrscheinlichkeit von 44% in dem Viereck, in dessen Richtung der Pfeil davor gezeigt hatte (valid trial). In 16% der Fälle erschien der Zielreiz in dem Viereck auf der entgegengesetzten Seite (invalid trial). Zu 20% folgte auf einen Pfeil lediglich das rote Fixations-Kreuz (cue) und in den restlichen 20% der Fälle wurden dem Probanden der Pfeil und die Vierecke präsentiert, jedoch erschien kein Zielreiz (noise). Diese unterschiedlichen Bedingungen dienten dazu, die Antwort weniger vorhersehbar zu machen und so die Versuchsperson kognitiv aktiver zu halten.

Aufgabe des Probanden war es, so schnell wie möglich den Antwortknopf auf der dafür vorgesehenen Reaktionsbox zu drücken, sobald er den bunten Farbkreis wahrnimmt.

Wie eingangs erwähnt, gliederte sich das Experiment in sechs Blöcke. Jeder Block dauerte 560 sek, was zu einer Gesamtdauer von 56min führte. In dreien der Blöcke wurde dem Probanden angezeigt, die Hinweise seien computerbasiert. In den restlichen dreien wurde ihm angezeigt, die Hinweise kämen von einem Mitarbeiter. Diese zwei unterschiedlichen Bedingungen wechselten jeweils von Block zu Block. Auch war die Reihenfolge der Blöcke zwischen den Versuchspersonen ausbalanciert. So begann in der Fallgruppe A1 immer der Proband mit dem Block, in welchem er vermeintlich die Hinweise vom Mitarbeiter erhielt. Hierbei wurden die Hinweise durch den Mitarbeiter durch die gelbe Farbe des Pfeils veranschaulicht. In der Fallgruppe B2 hingegen startete der Proband mit dem Block „Hinweise computerbasiert“. In diesem Fall jedoch repräsentierte die gelbe Farbe des Pfeils, dass die Hinweise vom Computer stammen.

Pro Block wurden dem Probanden jeweils 50 Trials dargeboten. Über die sechs Blöcke zusammengerechnet ergibt dies insgesamt eine Anzahl von 300 Trials. Der genaue Ablauf der Trials ist bildlich in den Abbildungen 2, 3 und 4 dargestellt.

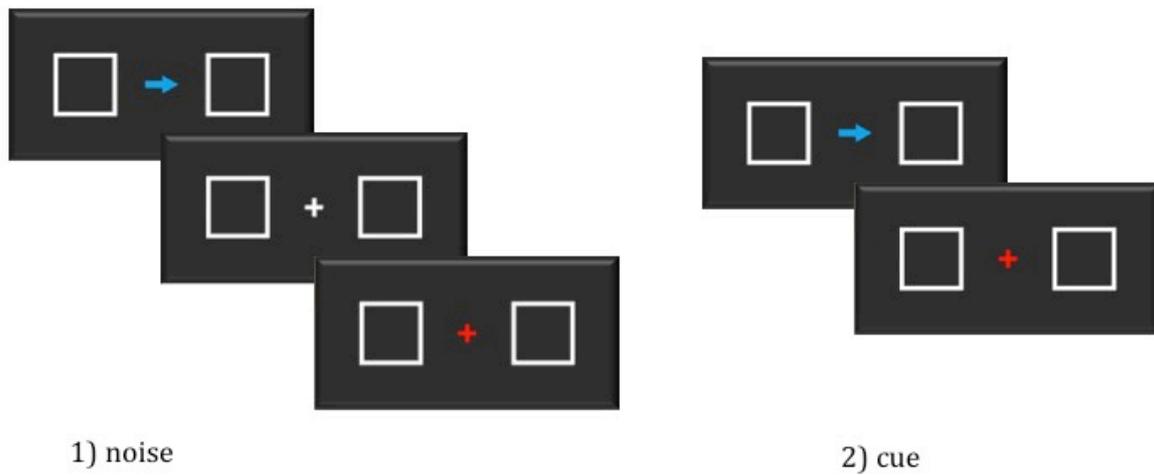


Abbildung 2: Darstellung der Versuchsbedingungen 1) noise und 2) cue

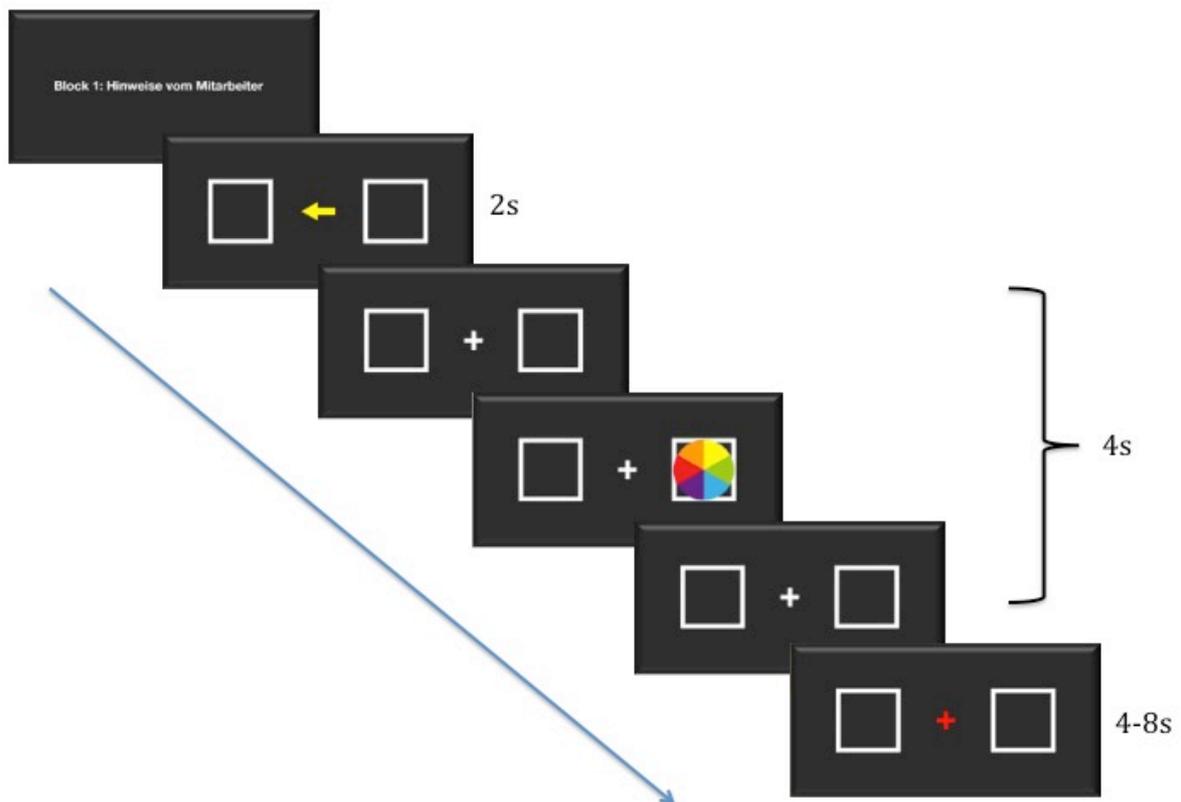


Abbildung 3: Darstellung der Versuchsbedingung „nicht-valide“ mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 16%. Auf den Hinweispeil folgt die Präsentation des Zielreizes auf der entgegengesetzten Seite. Durch den Pfeil wird der chronologische Verlauf symbolisiert. Die variierten Präsentationszeiten sind in Sekunden (s) dargestellt.

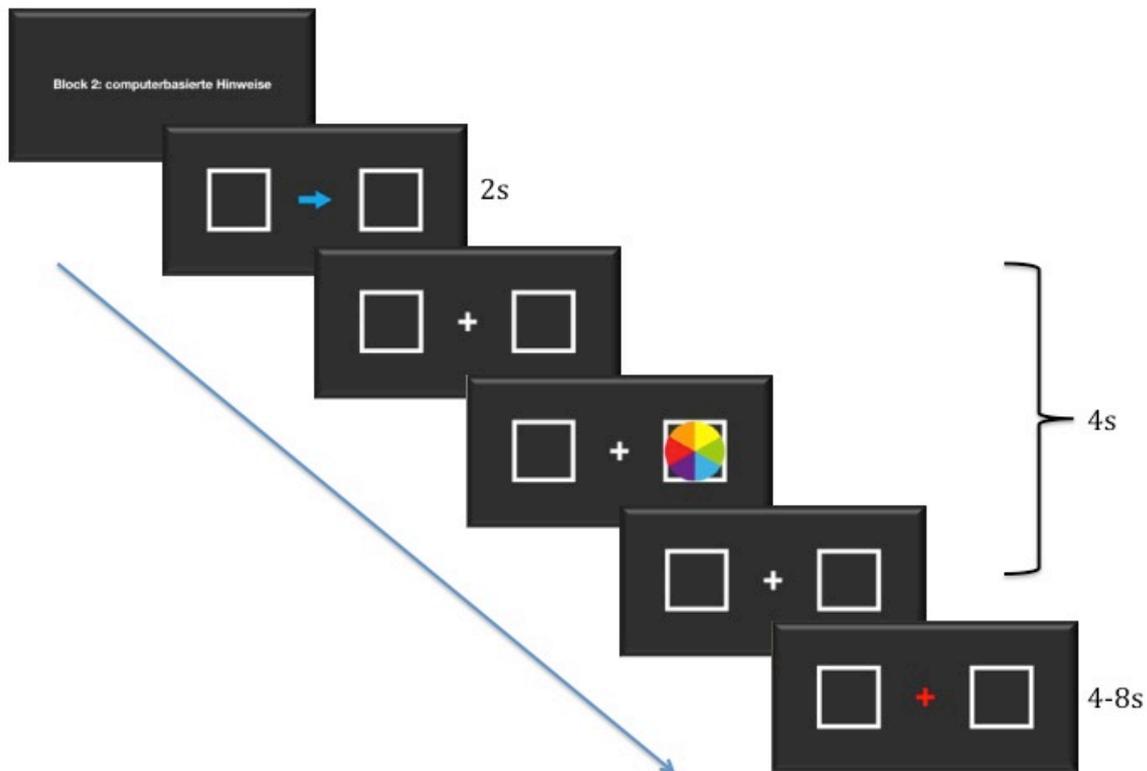


Abbildung 4: Darstellung der Versuchsbedingung „valide“ mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 44%. Auf den Hinweispeil folgt die Präsentation des Zielreizes auf der identischen Seite. Durch den Pfeil wird der chronologische Verlauf symbolisiert. Die variierten Präsentationszeiten sind in Sekunden (s) dargestellt.

#### 4.5 Versuchsablauf

Dem Beginn der fMRT-Messungen vorausgehend wurde dem Probanden ein Informationsblatt zur Funktionsweise des Kernspintomographen und möglichen Kontraindikationen ausgehändigt. Nach dem Ausschluss von Kontraindikationen unterzeichneten die Probanden eine Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der wissenschaftlichen Studie und der Durchführung der Magnetresonanztomographie. Darauf folgend wurde durch das Ausfüllen des Edinburgh Handedness Inventory (EHI) die Rechtshändigkeit der Probanden ermittelt. Zudem wurden demographische Daten über ein Stammdatenblatt erhoben.

Durch das Aushändigen eines Instruktionsbogens wurde den Versuchspersonen das Experiment erläutert und anschließend anhand von Bildern, wie sie auch später im

eigentlich Scan zu sehen waren, verdeutlicht. Um die Anwesenheit eines Mitarbeiters, welcher angeblich in einem Teil des Paradigmas die Hinweispeile für den Probanden einloggte, vorzutäuschen, wurde eine Übung des Experiments im Nebenraum des Magnetresonanztomographen der Testung vorangestellt. Zu diesem Zwecke wurden zwei Laptops über ein Verbindungskabel miteinander verknüpft. Auf dem Bildschirm des Mitarbeiters wurden andere Reize dargestellt als auf dem der Testperson, auf welchen basierend der Mitarbeiter die Hinweispeile einzuloggen vorgab. Des Weiteren kam die Installierung einer Box der Glaubwürdigkeit zugute, welche die Maus des Mitarbeiters verdeckte, um dessen Handbewegungen nicht sichtbar werden zu lassen. Wie auch im Scanner, wurde die Versuchsperson mit schallisierenden Ohrstöpseln ausgestattet. Zunächst wurde mit dem Mitarbeiter geübt, der nach der Hälfte der Zeit den Raum verließ, woraufhin der Proband den Versuchsteil der vermeintlichen computerbasierten Hinweise bearbeitete. Nach diesen Übungen füllte die Versuchsperson einen Check-Up-Bogen aus um sicherzugehen, dass sie die Instruktionen richtig verstanden hat.

Vor Betreten des MRT-Raumes wurden die Versuchspersonen abermals nach möglichen Kontraindikation gefragt und aufgefordert, sich jeglicher metallischer Gegenstände an Körper und Kleidung zu entledigen. Auch wurde der zeitliche Versuchsablauf erläutert. Um dem Lärm des Kernspintomographen entgegenzuwirken, wurden der Versuchsperson Ohrstöpsel und zusätzlich Schallschutzkopfhörer ausgehändigt. In Rückenlage wurde der Kopf des Probanden in die dafür vorgesehene Einbuchtung optimal positioniert und von Polstern in Position gehalten. Für einen möglichen Notfall wurde der Versuchsperson eine Notfallglocke in die linke Hand gelegt, die bei Betätigung zum sofortigen Abbruch des Scans geführt hätte. An der rechten Hand wurde die fMRT-kompatible Reaktionsbox befestigt und in möglichst bequeme Lage gebracht. Der Proband wurde aufgefordert, lediglich den Druckknopf auf Höhe des Zeigefingers als Antwortknopf bei Erscheinen des Zielreizes zu verwenden. Die restlichen vier Knöpfe waren nicht von Bedeutung. Schließlich wurde die für die Aufnahme der bildgebenden Signale essenzielle Kopfspule über dem Kopf des Probanden befestigt. An dieser angebracht war zudem ein Spiegel, über welchen die hinter der Versuchsperson lokalisierte Leinwand, angestrahlt von einem Beamer, dem Probanden sichtbar gemacht wurde. Um Störsignale minimal zu halten und die optimale Aufzeichnung der Bilder zu gewährleisten, hielt der Versuchsleiter den Probanden dazu

an, sich möglichst wenig zu bewegen und die Beine keinesfalls zu überkreuzen. Um die Haltung des Probanden komfortabel zu halten, wurden mehrere Schaumstoffpolster verwendet. Nach dem Hineinfahren der Liege in den Scanner versicherte sich der Versuchsleiter nochmals über das Wohlbefinden der Versuchsperson. Ein Patient äußerte starke Platzangst, woraufhin die Messung umgehend abgebrochen wurde. Dieser wurde nicht in die Studie eingeschlossen.

Das Experiment war in fünf Abschnitte aufgeteilt. Gestartet wurde mit dem Localizer, welcher Auskunft über die Position des Kopfes im Scanner gab und lediglich wenige Sekunden in Anspruch nahm. Daraufhin unterrichtete der Versuchsleiter den Probanden über den Start des Versuchs. Der erste Messblock mit einer Dauer von 30 Minuten folgte. Um die optimale Positionierung des Probandenkopfes zu überprüfen, wurde ein weiterer Localizer zwischengeschaltet. Nach dessen Abschluss folgte der zweite Block, welcher ebenfalls 30 Minuten dauerte. Als abschließender Teil folgte ein hochauflösender Strukturscan. Hierbei war kein Antwortverhalten des Probanden über Tastendruck mehr erforderlich. Die Gesamtdauer der Messung betrug somit ca. 66 Minuten.

Im Anschluss der Messung wurde der Proband nach kurzer Auskunft über sein Befinden in ein Nebenzimmer geleitet. Dort wurde er gebeten den „Funneled debriefing procedure“-Bogen (adaptiert von Bargh & Chartrand, 2000) sowie den Saarbrückener Persönlichkeitsfragebogen (SPF) auszufüllen. Bei diesem handelte es sich um einen Fragebogen zur Erfassung von Perspektivübernahmen und Empathie. Zum Abschluss unterrichtete einer der Versuchsleiter den Probanden über den tatsächlichen Inhalt und die Fragestellung der Studie.

## 4.6 Statistische Analyse

### 4.6.1 Analyse der Verhaltensdaten

Anhand der Logfiles, welche uns die Präsentationssoftware lieferte, ermittelten wir für jeden Versuchsteilnehmer die jeweilige Zahl an Bearbeitungsfehlern sowie die Reaktionszeiten in den entsprechenden Bedingungen. Reaktionszeiten und Fehlerraten wurden mittels einer 2 (valide vs. nicht-valide) x 2 (sozialer Kontext vs. nicht-sozialer Kontext) Varianzanalyse mit Messwiederholung analysiert. Die statistische Analyse der Verhaltensdaten erfolgte mittels des Statistikprogramms IBM SPSS Statistics 22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Für die Analyse der Verhaltensdaten wurde ein Signifikanzniveau von  $p < .05$  festgelegt.

### 4.6.2 Analyse der fMRT-Daten

Die fMRT-Messung erfolgte an einem 3-Tesla-Kopf-Scanner (Siemens Allegra, Erlangen, Deutschland) auf dem Gelände des Bezirksklinikums Regensburg. Die BOLD-Signale (*blood-oxygen level dependent*), korrelierend mit der neuronalen Aktivität der unterschiedlichen Hirnareale, wurden in der funktionellen Messung durch eine Erhebung der T2\*-gewichteten Echo-Planar-Imaging (EPI) Sequenzen (TR = 2.0s, TE = 0.05s,  $\alpha = 90^\circ$ ) erfasst. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse orientierten sich die genannten Bildgebungsparameter an denjenigen aus thematisch relevanten Studien aus den Forschungsfeldern der ToM sowie der Aufmerksamkeitsreorientierung (Decety & Lamm, 2007; Corbetta et al., 2000; Gallagher et al., 2002; Saxe & Powell, 2006). Die EPI-Sequenz bestand aus 32 axialen Schichten mit einer Voxelgröße von 3mm x 3mm x 3mm. Pro Block wurden 900 Volumes aufgezeichnet, was eine Gesamtmenge von 1800 Volumes ergibt. Die in der fMRT-Messung erhobenen Volumes wurde mithilfe einer *interleaved*-Messung ermittelt. Das bedeutet, dass die 32 Slices eines Scans nicht aufeinanderfolgend, sondern in der Reihenfolge 1, 3, 5, ... 29, 31, 2, 4, ... 32 berechnet wurden. Dies schlägt sich in einem besseren hämodynamischen Antwortverhalten (*hemodynamic response function*, HRF) nieder. Auf die funktionelle Messung folgend, fand eine strukturelle, hochauflösende, T1-gewichtete 3D-Gradienten-Echo-Sequenz (*Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo*, MPRAGE), für die in diesem Fall folgende

Parameter gewählt wurden: TR = 2.25s, TE = 0.026s, TI = 900ms, Voxelgröße 1mm × 1mm × 1mm, FoV = 256mm; 160 axiale Schichten, statt.

Eine Session zur Erhebung der EPI-Sequenzen dauerte 30 Minuten, sodass sich eine Gesamtdauer, bestehend aus Localizer, EPI-Sequenzen, Localizer, EPI-Sequenzen und MPRAGE, von ca. 66 Minuten ergab.

#### 4.6.2.1 Datenvorverarbeitung

Mit Hilfe der Software SPM8 (Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK; <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm8/>), welche auf der Software *Matlab 7.0* (The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA; <http://www.mathworks.com>) basiert, wurden die Daten, der statistischen Auswertung vorangeschaltet, vorverarbeitet. Als für die weitere statistische Analyse essenziell und somit der erste Schritt der Vorverarbeitung galt es, die Bedingungen für eine zeitgleiche Aufnahme aller Slices eines Volumes zu gewährleisten. Im so genannten *slice timing* wurden die Messzeitpunkte für die jeweiligen Schichten aufeinander abgestimmt und angepasst. Hierbei wurde die mittlere Schicht des jeweiligen Volumes als Referenzmessung verwendet (Henson, Buechel, Josephs & Friston, 1999). An das *slice timing* anschließend wurde eine Bewegungskorrektur (*realignment*) durchgeführt, um mögliche Bewegungsartefakte, welche durch Einfluss von Kopfbewegungen zustande kommen, zu minimieren. Während des *realignments* wurden jeweils drei Parameter für die Rotation als auch die Translation verwendet, um die Bilder räumlich zu transformieren. Im Gegensatz zum *slice timing* wurde für das *realignment* das jeweils erste Bild eines Scans als Referenzvolumen benutzt. Zusätzlich wurde in demselben Schritt ein so genanntes funktionelles *mean image*, durch Mittelung aller 1800 Volumes, erstellt. Darauf folgend wurde während der *co-registration* eben dieses ermittelte Bild auf das anatomische, strukturelle Bild des Probanden appliziert. Auf diese Weise konnten die funktionellen Ergebnisse an die strukturellen Daten angepasst werden. Um die strukturellen Daten der verschiedenen Versuchspersonen untereinander vergleichbar zu machen, wurden die Scans durch eine Normalisierung (*normalize*) an die Aufnahmen eines Standardgehirns (Montreal Neurological Institute [MNI]; Collins, Neelin, Peters & Evans, 1994) angepasst. Auf diese Weise werden die jeweiligen Gehirnstrukturen der Probanden an exakt identische Koordinaten normiert. Abschließend wurden, ebenfalls

in Anlehnung an bereits bestehende Studien der ToM als auch der Aufmerksamkeitsreorientierung (Decety & Lamm, 2007; Corbetta et al., 2000; Gallagher et al., 2002; Saxe & Powell, 2006), die normalisierten Bilder einer räumlichen Glättung (*smoothing*) unterzogen, welche mittels eines Gausschen Filters (8mm Full-Width Half-Maximum; FWHM) das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert.

#### 4.6.2.2 Statistische Analyse der fMRT-Daten

Im Folgenden wurden die vorverarbeiteten fMRT-Daten einer statistischen Auswertung in zwei Schritten unterzogen. Mittels SPM8 wurden „first level“ Modelle erstellt, welche die jeweiligen Datensätze eines jeden Probanden darstellen und in der Einzelanalyse verwertet werden. Um Rückschlüsse über die gesamte Population ziehen zu können, gingen die in der *first-level*-Analyse gewonnenen Kontraste der jeweiligen Versuchspersonen anschließend in die „second level“ Analyse über, der sogenannten Gruppenanalyse.

##### 4.6.2.2.1 Einzelanalyse

Im Zuge der Einzelanalyse (Single Subject analysis) wurden für jeden Probanden eine *fixed effects analysis* auf Basis des Allgemeinen Linearen Modells (*general linear model*; GLM) durchgeführt. Hierbei liegt der entscheidende Schritt im Anlegen einer sogenannten Designmatrix. Diese legt das experimentelle Design sowie auch die Elemente der Hypothesentestung fest, welche ausgeführt werden sollen. Um dies zu realisieren, werden die jeweiligen Bedingungen und Ereignisse sowie die entsprechenden Scans bestimmt. Des Weiteren müssen zur Ausführung einer Designmatrix diverse Parameter aufgeführt werden, unter denen vor allem der zeitliche Parameter des entsprechenden Startzeitpunktes der Bedingung (Onsets) maßgebend ist. Anschließend wurde das gewonnene Modell statistisch geschätzt (*estimate*). Es gingen acht Regressoren von Interesse in die Datenmatrix ein. Dabei handelte es sich um die Regressoren sozial nicht-valide, sozial valide, sozial cue, sozial noise, nicht-sozial nicht-valide, nicht-sozial valide, nicht-sozial cue und nicht-sozial noise.

#### **4.6.2.2.2 Gruppenanalyse**

Um die Haupteffekte der Bedingungen „Validität“ und „Kontext“ wie auch deren Interaktion zu prüfen, wurde darauf folgend eine ANOVA im 2 x 2 flexiblen faktoriellen Design mit den Faktoren „Validität“ (valide, nicht-valide) und „Kontext“ (sozial, nicht-sozial) gerechnet. Die einzelnen Probanden wurden als Faktor "Subjekt" modelliert (siehe Glascher & Gitelman, 2008). Aus dem daraus resultierenden Datensatz signifikanter Voxelwerte wurde eine SPM Karte erstellt. Für die genannten SPM Karten wurde ein Grenzwert von  $p < .001$  (unkorrigiertes Voxellevel) verwendet. Es werden nur Cluster berichtet, die auf einem Niveau von  $p < .05$ , FWE-korrigiert auf Cluster-Niveau signifikant waren. Anhand der Gehirnkoordinaten wurden die Gehirnregionen mittels der „SPM Anatomy toolbox“ (Eickhoff et al., 2005) benannt. Falls diese die Koordinaten nicht zuordnen konnte, wurde die „AAL toolbox for SPM“ (Tzuoro-Mazoyer et al., 2002) herangezogen. Die Regionen bei Gruppenaktivierungen wurden mittels MRICron visualisiert. Die von uns erwähnten Gehirnkoordinaten werden alle in Referenz des MNI – Atlas angegeben.

## 5. ERGEBNISSE

Die hier genannten Ergebnisse geben im Wesentlichen die Datenlage aus Schuwerk et al. (2017) wieder, da die genannte Veröffentlichung als auch die hier vorgelegte Dissertation im Rahmen einer Studie entstanden ist und auf den gemeinsam erhobenen Daten beruhen.

### 5.1 Verhaltensdaten

Zusätzlich zu den neuronalen Aktivierungsmustern, welche im Folgenden beschrieben werden, wurden für die 24 Probanden für jede der vier verschiedenen Versuchsbedingungen die Reaktionszeiten so wie die Bearbeitungsgenauigkeit ermittelt. In Abbildung 5 sind die mittleren Reaktionszeiten für jede Bedingung aufgeführt. Im Teil 5.1.2 werde die entsprechenden Werte bezüglich der Bearbeitungsgenauigkeit erläutert.

#### 5.1.1 Reaktionszeiten

Im Durchschnitt missachteten lediglich in 1,4% der Fälle ( $SE = 0,3\%$ ) die Probanden eine Antwort zu übermitteln, was auf eine hohe Gesamtgenauigkeit bezüglich der Zielerfassung hindeutet. Die Mittelwerte als auch die Standardabweichungen der Reaktionszeiten für jede Bedingung sind in Abbildung 5 dargestellt. Betrachtet man die Mittelwerte der Reaktionszeiten hinsichtlich des Haupteffekts „Validität“ sowohl in der sozialen als auch in der nicht-sozialen Bedingung, so ließ sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Faktoren valide und nicht-valide feststellen. Zudem waren die Reaktionszeiten für nicht-valide Trials ( $M = 408$  ms,  $SE = 18$  ms) langsamer als für valide Trials ( $M = 388$  ms,  $SE = 18$  ms). Die 2 (Kontext: sozial vs. nicht-sozial) x 2 (Validität: nicht-valide vs. valide) ANOVA mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Haupteffekt Validität ( $F(1,23)=28.35$ ,  $p <.001$ ). Wobei die Probanden signifikant schneller bei validen als bei nicht-validen Hinweisreizen reagierten.

Es wurde weder ein signifikanter Haupteffekt bezüglich des Kontextes ( $F(1,23)=2.81$ ,  $p = .107$ ), noch eine signifikante Wechselwirkung zwischen Kontext und Validität ( $F(1,23)=1.32$ ,  $p = .262$ ) gefunden. Dies deutet darauf hin, dass der Glaube an einen

computerbasierten Hinweisfeil oder an einen von einem Mitarbeiter gesendeten Hinweisfeil keinen Einfluss auf die Latenzzeit des Antwortverhaltens bezüglich der Zielerfassung hatte.

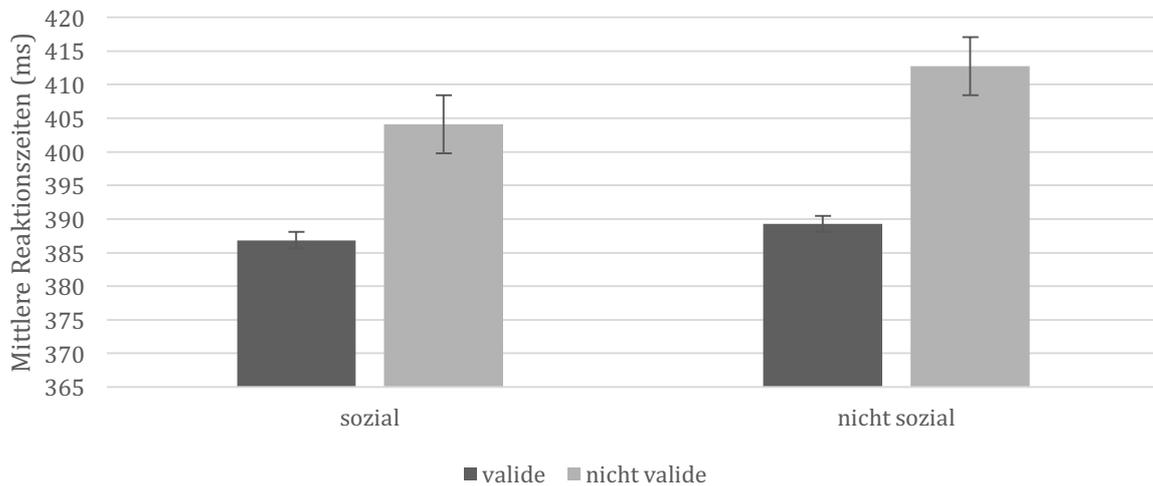


Abbildung 5: Mittelwerte  $\pm$  ein Standardfehler der Reaktionszeiten beim Vergleich der jeweiligen Bedingung. Reaktionszeiten der nicht-validen Trials unterscheiden sich hierbei signifikant von den Reaktionszeiten den validen Trials.

### 5.1.2 Bearbeitungsgenauigkeit

Darüber hinaus ermittelten wir ebenfalls die Genauigkeit, mit der die Probanden auf die ihnen dargebotenen Reize reagierten. In diesem Fall lassen sich in allen vier Bedingungen sehr hohe Antwortgenauigkeiten beobachten ( $M(\text{sozial valide})=97,02$ ,  $SD = 2,877$ ;  $M(\text{sozial nicht-valide})=98,99$ ,  $SD = 1,782$ ;  $M(\text{nicht-sozial valide})=97,75$ ;  $M(\text{nicht-sozial nicht-valide})=99,17$ ).

## 5.2 fMRT-Daten

### 5.2.1 Anova (Analysis of variance) Kontext und Validität

Um die Haupteffekte von Validität und Kontext zu analysieren, wurde zunächst eine Varianzanalyse im 2x2 Design (flexible factorial design) mit den Faktoren „Kontext“ (sozial; nicht-sozial) und „Validität“ (valide; nicht-valide) berechnet.

Aus den daraus resultierenden signifikanten Voxelwerten wurde eine SPM Karte mit den relevanten Mehraktivierungen erzeugt. Zur Verbildlichung dieser funktionellen Daten wurde die Anatomy Toolbox (Eickhoff et al., 2005) herangezogen, welche zytoarchitektonische Karten des menschlichen Gehirns heranzieht, um anhand dieser die gewonnenen funktionellen Daten in einen anatomischen Bezugsrahmen zu setzen. Zudem wurde der „MNI to Talairach Coordinate Converter“ der School of Medicine Yale verwendet, um die zugehörigen Brodmann Areale zu eruieren. In dieser Arbeit wird lediglich von Regionen berichtet, welche einen P-Wert von 0.05 (FWE-korrigiert) nicht überschritten haben. Überdies ist anzumerken, dass für jeden Kontrast eine FWE-Korrektur durchgeführt wurde, jedoch keine FWE-Korrektur für die gesamte Zahl der von uns berechneten Kontraste.

#### 5.2.1.1 Kontrast „Validität“

Der Kontrast „nicht-valide (sozial + nicht-sozial) > valide (sozial + nicht-sozial)“ ging mit signifikanten Mehraktivierungen im rechten als auch linken Gyrus temporalis medius (MTG; BA 21, 39), im rechten Gyrus occipitalis medius (MOG; BA 19), im rechten Gyrus frontalis superior (SFG; BA 10) und inferior (IFG; BA 44), im medialen Anteil des Gyrus frontalis superior (BA 9), im linken als auch rechten Gyrus praecentralis (PrG; BA 6), im rechten Lobus parietalis superior (SPL; BA7), sowie im rechten Gyrus angularis (AnG; BA 39) einher. In Abbildung 6 lassen sich diese Ergebnisse bildlich nachvollziehen.

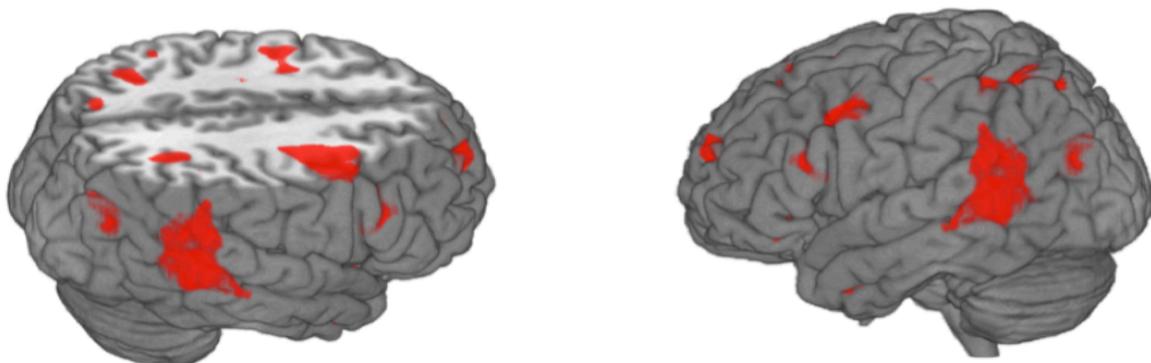


Abbildung 6: Signifikante Mehraktivierungen (in rot) im Kontrast „nicht-valide (sozial + nicht-sozial) > valide (sozial + nicht-sozial)“ nachvollziehbar im rechten und linken Gyrus temporalis medius, rechten Gyrus occipitalis medius, rechten Gyrus frontalis superior und inferior, medialen Anteil des Gyrus frontalis superior, linken und rechten Gyrus praecentralis, rechten Lobus parietalis superior, sowie im rechten Gyrus angularis.

### 5.2.1.2 Kontrast „Kontext“

#### 5.2.1.2.1 Kontrast „sozial>nicht-sozial“

Bezüglich des Kontrasts „sozial (valide + nicht-valide) > nicht-sozial (valide + nicht-valide)“ ließen sich signifikante Mehraktivierungen im rechten als auch linken anterioren cingulären Cingulums (rACC; BA32), im Bereich des rechten superioren Lobus frontalis (BA 10) als auch im Cuneus wie auch Precuneus (BA 7, 18) beobachten.

#### 5.2.1.2.2 Kontrast „nicht-sozial>sozial“

Betrachtete man den Kontrast „nicht-sozial (valide + nicht-valide) > sozial (valide + nicht-valide)>“, so ließ sich eine Mehraktivierung im mittleren Temporallappen darstellen (BA 38).

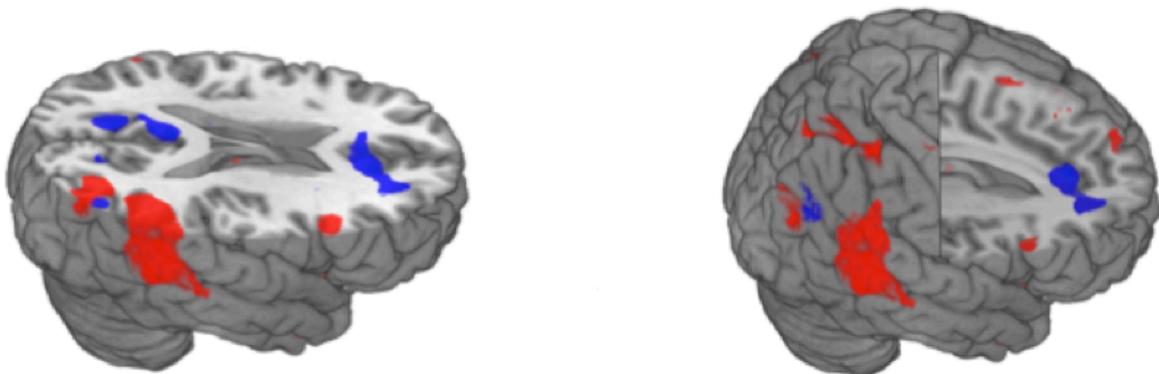
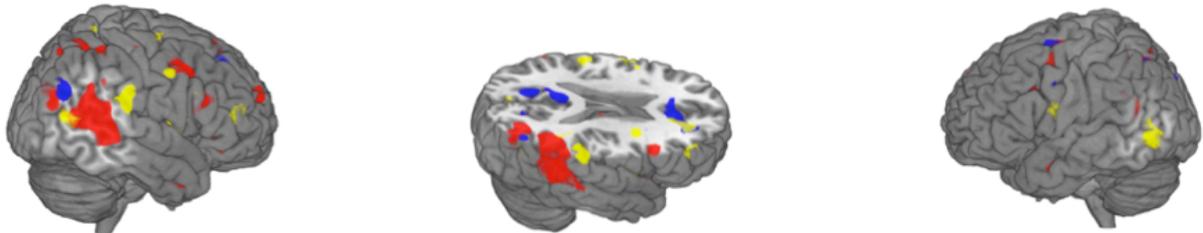


Abbildung 7: Signifikante Mehraktivierung des Kontrasts „sozial (valide + nicht-valide) > nicht-sozial (valide + nicht-valide)“ zu beobachten im mittleren Temporallappen (in blau). Signifikante Mehraktivierungen des Kontrasts „nicht-valide (sozial + nicht-sozial) > valide (sozial + nicht-sozial)“ (in rot).

#### 5.2.1.3 Interaktionseffekt

In diesem Teil der Ergebnisse analysierten wir eine mögliche Interaktion der Bedingungen Validität und Kontext. Eine relevante Interaktion zwischen den Faktoren

„Kontext“ und „Validität“ wurde im rechten Gyrus temporalis superior (STG; BA 22,40), im linken Gyrus temporalis medius (MTG; BA 37, 39, 19) sowie im rechten Lobus frontalis superior und medius (BA10) wie auch der des rechten anterioren cingulären Cingulums (rACC, BA 9) gefunden.



*Abbildung 8:* Mehraktivierungen des Interaktionseffektes zu beobachten im rechten Gyrus temporalis superior, linken Gyrus temporalis medius, rechten Lobus frontalis superior und medius und rechten anterioren cingulären Cingulums (in gelb). Signifikante Mehraktivierung des Haupteffektes „Kontext“ im Kontrast „sozial (valide + nicht-valide) > nicht-sozial (valide + nicht-valide)“ (in blau). Signifikante Mehraktivierungen des Haupteffektes „Validität“ im Kontrast „nicht-valide (sozial + nicht-sozial) > valide (sozial + nicht-sozial)“ (in rot).

*Tabelle 1: Whole brain imaging Resultate des 2 (Validität: nicht-valide vs. valide) X 2 (Kontext: sozial vs. nicht-sozial) flexiblen faktoriellen Designs. Peak activations ( $p_{\text{FWE-corr}} < .05$ , cluster level) für den (1) Haupteffekt Validität (nicht-valide > valide), den Haupteffekt Kontext [ (2): sozial > nicht-sozial; (3): nicht-sozial > sozial], den (4) Interaktionseffekt Validität x Kontext [(sozial nicht-valide > sozial valide) > (nicht-sozial nicht-valide > nicht-sozial valide)] und den (5) Kontrast sozial nicht-valide > sozial valide der t-Tests*

Kontrast / Gehirnregion	BA	MNI Koordinaten			Cluster- größe <sup>a</sup>	T- Wert <sup>b</sup>
		x	y	z		
<i>(1) Kontrast „Validität“ (nicht-valide &gt; valide)</i>						
<b>R Gyrus temporalis medius (MTG)</b>	39	46	-54	16	1944	7.18
R Gyrus temporalis medius (MTG)	21	58	-44	4		6.54
R Gyrus occipitalis medius (MOG)	19	44	-78	24		6.06
<b>R Gyrus frontalis superior (SFG)</b>	10	18	60	24	174	5.35
R medialer Gyrus frontalis superior	9	8	56	36		3.76
<b>L Gyrus praecentralis (PG)/frontales Augenfeld (FEF)</b>	6	-42	0	52	383	5.08
L Gyrus praecentralis	6	-38	0	34		4.59
	-	-28	4	42		3.79
<b>R Gyrus praecentralis (PG)/frontales Augenfeld (FEF)</b>	-	36	-2	42	554	4.69
R Gyrus praecentralis	6	42	2	48		4.23
R Gyrus frontalis medius	-	26	2	36		4.00
<b>R Lobus parietalis superior</b>	7	8	-60	54	821	4.61
R Lobus parietalis superior	7	32	-58	58		4.38
R Gyrus angularis (AG)	39	32	-54	44		4.33
<b>L Gyrus temporalis medius (MTG)</b>	39	-54	-52	12	190	4.49
L Gyrus temporalis medius (MTG)	39	-60	-54	22		3.38

*Ergebnisse*

---

<b>R Gyrus frontalis inferior (IFG)</b>	44	52	20	20	234	4.43
R Gyrus frontalis inferior (IFG)	44	44	18	28		3.65

---

*(2) Kontrast „Kontext“ (sozial > nicht-sozial)*

<b>R Lobus frontalis superior</b>	10	24	46	12	333	5.79
R anteriorer cingulärer Kortex (ACC)	32	6	32	16		5.76
L anteriorer cingulärer Kortex (ACC)	-	-12	32	16		3.39
<b>L Ceunues/Precuneus</b>	18	-12	-66	24	183	4.80
L Precuneus	7	-10	-68	38		3.46

*(3) Kontrast „Kontext“ (nicht-sozial > sozial)*

<b>L mittlerer Temporalpol</b>	-	-42	0	-30	210	5.76
L mittlerer Temporalpol	38	-52	6	-26		5.14
L mittlerer Temporalpol	-	-34	-6	-24		3.59

---

*(4) Interaktionseffekt Validität X Kontext [(sozial-nicht-valide > sozial-valide) > (nicht-sozial-nicht-valide > nicht-sozial-valide)]*

<b>R Gyrus temporalis superior (STG)</b>	40	68	-30	22	195	4.86
R Gyrus temporalis superior	22	56	-32	18		4.18
<b>R Lobus frontalis medius</b>	10	28	44	6	198	4.75
R Lobus frontalis superior	10	22	46	14		4.49
R anteriorer cingulärer Kortex (ACC)	9	14	34	18		3.99

<b>L Gyrus temporalis inferior (ITG)</b>	37	-54	-64	-6	267	4.72
L Gyrus temporalis medius (MTG)	39	-50	-60	8		3.90
L Gyrus temporalis medius (MTG)	19	-52	-70	2		3.33

(5) T-Test (sozial nicht-valide > sozial valide)

<b>R Gyrus temporalis medius (MTG)</b>	19	46	-54	18	832	6.03
R Gyrus temporalis medius (MTG)	37	48	-64	8		5.64
R Gyrus temporalis medius (MTG)	39	60	-50	-6		4.85
R Lobus parietalis superior	7	14	-70	54	212	5.53
R Precuneus	7	6	-56	56		4.32

Anmerkungen: Brodmann Areale (BAs) sind angepasst. L, links; R, rechts;

<sup>a</sup>Zahl der aktivierten Voxel pro Cluster

<sup>b</sup>Peak T-Wert innerhalb des aktivierten Clusters

## 5.2.2 T-Test

Um das beobachtete Aktivierungsmuster in der „Interaktion“ nachvollziehen zu können, wurden folgende T-tests berechnet (nicht-sozial nicht-valide > nicht-sozial valide; nicht-sozial valide > nicht-sozial nicht-valide; sozial nicht-valide > sozial valide; sozial valide > sozial nicht-valide; sozial nicht-valide > nicht-sozial nicht-valide).

Innerhalb dieser vier Kontraste zeigte sich in einem Kontrast eine relevante Mehraktivierung. Im Kontrast sozial nicht-valide > sozial valide ließ sich ein signifikantes BOLD-Muster in zwei Clustern nachweisen: dem rechten Gyrus temporalis medius (MTG; BA 19, 37, 39), dem rechten Lobus parietalis superior (BA 7) wie auch dem rechten Precuneus (BA 7). Innerhalb der restlichen drei Kontraste ließen sich keine signifikanten Mehraktivierungen beobachten.

## 6. DISKUSSION

### 6.1 Zusammenfassung der Untersuchungsziele

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, anhand der von uns gewonnen Verhaltensdaten als auch neuronaler Aktivierungsmuster neue Aufschlüsse über die Auswirkung eines sozialen Kontextes auf das Aufmerksamkeitsnetzwerk zu gewinnen und die anhaltende Diskussion zwischen Verfechtern der Aufmerksamkeitsreorientierung und Fürsprechern der Theory of Mind über die funktionelle Bedeutung der rTPJ fortzuführen und weiterzuentwickeln.

Abgeleitet aus diesen beiden Forschungsfeldern zur rechten Temporo-Parietalen Junction entwickelten wir ein Paradigma, in welchem sich beide Ansätze vereinen und miteinander vergleichen ließen. Hierbei bedienten wir uns dem „posner-cueing-Paradigma“ (Posner et al. 1984), welches in rezenten Studien vor allem von Corbetta et und Kollegen (siehe Corbetta et al., 2008) herangezogen wurde. Dieses Paradigma dient der genauen Beurteilung von Aufmerksamkeitslenkung, welche sich durch das Antwortverhalten der Versuchspersonen auf valide als auch nicht-valide Hinweisreize untersuchen lässt. Ausführlich wurde dieses bereits in Kapitel 2.2 beschrieben. Allerdings wurde das von uns verwendete „posner-cueing-Paradigma“, im Gegensatz zu dem von Corbetta et al. (2000), dahingehend modifiziert, indem wir einen Versuchsteil um einen sozialen Kontext ergänzten. Hierbei wurde den Probanden glaubhaft vermittelt, die Hinweisreize würden von einem Mitarbeiter gegeben. Daraus ließen sich die vier verschiedenen Experimentalbedingungen nicht-sozial – valide, sozial – valide, nicht-sozial – nicht-valide und sozial – nicht-valide ableiten und wurden miteinander verglichen. Durch diese entscheidende Modifizierung war es uns möglich, beide kognitiven Leistungen in einem Paradigma zu vereinen und somit war es erstmals realisierbar, die Aktivierungsmuster von der Aufmerksamkeitsreorientierung über den Kontrast nicht-valide > valide im nicht-sozialen Kontext und die neuronalen Korrelate der Theory of Mind im Kontrast nicht-valide > valide im sozialen Kontextes direkt miteinander vergleichbar zu machen.

Auch wählten wir bewusst ein Paradigma mit möglichst niedrigem

Komplexitätsniveau, um während des Bearbeitens der Aufgabe die Wahrscheinlichkeit zusätzlich evozierter Aktivierungen durch kognitive oder emotionale Prozesse möglichst gering zu halten.

Basierend auf entsprechenden Angaben vorangegangener Literatur (Posner, 1980), konnte davon ausgegangen werden, dass sich die Reaktionszeiten der validen und nicht-validen Trials signifikant voneinander unterscheiden würden. Ebenso konnte basierend auf den Resultaten einer Studie von Teufel et al. (2010) davon ausgegangen werden, dass sich die Implementierung einer sozialen Kontextmanipulation ebenfalls auf die Verhaltensebene auswirkt. Diese ergänzten ein „gaze-cueing“ Paradigma, also ein Paradigma in welchem der Blick bzw. die Blickrichtung eines Menschen den Hinweis darstellt durch den die Aufmerksamkeit eines Probanden auf ein Zielreiz geleitet wird, um eine soziale kontextuelle Manipulation.

Wie bei der Herleitung der Entwicklung unseres Paradigmas deutlich wurde, orientieren sich die Erwartungen an die gewonnenen Daten der fMRT stark an Arbeiten aus der jüngeren Vergangenheit zur Aufmerksamkeitsreorientierung wie auch zur Theory of Mind und den damit assoziierten neuronalen Aktivierungsmustern (z.B. Corbetta, Mitchell, Saxe etc.). Für den nun folgenden Diskussionsteil möchte ich ein besonderes Augenmerk auf den Vergleich der Aktivierungsmuster der Kontraste „Validität“ und „Kontext“ richten. Von besonderem Interesse ist hierbei die Gehirnregion der rechten Temporoparietalen Junktion (rTPJ). Doch werden auch weitere Gehirnregionen, wie der mediale Präfrontalcortex (mPFC) sowie der Precuneus, näher analysiert.

## **6.2 Diskussion der Verhaltensdaten und ihre Bedeutung für die Hypothesen**

### **6.2.1 Reaktionszeiten**

Betrachtet man die Auswertung der Daten zu den Reaktionszeiten der 24 Probanden, so lassen sich sowohl im sozialen als auch im nicht manipulierten, nicht-sozialen Teil, längere Reaktionszeiten für die nicht-validen Trails als für die validen Trials beobachten. Die statistische Analyse der Reaktionszeiten ergab, wie erwartet, einen signifikanten

Haupteffekt bezüglich der Validität. Dieser Haupteffekt sowie die Betrachtung der Mittelwerte zeigen, dass für die Trials in der Bedingung „nicht-valide“ eine signifikant längere Reaktionsdauer benötigt wird als bei Trials in der validen Bedingung. Somit ließ sich der Cueing Effect replizieren.

Diese signifikant längere Reaktionsdauer lässt sich anhand der verletzten Bahnung der Aufmerksamkeit erklären, was sich in einer längeren Zeit des Antwortverhaltens widerspiegelt. Tritt ein Widerspruch zwischen der Erwartungshaltung der Versuchsperson und dem präsentierten Zielreiz auf, so könnte dies zu einer Verletzung der Erwartung führen und der Aufmerksamkeitsfokus muss reorientiert werden. Diese Beurteilung beansprucht einen zusätzlichen Zeitaufwand, welcher bei einer erfüllten Erwartung nicht benötigt wird. Posner et al. (1984) selbst erklären die beobachtete signifikant längere Reaktionsdauer anhand eines Modells in dem die Reorientierung der Aufmerksamkeit in drei separaten Schritten gesteuert wird. Zunächst löst ein „Disengage“-Mechanismus, vor der darauffolgenden Verlagerung, die Aufmerksamkeit von dem ursprünglichen Fokus ab. Daraufhin reguliert ein „Move“-Mechanismus die Verlagerung der Aufmerksamkeit von einem Fokus zu einem anderen. Daran anschließend bindet der „Engage“-Mechanismus die Aufmerksamkeit nach der Verlagerung an den neuen Fokus bzw. ein sich dort befindendes Objekt.

Hingegen zeigte sich bei der Gegenüberstellung der Reaktionszeiten in der validen als auch nicht-validen sozialen Bedingung mit den Reaktionszeiten in der validen als auch nicht-validen nicht-sozialen Bedingung kein signifikanter Unterschied. Der soziale Kontext wirkte sich demnach nicht auf die Reaktionszeiten aus.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass es hinsichtlich der Geschwindigkeit des Antwortverhaltens der Probanden keinerlei Unterschied machte, ob sie Hinweisreize von einem Computer oder von einem Menschen erhalten haben. Möglicherweise ist für diese Übereinstimmung des zeitlichen Antwortverhaltens der Probanden einerseits die sehr subtile Kontextmanipulation als auch die präzise, dem eigentlichen Experiment vorausgegangene, Simulation des Versuchs verantwortlich. Bei dieser wurden dem Probanden an einem Übungscomputer exakt dieselben Stimuli wie im eigentlichen Versuch dargeboten. Auch wurden mit ihnen im Anschluss nochmals mögliche Missverständnisse beseitigt und Unklarheiten besprochen. Durch diese minutiöse Vorbereitung war es den Probanden möglich die kognitive Aufgabe sehr routiniert zu bearbeiten, wodurch möglicherweise ein Deckeneffekt generiert wurde

und folglich eine potentielle bewusste Differenzierung zwischen der sozialen als auch nicht sozialen Bedingung anhand der Reaktionszeiten nicht nachvollziehbar ist.

Da, wie in 5.2.1.2 beschrieben, jedoch neuronale Unterschiede bezüglich des Haupteffektes „Kontext“ zu beobachten waren, ließe sich des Weiteren postulieren, dass die Methode zur Messung von Reaktionszeiten nicht sensitiv genug ist, um die Verarbeitung eines sozialen Kontextes zu messen.

### **6.2.2 Bearbeitungsgenauigkeit**

Auf Grund des von uns bewusst gewählten niedrigen Komplexitätsniveaus des Paradigmas, gingen wir von einem nicht signifikanten Unterschied hinsichtlich der Bearbeitungsgenauigkeit aus. Diese Annahme wurde durch die gewonnenen Daten bestätigt. Es wurde der erwartete Deckeneffekt beobachtet. Sowohl die Bedingungen valide und nicht-valide wie auch sozial und nicht-sozial scheinen demnach keine Unterschiede in den Schwierigkeitsgraden zu beinhalten. Wichtig anzumerken ist, dass sich die eingefügte soziale Interaktion zwischen dem scheinbaren Versuchsleiter und dem Probanden in einem Teil der Versuchsbedingungen nicht in einer weniger akkuraten Bearbeitungsgenauigkeit äußert.

Resümierend lassen sich aus den im Vorangegangenen diskutierten Verhaltensdaten wichtige Erkenntnisse für die folgende Diskussion zu den neuronalen Korrelaten der Aufmerksamkeitsreorientierung sowie auch der sozialen Kognition (ToM) gewinnen.

Anhand eines signifikanten Haupteffektes „Validität“ in der statistischen Analyse der Reaktionszeiten ließ sich der zu erwartende Cueing Effekt replizieren. Der Fakt, dass sich weder in den Reaktionszeiten noch in der Bearbeitungsgenauigkeit ein signifikanter Haupteffekt „Kontext“ zeigt, ist am ehesten auf die sehr subtile soziale Manipulation der Aufgabe als auch einen möglichen Deckeneffekt durch die minutiöse Vorbereitung des Probanden zurückzuführen. Das von uns entwickelte Paradigma scheint demnach nicht sensitiv genug zu sein, um den Einfluss einer Kontextänderung auf Verhaltensebene messbar zu machen.

Die Erkenntnisse aus den eben erläuterten Verhaltensdaten berücksichtigend, sollen nun im Folgenden eben diese von uns ermittelten neuronalen Korrelate und spezifische

Hirnregionen in den einzelnen Bedingungen vorgestellt, weiter erläutert und schlussendlich in einen übergreifenden Zusammenhang gebracht werden.

### **6.3 Diskussion fMRT Daten**

In Kapitel 5.2 wurden bereits die ermittelten Areale zu den Kontrasten nicht-valide > valide (sozial > nicht-sozial; nicht-sozial > sozial), sowie die Interaktion zwischen Validität und Kontext berichtet.

Im Abschnitt 6.3.1. möchte ich nun die einzelnen Gruppen der Untersuchungsergebnisse genauer vorstellen und diese in die aktuelle Literatur zur Aufmerksamkeitsreorientierung wie auch zur Theory of Mind einbetten.

Zuvor ist jedoch noch kritisch anzumerken, dass wie bereits im Abschnitt 5.2.1. erläutert, von uns jeder einzelne Kontrast einer FWE-Korrektur unterzogen wurde, die Familie der insgesamt berichteten Kontraste jedoch nicht. Je mehr Kontraste berechnet werden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit eines falsch positiven bzw. signifikanten Ergebnisses. Dieser Limitation müssen sich unsere Studienergebnisse aussetzen und dies kritisch angeführt werden.

#### **6.3.1 Kontrast „Validität“**

Wie in Abschnitt 5.2.1.1. bereits ausgeführt wurde, ließen sich bei der Auswertung des Datensatzes im Kontrast „Validität“ signifikante Mehraktivierungen im rechten und linken Gyrus temporalis medius (MTG; BA 21, 39), im rechten Gyrus occipitalis medius (MOG; BA 19), im rechten Gyrus frontalis superior (SFG; BA 10) und inferior (IFG; BA 44), im medialen Anteil des Gyrus frontalis superior (BA 9), im linken wie auch rechten Gyrus praecentralis (PrG; BA 6), im rechten Lobus parietalis superior (SPL; BA7), sowie im rechten Gyrus angularis (AnG; BA 39) darlegen.

Um die erhobenen Ergebnisse hinreichend interpretieren zu können, müssen wir diese, auf Grund des in diesem Fall vorliegenden Interessenschwerpunkts auf der Aufmerksamkeit, zunächst mit der aktuellen Literatur der Aufmerksamkeitsforschung vergleichen und schlussendlich mit dieser in einen Zusammenhang bringen. Nur auf

diese Art und Weise wird es uns möglich sein, eine suffiziente Einschätzung unserer Ergebnisse abgeben zu können.

### **6.3.1.1 Bedeutung bestehender Literatur**

Innerhalb des bereits erwähnten Forschungszweiges der Aufmerksamkeitsforschung wird auf eine Region am Übergang des Temporallappens zum Parietallappen hingewiesen, welche für die Verarbeitung von Aufmerksamkeitsprozessen und speziell der Reorientierung von Aufmerksamkeit eine entscheidende Rolle zu spielen scheint.

Zahlreiche fMRT-Studien haben darauf hingewiesen, dass eine signifikant höhere Aktivierung innerhalb dieser Region während der Wahrnehmung eines Reizes an einer unvorhergesehen Position, in der „invalid“ Bedingung des Posner-cueing-Paradigmas (Posner et al., 1984), zu beobachten ist (Corbetta et al., 2000; Vossel et al., 2009). Diese Resultate suggerieren, dass die genannte kortikale Region äußerst wichtig für die Reorientierung der Aufmerksamkeit zu sein scheint.

Die wohl einflussreichste und sich aktuell unter den Aufmerksamkeitsforschern durchsetzende Theorie zu den neuronalen Verarbeitungsmechanismen der Aufmerksamkeit und speziell der Aufmerksamkeitsreorientierung, welche durch ein ventrales und ein dorsales Aufmerksamkeitsnetzwerk repräsentiert wird, wurde von Maurizio Corbetta et al. (Corbetta & Shulman, 2002; Corbetta et al., 2008) aufgestellt.

Corbetta leitete seine Theorie von vorangegangenen Studien zur Psychologie der Aufmerksamkeit ab, welche von einer so genannten „zielgerichteten“ (goal-driven) Reizselektion sprechen (Treisman & Gelade, 1980; Wolfe, 1994; Eriksen & Hoffman, 1974; Posner, 1980; Hommel, 2000). Diese Aufmerksamkeitstheorien beschäftigten sich mit verhaltensrelevanten Zielen, wie der Wiedererkennung von Objekten mit markanten Merkmalen oder dem Auftreten an spezifischen Lokalisationen und dem darauffolgenden Reaktionsverhalten der Individuen. Diese „zielgerichtete“ Selektion basiere auf einem Wettstreit der äußeren Reize um die Aufmerksamkeit. Moduliert werde dieser von den so genannten „top-down“ Signalen. Dabei handele es sich um kognitive Einflüsse, welche die Relevanz für das Verhalten beurteilen und auf die Verarbeitung von Reizen einwirken.

Es fände demnach ein Wettstreit zwischen den von Objekten in der Umwelt produzierten „bottom-up“- Signalen statt, welcher durch die Interaktion mit den „top-down“- Signalen des Individuums beeinflusst werde und führe zu einer Selektion eben dieser „bottom-up“-Reize. Von diesen würden schließlich nur diejenigen wahrgenommen werden, welche für die Person in dem aktuellen Kontext von Relevanz sind (Desimone & Duncan, 1995). Doch erfordert das alltägliche Leben nicht nur das Bestätigen von in den Handlungsstrang passenden Vorgängen, sondern vielmehr auch, dass die Aufmerksamkeit von einem aktuellen Handlungsvorgang hin zu einer möglicherweise völlig neuen, unabhängigen Stimulusquelle verlagert werden kann, auch wenn diese nicht mit dem momentanen Handlungsstrang übereinstimmt. In diesem Zusammenhang wird durch das Auftreten einer externen Quelle der Handlungsstrang unterbrochen und demnach die Zuwendung zu dem externen Reiz zwingend.

Eben diese Phänomene versuchte Corbetta auch auf neuronaler Ebene darstellen zu können. Dabei behalf er sich des Posner-Cueing Paradigmas und entwickelte aus den gewonnenen Daten hierzu das Modell eines ventralen und dorsalen Aufmerksamkeitsnetzwerkes (Corbetta et al., 2008). Wie auch schon in Kapitel 2.3 angeschnitten, postulierte er, dass zwei neuroanatomische Systeme des Hirns bei dem Verarbeitungsprozess der Aufmerksamkeit eine gesonderte Rolle spielen und über kortiko-kortikale Interaktion Umwelteinflüsse verarbeiten. Zum einen handelt es sich dabei um ein dorsales frontoparietales Netzwerk, das „Dorsale Aufmerksamkeitsnetzwerk (DAN)“, welches sich vor allem über den dorsalen Parietalkortex und speziell die Teilbereiche Sulcus Intraparietalis (IPS) und Lobus parietalis superior (SPL), sowie Areale nahe des frontalen Augenfeldes (FEF) erstreckt. Funktionell generiert dieses Netzwerk endogene Signale, welche auf aktuellen Zielen, Motivationen und bereits existierenden Informationen basiert, und sendet schließlich so genannte „top-down“ Signale aus, welche dann die Verarbeitung von Reizen und Stimuli, beruhend auf den zuvor generierten endogenen Signalen, beeinflusst. Diese induzierten Signale interagieren schließlich mit äußeren Reizen, den „bottom-up“ Signalen, und beeinflussen die Rezeption dieser.

Mit dieser Schlussfolgerung beruft sich Corbetta auf vorangegangene Studien, welche besagen, dass eben dieses dorsale Netzwerk durch die Erwartung einen bestimmten Reiz an einem bestimmten Ort oder mit bestimmten Eigenschaften wahrzunehmen, aktiviert wird (Corbetta et al., 2000; Hopfinger et al., 2000; Kastner et al., 1999; Shulman

et al., 1999).

Mit dem dorsalen Aufmerksamkeitsnetzwerk vergesellschaftet ist zudem ein ventrales frontoparietales Netzwerk, das ventrale Aufmerksamkeitsnetzwerk (VAN), welches vor allem rechts lateralisiert ist. Nach Corbetta handelt es sich bei den Kernbereichen dieses Netzwerkes um die temporoparietale Junction (TPJ), den posterioreren Anteil des Sulcus temporalis superior (STS), den Gyrus temporalis superior (STG), den ventralen Teil des Gyrus supramarginalis (SMG), den ventralen Frontalcortex (VFC) sowie den Gyrus frontalis inferior (IFG) und medius (MFG). Im Gegensatz zum dorsalen Netzwerk wird das VAN nicht durch Erwartungen bezüglich eines Reizes aktiviert, reagiert aber zusammen mit dem dorsalen Netzwerk beim Detektieren von verhaltensrelevanten Objekten, wie auch von Stimuli außerhalb des aktuellen Aufmerksamkeitsfokus. Daraufhin sendet das ventrale Netzwerk ein Unterbrechungssignal an das dorsale Netzwerk, welches dann den Fokus der Aufmerksamkeit neu ausrichtet (Corbetta & Shulman 2002). Eine vermehrte Aktivität in den genannten Arealen wurde zudem auch bei anderen Studien zum Reaktionsverhalten beobachtet, bei denen den Probanden ein Hinweisreiz geboten wurde, welcher letztendlich nicht mit dem Zielreiz übereinstimmte, der nicht-validen Bedingung des Posner Paradigmas (Arrington et al., 2000; Corbetta et al., 2000; Kincade et al., 2005; Macaluso et al., 2002; Vossel et al., 2006).

Vergleichbare Ergebnisse wurden zudem in Studien erzielt, welche sich nicht dem Posner-Cueing-Paradigma bedienen. Ein weiteres Studiendesign zur Detektion von neuronalen Mustern während Aufmerksamkeitsprozessen stellt das „Oddball-Paradigma“ dar. In diesem werden den Probanden eine längere Folge von identischen visuellen oder akustischen Stimuli, den Standardstimuli, dargeboten, welche von vereinzelt abweichenden Stimuli, den sogenannten „Oddballs“, unterbrochen werden. Im Vergleich zu den Standardstimuli riefen die Oddball-Stimuli eine verstärkte Aktivierung innerhalb des ventralen Parietalkortex hervor (McCarthy, G. et al., 1997; Linden, D.E. et al., 1999; Kiehl, K.A. et al., 2001). Dieses Phänomen ließ sich vor allem beobachten, wenn es sich bei den Oddball-Stimuli um Stimuli handelte, welche in ihrer Ausprägung relevant für die eigentliche Aufgabenstellung waren, was darauf schließen ließ, dass die beobachteten Aktivierungen während der Oddballs nicht lediglich auf Neuheit bzw. das Hervorstechens des Reizes zurückzuführen waren, sondern vielmehr eine kontextuelle Abhängigkeit implizieren (Downar, J. et al., 2001; Serences, J.T. et al.,

2005).

Zusätzlich zu den bildgebenden Hinweisen mittels der fMRT, welche eine Aktivierung eines dorsalen und ventralen Aufmerksamkeitsnetzwerkes während des Wahrnehmens von Zielreizen sowie der stimulusbedingten Reorientierung der Aufmerksamkeit beobachteten (Corbetta et al., 2002; Giessing et al., 2006; Kincade et al., 2005; Marois et al., 2000), wurde eine relevante Beeinflussung der Aufmerksamkeitsreorientierung sowie der Wahrnehmung mittels der transkraniellen Magnetstimulation (TMS) auf die Regionen des dorsalen und ventralen Aufmerksamkeitsnetzwerkes nachgewiesen. Auch diese sprechen dem ventralen Netzwerk eine Schlüsselrolle bei der Vermittlung der Reorientierung von Aufmerksamkeit zu. In einer Vielzahl an Studien ließ sich nachweisen, dass eine Beeinflussung der Regionen im inferioren Parietalcortex (TPJ, SMG, AG) zu einer Unterbrechung der visuellen Zielerfassung und Reorientierung führten (Chambers et al., 2004; Ellison et al., 2004; Meister et al., 2006).

Die Relevanz der besprochenen Regionen wird jedoch nicht nur anhand von Studien mit gesunden Probanden verdeutlicht, sondern zudem auch durch Experimente mit Probanden, welche an einer bestehenden Hirnschädigung in entsprechenden Regionen leiden, hervorgehoben, den Läsionsstudien. Große Wichtigkeit wird hierbei dem Krankheitsbild des Neglects beigemessen. Bei einem Neglect handelt es sich um eine Wahrnehmungsstörung, welche in Folge einer Hirnschädigung auftritt und sich in einer Vernachlässigung einer Raum- oder Körperhälfte äußert. Dabei tritt die Vernachlässigung auf der kontralateralen Seite zu der Seite der Hirnschädigung auf. Ursächlich für ein solches Krankheitsbild sind vor allem Blutversorgungsstörungen des entsprechenden Hirnareals durch z.B. Embolien, Aneurysmarupturen oder kritischen Gefäßstenosen. Wie mehrere Forscher beobachtet haben, lassen sich in solchen Fällen vor allem Läsionen in Regionen nahe des inferioren Parietalkortex nachweisen, was in einer gestörten Aufmerksamkeitsreorientierung zu relevanten Stimuli im kontralateralen visuellen Gesichtsfeld resultiert (Posner et al., 1984; Vallar & Perani, 1987; Karnath et al., 2003; Mort et al., 2003; Behrmann et al., 2004; Thiebaut de Schotten et al., 2005; Shomstein, 2012).

Wie sich anhand der zahlreich angeführten Ergebnisse nachvollziehen lässt, scheint die Region um den ventralen Parietalkortex bzw. die temporoparietale Junction (TPJ) für den Prozess der Aufmerksamkeit wie auch deren Reorientierung eine besondere Bedeutung zu haben. Auch wenn die Mehraktivierung dieser Region in den genannten

Aufmerksamkeitsparadigmen normalerweise bilateral gemessen wird, haben eine Vielzahl an Studien vor allem die rechte TPJ hervor (Corbetta & Shulman, 2002; Corbetta et al., 2008; Shomstein, 2012; Arrington et al. 2000; Downar et al. 2000; Doricchi et al., 2010; Natale et al., 2010). Doricchi et al., 2010 führen in diesem Zusammenhang eine mögliche Differenzierung auf. Sie beobachteten für die linke TPJ eine Mehraktivierung während der Rezeption von validen wie auch nicht-validen Trials. Die rechte TPJ hingegen reagierte lediglich auf nicht-valide Trials. Auf Grund der Relevanz und der in der Literatur teilweise nicht einheitlich betitelten Areale möchte ich im Folgenden die Anatomie dieser Region kurz erläutern. Dies wird es uns ermöglichen, die vorgestellten Ergebnisse der Hirnareale mit unseren gegenüberzustellen.

### **6.3.1.2 TPJ**

Auch wenn die TPJ keine definitiven anatomischen Grenzen aufweist, lässt sich schon am Namen die grobe Lokalisation der TPJ vermuten. Sie liegt an der Vereinigung zwischen posterioren Anteilen des Sulcus temporalis superior und inferioren rostralen Gebieten des Parietallappens (Corbetta et al., 2008). Als Leitstruktur dient hierbei das distale Ende der sylvischen Fissur (Trepel et al., 2004). Der TPJ lassen sich der Gyrus supramarginalis (SMG) sowie der Gyrus angularis (AG) zuschreiben, was den Brodmannarealen 39 und 40 entspricht. Wo hingegen das posteriore und dorsale Ende der TPJ lokalisiert ist, lässt sich aus der Literaturzusammenschau nicht einheitlich klären. Wie anatomische Untersuchungen zudem feststellten, unterliegt die Anatomie dieser Struktur einer außerordentlich hohen interindividuellen Variabilität (Ono et al., 1990). Diese Tatsache erschwert eine präzise Lokalisation mittels fMRT zusätzlich und führt zu Ungenauigkeiten. Wie eingangs erwähnt, wurden zudem in der vorangegangenen Literatur verschiedenste Begrifflichkeiten für dieses Areal verwendet: Gyrus angularis (AG), inferiorer Parietallappen (IPS), Gyrus supramarginalis (SMG), posteriorer Temporalkortex und ventraler Parietalkortex (VPC). Auf Grund dessen werden im Folgenden hinsichtlich der TPJ die Definitionen der jeweiligen Autoren verwendet.

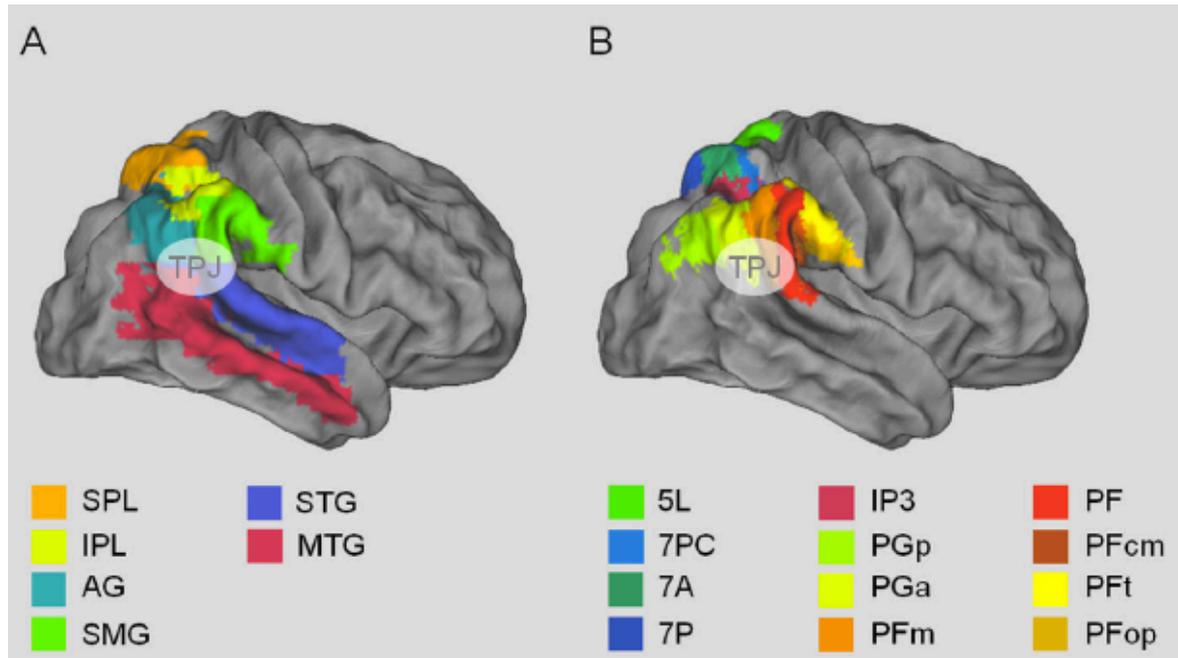


Abbildung 9: Illustration der anatomischen Lokalisation des Parietalkortex. SPL: superior parietal lobe, IPL: inferior parietal lobe, AG: angular gyrus, SMG: supramarginal gyrus, STG: superior temporal gyrus, MTG: middle temporal gyrus. Mit Erlaubnis entnommen aus Geng et al., 2013

### 6.3.1.3 Bezug unserer Daten zur aktuellen Studienlage

Vergleicht man nun die in den vorangegangenen Studien ermittelten Hirnareale der beiden Aufmerksamkeitsnetzwerke, beispielsweise die von Corbetta et al. 2008, mit den von uns erhobenen Daten des Haupteffektes „Validität“, so lassen sich alle unsere signifikanten BOLD Signale in den von Corbetta erwähnten Kerngebieten des DANs als auch des VANs wiederfinden. So lassen sich das frontale Augenfeld (FEF) sowie der Lobus parietalis superior (SPS) in das dorsale, die restlichen von uns gewonnen Hirnareale in das ventrale Aufmerksamkeitsnetzwerk eingliedern.

Wendet man nun Corbettas Theorie von einem dorsalen und ventralen Aufmerksamkeitsnetzwerk auf das von uns entworfene Studiendesign und die von uns erhobenen Daten an, scheint sein Forschungsansatz bestätigt. So wird durch die von uns eingefügten Hinweisreize eine Orientierung der Aufmerksamkeit induziert, welche das DAN in „top-down“-Signale umwandeln würde. Zudem wird durch die nicht-validen Trials eine Aufmerksamkeitsreorientierung notwendig, wodurch auch das VAN aktiviert

werden würde.

Doch gibt ein weiteres Forschungsfeld, das der Theory of Mind, welches einen Teil der eben diskutierten Areale, allen voran die rTPJ, in einen anderen, sozialen, Kontext einordnet.

Wie bereits erwähnt, haben wir, um diesen Sachverhalt aufzuklären, eine soziale Komponente in unsere Studie eingebaut, welche es uns ermöglichen soll, die Aktivierungsmuster suffizient miteinander vergleichen zu können. Die gewonnenen Ergebnisse innerhalb dieses sozialen Teils unseres Experiments sollen nun in Kapitel 6.3.2 diskutiert und in die bestehende Literatur eingeordnet werden.

### **6.3.2 Kontrast „Kontext“**

Analog des Vorgehens in 6.3.1 (Haupteffekt „Validität“) möchte ich nun die von uns beobachteten signifikanten Mehraktivierungen des Haupteffektes „Kontext“ näher erläutern und diese im Spiegel aktueller Studien diskutieren. Wie bereits in Kapitel 5.2.1.2. angeführt, konnten wir im Kontrast „sozial > nicht-sozial“ signifikante Mehraktivierungen lediglich im rechten als auch linken anterioren cingulären Kortex (rACC; BA32), im Bereich des rechten superioren Lobus frontalis (BA 10) sowie im Cuneus wie auch Precuneus (BA 7, 18) feststellen.

Der Kontrast „nicht-sozial > sozial“ lieferte signifikant größere BOLD-Signale im mittleren Temporallappen (BA 38).

Aufgrund des in dieser Bedingung vorliegenden Fokus auf den sozialen Teil unserer Studie werden die genannten Ergebnisse in diesem Teil der aktuellen Forschung zur sozialen Kognition und der Theory of Mind gegenübergestellt.

Wie auch schon im Teil 2.3 des theoretischen Hintergrundes erwähnt, machten es sich in den 90er Jahren eine Vielzahl an Neurowissenschaftlern zur Aufgabe, die spezifischen neuronalen Korrelate des sozial-kognitiven Prozesses des Mentalisierens zu erforschen. Im Zuge dessen wurden so genannte „false-belief-Paradigmen“ entwickelt. Für die Paradigmen wurden vor allem Kurzgeschichten, beispielsweise dem bereits ausführlich erläuterten „Sally-Anne-Paradigma“, verwendet (Gallagher et al., 2000; Saxe & Powell, 2006). Dieses Paradigma der sozialen Kognition wurde dann

häufig einer nicht-sozialen Bedingung gegenübergestellt, in welcher den Probanden Geschichten dargeboten wurden, in denen beispielsweise alltägliche Aktivitäten beschrieben waren und damit nicht die Fähigkeit der Attribuierung von Überzeugungen des Gegenübers initiiert wurde.

Verglich man die signifikanten Mehraktivierungen innerhalb der Theory of Mind Bedingung mit denen innerhalb der nicht-sozial interaktiven Bedingung, so ließen sich mit einer auffallenden Konstanz signifikant erhöhte BOLD-Signale in der linken und rechten temporoparietalen Junktion (TPJ), dem anterioren zingulären Kortex (ACC), dem linken und rechten anterioren Sulcus temporalis superior (aSTS), der Amygdala, dem Precuneus sowie auch dem medialen Präfrontalkortex ausmachen (Saxe & Powell 2006; Frith & Frith 2001; Gallagher & Frith 2003; Blakemore et al. 2004; Mitchell, Mason et al. 2005; Mitchell 2006; Gallagher et al., 2000). Von einigen Autoren wurde vor allem der Region der rTPJ eine zentrale Rolle in der Theory of Mind beigemessen. Die rTPJ sei demnach speziell mit der Attribuierung von Intentionen und Überzeugungen eines Gegenübers assoziiert (Saxe & Powell, 2006; Saxe et al., 2006; Saxe & Wexler 2005), wohingegen die restlichen erwähnten Areale eine eher generellere Aufgabe in der sozialen Kognition und der Verarbeitung von emotionalen Prozessen zu übernehmen scheinen (Schilbach et al., 2012).

Zudem decken sich die im Vorangegangenen beschriebenen Beobachtungen der Mehraktivierungen innerhalb von Theory of Mind Bedingungen mit Studienergebnissen der so genannten Läsionsstudien. In diesen wurde die Auswirkung von Läsionen in temporalen, parietalen und frontalen Arealen auf die Bewältigbarkeit von false-belief Paradigmen eruiert. Auch diese Studien kamen zu dem Schluss, dass Läsionen innerhalb des Bereiches der TPJ zu signifikanten Beeinträchtigungen in der Lösbarkeit von false-belief Paradigmen führen (Samson et al., 2004; Apperly et al., 2007). Anhand dieser Ergebnisse wurde die Relevanz der TPJ für die Fähigkeit der ToM untermauert.

Aufgrund der in der Literatur einheitlich beschriebenen Ergebnisse erwarteten auch wir in dem Versuchsteil der sozialen Kognition unserer Studie signifikante Mehraktivierungen in den Hirnarealen der linken und rechten temporoparietalen Junktion (TPJ), des anterioren cingulären Kortexes (ACC), des linken und rechten anterioren Sulcus temporalis superior (aSTS), der Amygdala, des Precuneus sowie auch dem medialen Präfrontalkortex.

In der Betrachtung unserer Ergebnisse fiel hingegen auf, dass sich im Haupteffekt Kontext (sozial>nicht-sozial) lediglich signifikante BOLD-Signale in dem linken als auch rechten anterioren zingulären Kortex, der rechte Lobus frontalis superior sowie dem linken Precuneus fanden. Diese Areale lassen sich durchaus in die Ergebnisse der vorangegangenen Studien einreihen (Gallagher et al., 2002, Mitchell 2008;) und bekräftigen daher die Relevanz der Areale für die soziale Kognition. Doch fällt auf, dass der Sulcus temporalis superior – vor allem auch die TPJ – nicht in den uns von gewonnen Ergebnissen auftauchen.

Diese Befunde lassen nicht darauf schließen, dass die die Bearbeitung einer Aufgabe mit sozialem Kontext die Aktivität der TPJ beeinflusst. Dieser Aussage gegenüber stehen jedoch die von uns erhaltenen Ergebnisse der Interaktion zwischen dem Faktor Validität und dem Faktor Kontext.

### **6.3.3 Interaktionseffekt: „Validität x Kontext“**

Dieser Teil der Ergebnisse diente der Untersuchung von möglichen Interaktionseffekten zwischen den Faktoren Validität und Kontext. Es ließen sich im rechten Gyrus temporalis superior (STG; BA 22,40), im linken Gyrus temporalis medius (MTG; BA 37, 39, 19) sowie im rechten Lobus frontalis superior und medius (BA10) wie auch der im rechten anterioren cingulären Cingulums (rACC, BA 9) signifikante Mehraktivierungen erfassen. In Anbetracht der Tatsache, dass sich in der Interaktion die Brodmannareale 39 und 40, welche, wie in 6.3.1.2 besprochen, zu den typischen der TPJ zuzurechnenden Arealen zählen, signifikant verstärkt zeigen, lässt sich ein Einfluss der sozialen Interaktion auf die Aktivität der TPJ während der Bearbeitung eines Aufmerksamkeitsparadigmas nicht ausschließen.

Anschließende T-Tests zeigten, dass sich im Kontrast sozial nicht-valide > sozial valide eine signifikante Mehraktivierung innerhalb zweier Cluster beobachten lassen. Hierbei zeigte der rechte Gyrus temporalis medius (MTG; BA 19, 37, 39), der rechte Lobus parietalis superior (BA 7) wie auch der rechte Precuneus (BA 7) eine erhöhte Aktivierung. Da wir es uns mit unserem Experiment zur Aufgabe gemacht haben zu erforschen, inwieweit die Einführung eines sozialen Kontextes eine Auswirkung auf ein

Aufmerksamkeitsnetzwerk hat, war für uns der Kontrast sozial nicht-valide (-sozial noise) > nicht-sozial nicht-valide (-nicht-sozial noise) von großer Bedeutung. Innerhalb dieses Kontrastes ließ sich alleinig die Auswirkung eines sozialen Kontextes auf ein Aufmerksamkeitsnetzwerk nachweisen, da sich diese beiden Versuchsbedingungen lediglich durch die soziale Komponente kontrastierten. Verstärkte BOLD-Signale ließen sich jedoch in diesem Kontrast nicht nachweisen.

Auch die weiteren Kontraste innerhalb der errechneten T-Tests lieferten keine signifikanten BOLD-Signale.

Insgesamt zeigt sich eine Mehraktivierung der rTPJ nur im Kontrast nicht-valide > valide. Diese Datenlage würde zu der Schlussfolgerung führen, dass es sich bei der rTPJ tatsächlich um ein Gehirnareal handelt, welches selektiv durch den Prozess der Aufmerksamkeitsreorientierung aktiviert wird. Hingegen könnten die beobachteten Aktivierungsmuster innerhalb des Interaktionseffektes auf ein komplexeres kognitives Muster hinweisen, welches ebenfalls mit der rTPJ zu assoziieren ist. Durch die nachgewiesene Mehraktivierung im Bereich des Gyrus temporalis medius (MTG BA39), ein Teil der TPJ, ließe sich die Vermutung aufstellen, dass eine Beeinflussung eines sozialen Kontextes auf ein Aufmerksamkeitsnetzwerk zu bestehen scheint.

Wie diese Beeinflussung aussehen könnte und wie sie sich ausprägt, möchte ich im Folgenden erläutern.

## **6.4 Übergreifender Vorschlag**

Wie sich in Zusammenschau des Vorgegangenen nachvollziehen lässt, sprechen aktuelle Forschungsergebnisse aus dem Bereich der sozialen Kognition der rTPJ einen selektiven Verarbeitungsmechanismus bei dem kognitiven Prozess der Theory of Mind zu (Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe & Powell, 2006; Saxe & Wexler, 2005). Konträr zu diesen Beobachtungen wurden eben solche Aktivitätsmuster innerhalb der TPJ in nicht-sozialen Aufgaben gefunden, was die Vertreter des Forschungsfeldes der Aufmerksamkeitsforschung dazu veranlasste, die TPJ als eine für die Aufmerksamkeitsreorientierung spezifische Gehirnregion anzusehen (Corbetta & Shulman, 2002; Serences et al., 2005).

Durch die in unserer Studie gewonnenen Erkenntnisse lässt sich weder eine der beiden Theorien ausschließen noch haben wir eine Selektivität der rTPJ für eine spezielle kognitive Leistung nachweisen können. Vielmehr lässt sich eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Prozesse vermuten.

Wenn Neurowissenschaftler versuchen, einen Erklärungsansatz für die Rekrutierung ein und der selben Gehirnregion durch unterschiedliche kognitive Aufgaben oder die gegenseitige vermeintliche Beeinflussung beider Verarbeitungsprozesse zu finden, so berufen sich diese meist auf eine von zwei möglichen theoretischen Erklärungsansätzen. Zu diesen gehört einerseits die Fraktionierungstheorie (fractionating view) und andererseits die Theorie eines allumfassenden Verarbeitungsprozesses (Scholz et al., 2009).

#### **6.4.1 Fraktionierungstheorie**

Der Ansatz der Fraktionierungstheorie suggeriert, dass sich eine spezifische Gehirnregion und die mit ihr assoziierten kognitiven Funktionen weiter in voneinander unabhängige Subregionen unterteilen lässt. Jede einzelne dieser Subregionen wird laut dieser Theorie von einer charakteristischen Aufgabe beeinflusst und koordiniert diese. Demnach gibt es keinen übergreifenden Mechanismus, welcher die jeweiligen Subregionen miteinander vereint. Ein solcher Ansatz wird von Scholz et al. (2009) in Bezug auf die TPJ vertreten. Diese postulieren eine in vorangegangenen fMRI Studien fälschlicherweise aufgetretene Überlappung der Aktivierungsmuster während der ToM und der Aufmerksamkeitsreorientierung. Demnach wurde diese inkorrekte Überlappung durch die Wahl von zu breiten Voxel-Größen, dem ungenauen Abgleichen während der Normierung auf einen Mittelwert sowie auch dem angewendeten räumlichen Glätten beeinflusst. Diese Unzulänglichkeiten versuchten Scholz et al. durch die höhere Auflösung der gewonnenen Daten als auch einer höheren Feldstärke (3T anstatt der herkömmlichen 1.5T) zu beseitigen und auf diese Weise eine genaue Gegenüberstellung der beiden Aktivierungsmuster zu ermöglichen. Aus den Daten, welche Scholz et al. durch die Testung von 21 Probanden anhand eines false-belief Paradigmas für die ToM und dem Posner-Paradigma für die Aufmerksamkeitsreorientierung ermittelt haben, leiten sie ab, dass es sich bei den

jeweiligen Aktivierungsmustern um distinkte voneinander unabhängige Subregionen innerhalb der TPJ handele. Auch wenn minimale Überlappungen in den BOLD-Signalen der beiden Aufgaben beobachtet wurden, so lägen diese an den äußeren Rändern des jeweiligen Musters. Zudem ließ sich eine Entfernung von 6 – 10 mm zwischen den Spitzen-Aktivierungen (peak-activation) demonstrieren. Anhand dieser Resultate gehen Scholz et al. von benachbarten, aber voneinander unabhängigen Regionen innerhalb der TPJ aus. Diese Theorie unterstützende Ergebnisse wurden zudem von Hutchinson et al. (2009) und Sestieri et al. (2010) erzielt.

#### **6.4.2 Theorie eines allumfassenden Verarbeitungsprozesses**

Eine der Fraktionierungstheorie konträre Ansicht wird durch die Annahme eines allumfassenden Verarbeitungsprozesses vertreten. Nach dieser wird das Vorliegen von möglichen Subregionen innerhalb einer Gehirnregion nicht abgestritten, jedoch werden diese Subregionen als Teil eines größeren Kontextes gesehen. Wie auch bei der Fraktionierungstheorie wird hier davon ausgegangen, dass spezifische Aufgaben verschiedene Unterregionen aktivieren, welche folglich auch unterschiedliche Prozesse beeinflussen. Anatomisch betrachtet führt dies weder zu einer vollständigen Überlappung der einzelnen Subregionen noch lassen sich diese voneinander klar abtrennen. Respektive liegt eine großflächige Überlappung der Subregionen vor, welche sich jedoch an den äußeren Grenzen unterscheidet und den einzelnen Unterfunktionen zuordnen lässt (Cabeza et al. 2012). Diese speziellen Prozesse werden als Teil einer übergreifenden, abstrakteren kognitiven Funktion eingeordnet.

Mit diesen Ansichten konform gehen evolutionäre Ansichten, welche davon ausgehen, dass kognitiv höher anspruchsvolle Aufgaben basierend auf bereits bestehenden basalen Organisationsmustern agieren und nicht voneinander getrennt betrachtet werden sollten. Somit könnten sowohl die Mechanismen der Aufmerksamkeitsreorientierung als auch die der ToM auf einem grundlegenden, allgemeineren Prozess beruhen.

### 6.4.3 Diskussion dieser beiden Ansätze

Um die Aktivierungsverteilungen innerhalb der TPJ genau überprüfen zu können, haben Decety und Lamm (2007) eine Metaanalyse, bestehend aus 70 bildgebenden Studien zur ToM und der Aufmerksamkeitsreorientierung, durchgeführt. Vergleicht man die beiden kognitiven Muster, so fiel eine Überlappung im Bereich des Gyrus supramarginalis auf. Aktivierungsmaxima der beiden Funktionen zeigten sich auf den gegenüberliegenden Seiten des Gyrus angularis (AG). Die Aktivierungsmuster der Aufmerksamkeitsreorientierung breiteten sich in diesem Fall nach dorsal anterior aus, wogegen die Mehraktivierungen während der ToM eher in posterioren Bereichen gesichtet wurden. Diese lässt sich in Abbildung 10 und Tabelle 2 nachvollziehen.

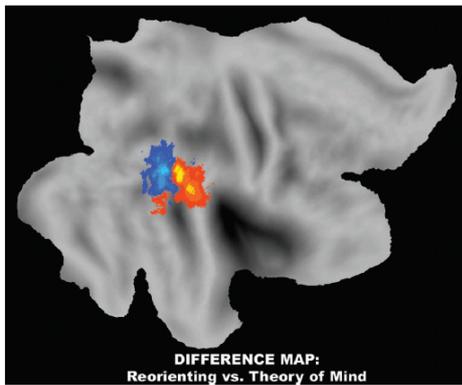


Abbildung 10: Aktivierungsunterschiede zwischen der Aufmerksamkeitsreorientierung und der Theory of Mind. Gebiete der Aktivitätssteigerung während des Reorientierens sind in orange bis gelb gehalten. Mehraktivierungen während des Prozesses der ToM sind in blau unterlegt. Mit Erlaubnis entnommen aus Decety & Lamm (2007)

Tabelle 2: Talairach-Koordinaten gewichteter Zentren und Peak Werten der jeweiligen Cluster. Mit Erlaubnis entnommen aus Decety & Lamm (2007)

	Weighted Center			Peak			Peak Value
	x	y	z	x	y	z	
Attention	54	-46	23	52	-50	28	0.05
Empathy	51	-55	20	50	-56	20	0.018
Theory of mind	50	-53	21	54	-52	18	0.037
Difference map							
Theory of mind > Attention	48	-57	22	52	-52	18	0.022
Attention > Theory of mind	55	-43	26	52	-48	28	0.036

Vergleichbare Ergebnisse wurden zudem von Mitchell et al. (2008) gefunden. Auch er konnte große Überlappungen im Bereich der TPJ in den jeweiligen Aktivierungsmustern nachvollziehen. Auch nimmt er eine Ausbreitung der Aktivierungen während des

Reorientierens der Aufmerksamkeit nach anterior und nach posterior während des Prozesses der ToM an.

Als Zwischenfazit lässt sich festhalten, dass über die Vielzahl an Studien hinweg konsistent, wenn auch teilweise nur geringfügig, überlappende Muster innerhalb der TPJ aktiviert wurden, wobei sich spezifische Unterschiede in den Randbereichen zeigten. Diese Tatsache leitet hin zu der Annahme der Theorie eines allumfassenden Verarbeitungsprozesses. Zudem lässt sich dem Fraktionierungsgedanken entgegenhalten, dass es bis heute noch nicht genau geklärt ist, ab welchem Maß der räumlichen Trennung zwischen zwei Clustern von einem nachweislich voneinander unabhängigen Verarbeitungsprozess gesprochen werden kann. Auch findet der Fraktionierungsgedanke keine Erklärung für die nachweislich vorliegenden Überlappungen der Aktivierungsmuster der ToM und der Aufmerksamkeitsreorientierung im Bereich der TPJ. Der Gedanke des allumfassenden Verarbeitungsprozesses hingegen findet eine Erklärung für dieses Phänomen, indem er die unterschiedlichen Funktionen, welche von den jeweiligen Subregionen repräsentiert werden, als Teil eines übergeordneten Prozesses darstellt. Auch die von uns gewonnenen Daten weisen auf das Vorliegen eines allumfassenden Verarbeitungsprozesses hin. Zwar ließ sich durch unsere Befunde keine Überlappung der Gehirnareale in den Kontexten „Validität“ und „Kontext“ im Bereich der TPJ beobachten, doch spricht, wie bereits angemerkt, das Aktivierungsmuster der Wechselwirkung im Bereich des Gyrus temporalis medius (MTG, BA 39) sehr wohl für das Vorliegen eines Einflusses eines sozialen Kontextes auf ein Aufmerksamkeitsnetzwerk. Auch entspricht die Lokalisation der Mehraktivierung, mit dem MTG als Teil der TPJ, der angeführten Studienlage. Doch stellt sich nun die Frage, welcher übergreifende Mechanismus den Einzelfunktionen der Subregionen zugrunde liegen könnte.

An dieser Stelle möchte ich mich auf das von Geng et al. (2013) postulierte Modell der kontextuellen Aktualisierung („contextual updating“) berufen und als Erklärungsansatz anführen.

### **6.4.3.1 Kontextuelle Aktualisierung „contextual updating“**

Geng et al. (2013) betrachten die Behauptung der selektiven Prozessierung der Aufmerksamkeitsreorientierung in der TPJ kritisch und stellen als Alternativmodell die Theorie der kontextuellen Aktualisierung auf. In dieser wird der TPJ die Aufgabe zugesprochen, den Prozess des Aktualisierens von einem bereits bestehenden inneren Muster, welches durch den aktuellen situativen Kontext bedingt ist, mit neuen sensorischen Informationen zu steuern. Durch diesen Aktualisierungsprozess wird es ermöglicht, adäquat auf neue Stimuli zu reagieren. Anhand dieses Modells lässt sich sowohl der Prozess der Aufmerksamkeitsreorientierung als auch die kognitive Leistung der ToM erläutern und somit die beobachteten TPJ Aktivierungen in beiden Forschungsfeldern erklären.

#### **6.4.3.1.1 Kontextuelle Aktualisierung im Rahmen der Aufmerksamkeitskontrolle**

Wendet man das Modell der kontextuellen Aktualisierung auf den Prozess der Aufmerksamkeitsreorientierung an, so könnte man die TPJ Aktivität erklären, indem ein internes Modell der äußeren Erscheinungswelt durch neue sensorische Reize aus der Umwelt aktualisiert wird. Geng et al. postulieren, dass durch die Aktualisierung eine der Aufgabe angemessene Reaktion hervorgerufen wird und ein Wechsel der Erwartungen gegenüber möglichen auftretenden neuen Reizen eingeleitet wird. Betrachtet man die von Geng et al. getroffenen Aussagen bezüglich der Aufmerksamkeitsreorientierung, so lässt sich die Theorie der kontextuellen Aktualisierung sehr gut mit den bereits bestehenden Ergebnissen der TPJ Aktivierung in der Aufmerksamkeitsforschung vereinbaren. Das Posner-cueing Paradigma dient hierbei als beispielhafte Darstellung. Wie bereits erläutert, wurden in diesem Paradigma vor allem in der Bedingung der nicht-validen Hinweisreize (invalid trials) signifikante Mehraktivierungen im Bereich der TPJ gefunden. In diesem Fall sprachen die Aufmerksamkeitsforscher von einer Reorientierung der Aufmerksamkeit. Wendet man nun das Modell der kontextuellen Aktualisierung auf die Bedingung der nicht-validen Hinweisreize an, so lässt sich eine Aktivitätssteigerung der TPJ durchaus plausibel erklären. In dieser Bedingung werden aufgrund des Auftretens eines nicht kongruenten Zielreizes die durch einen Hinweisreiz

gesetzten Erwartungen verletzt, was eine angemessene Reaktion, basierend auf den neuen Stimuli, zwingend nach sich zieht. Zudem lassen sich auch die beobachteten, wenn auch schwächeren, BOLD-Signale in den validen Trials erklären, da auch in dieser Bedingung eine an den Kontext angepasste Handlung, basierend auf dem neuen Auftreten des Zielstimulus, generiert werden muss. Die TPJ sehen Geng et al. hingegen nicht als alleinig für den Vorgang der mit der Aufmerksamkeit assoziierten Aktualisierung verantwortlich an, doch sprechen sie vielmehr von der TPJ als ein Knotenpunkt innerhalb größerer hierarchischer Netzwerke an Gehirnregionen, welche den sensorischen Input kontext-abhängig determinieren. In diesem Sinne wird die spezifische Funktion der TPJ durch den im jeweiligen Falle vorliegenden Kontext und dem damit verbundenen Aktivitätsmuster eines Netzwerkes geformt. Diese Kontextabhängigkeit wird im Teil 6.4.4 genauer ausgeführt. Zunächst möchte ich jedoch das Modell der kontextuellen Aktualisierung in Bezug auf die Theory of Mind darlegen.

#### **6.4.3.1.2 Kontextuelle Aktualisierung in Bezug auf die Theory of Mind**

Wie bereits erwähnt, verhilft die Theorie von Geng et al. nicht nur der Erklärung beobachteter Aktivitätssteigerungen in der TPJ während des Reorientierens der Aufmerksamkeit; auch die Mehraktivierung der TPJ während des kognitiven Prozesses der ToM wird durch ihr Modell erklärbar.

In dem für die ToM spezifischen Sally-Anne-Paradigma findet laut Geng et al. ebenfalls der von ihnen postulierte Mechanismus des kontextuellen Aktualisierens statt. So obliegt es dem Beobachter, auf die Überzeugungen Sallys rückzuschließen, deren Spielzeug von dem Ursprungsort entfernt wurde, während sie nicht zugegen war. Um korrekt voraussagen zu können, dass Sally an dem Ort ihr Spielzeug aufsuchen wird, an dem sie es zurückgelassen hat, nicht aber an dem Ort, an dem es während ihrer Abwesenheit platziert wurde, muss der Beobachter sein Wissen um den Ort des Objektes, also seinem internen Überzeugungsmuster, mit Sallys Überzeugungen vergleichen, aktualisieren und so in einen neuen kontextuellen Zusammenhang bringen. In diesem Zusammenhang verstehen Geng et al. die TPJ Aktivierung als Spiegel des Prozesses einer kontextuellen Aktualisierung, welche nötig ist, um die Perspektive einer anderen Person einzunehmen und sich von den eigenen Überzeugungen loszulösen.

Auf diese Weise leistet die Theorie des kontextuellen Updates einen vermittelnden Dienst in der Debatte zwischen Aufmerksamkeitsforschern und Verfechtern der ToM, welche jeweils für ihr Forschungsfeld die selektive TPJ-Aktivität in Anspruch nehmen, und beschreibt einen möglichen grundlegenden Mechanismus von Aktivierungsmustern, welche in Korrelation den beiden kognitiven Prozessen innerhalb der TPJ zu beobachten sind. Auch wenn es innerhalb der TPJ differenzierte funktionelle Einheiten zu geben scheint, sind sie der Auffassung, dass die kontextuelle Aktualisierung als verbindendes Verarbeitungsmuster bei verschiedenen Aufgaben auftritt, wenn die TPJ selektiv aktiviert wird. So sehen, wie bereits im Teil 6.4.3.1.1 angeführt, Geng et al. die TPJ nicht als alleinig für den Prozess der kontextuellen Aktualisierung verantwortlich an, sondern gliedern diese vielmehr in kontextabhängige Netze von Gehirnregionen ein, in welchen die TPJ als eine zentrale Schaltstelle agiert. In diesem Zusammenhang sprechen sie der TPJ eine Rolle zu, welche durch die Koaktivierung mit vergesellschafteten Gehirnarealen weiter spezifiziert und in separate Unterfunktionen aufgegliedert wird.

Das Verhältnis unserer Daten zu dem erläuterten Vorschlag der kontextuellen Aktualisierung möchte ich nachfolgend in Kapitel 6.4.5 darstellen.

#### **6.4.4 Koaktivierungen**

In der schematischen Darstellung in Abbildung 11 weisen Geng et al. darauf hin, wie die typischen Aktivierungsmuster während der ToM und der Aufmerksamkeitsreorientierung sich in funktionsspezifische Netzwerke eingliedern lassen und verdeutlichen auf diese Weise ihre Hypothese der kontext-spezifischen Koaktivierungen zwischen der TPJ bzw. Subregionen in der TPJ und anderen domänenspezifischen Gehirnregionen. Durch dieses interagierende Verhalten der jeweiligen Gehirnareale werden spezifische Netzwerke für eine Aufgabe gebildet. Der Erklärungsansatz, dass die genaue Funktion der TPJ durch den Kontext der aktuellen Aufgabe definiert wird, ist durchaus plausibel und schlägt vor, dass der jeweilige Kontext das spezifische Koaktivierungsmuster zwischen speziellen Gehirnregionen determiniert (DiQuattro & Geng, 2011).

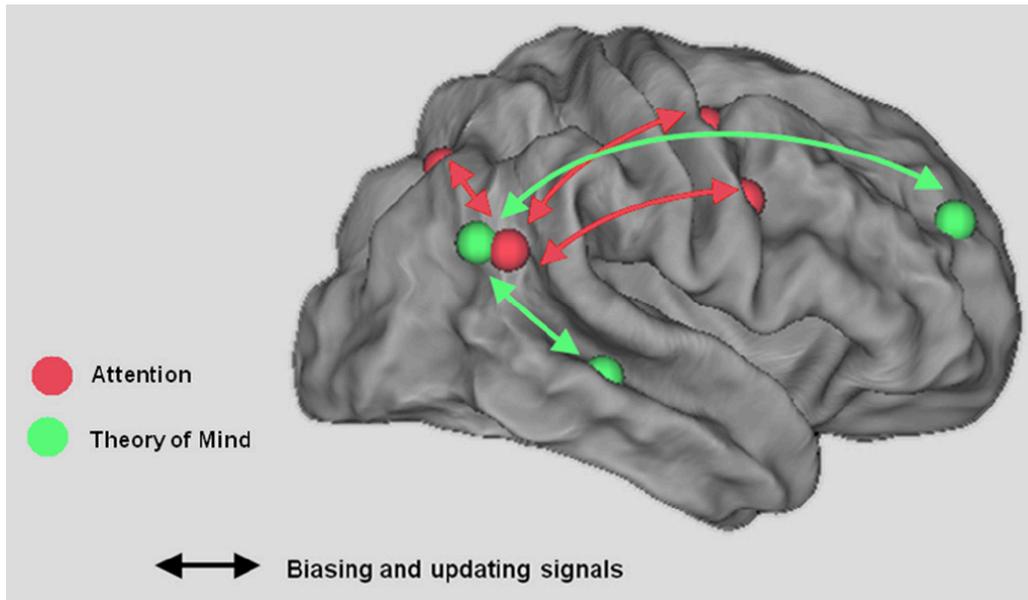


Abbildung 11: schematische Illustration der TPJ als eine Schaltzentrale für kontextabhängige Aktualisierungen im Zusammenhang mit domänenspezifischen kortikalen Netzwerken. Mit Erlaubnis entnommen aus Geng et al. (2013). Koordinaten der roten Aufmerksamkeitsbezogenen Sphären wurden aus einer Studie von Serences et al. (2005) abgeleitet. Koordinaten für die grünen (TOM bezogen) Aktivierungen wurden aus Gweon et al. (2012) abgeleitet.

Ein vergleichbarer Erklärungsansatz, welcher ebenfalls eine kognitive Verarbeitung in Netzwerken vorschlägt und damit auch von relevanten Koaktivierungen spricht, wurde von Mitchell et al. (2008) nahegelegt. Wie auch bereits erwähnt, weist Mitchell auf die zusätzlich zur TPJ konsistenten Aktivitätssteigerungen im Bereich des mPFC als auch des Precuneus hin, welche während der ToM Kognition auftraten (Gallagher et al. 2000; Saxe & Kanwisher 2003; Saxe & Wexler 2005; Saxe & Powell 2006). Identische Koaktivierungsmuster wurden zudem von Gweon et al. (2012) beschrieben. Auch weisen Shamay-Tsoory et al. (2005) darauf hin, dass sich bei Patienten mit Läsionen im Bereich des ventromedialen Präfrontalkortex (vmPFC) Beeinträchtigungen der ToM Kognition aufzeigen lassen. Im Gegensatz dazu ließen sich bei Aufgaben der Aufmerksamkeitsreorientierung zusätzlich assoziierte Areale in dem sogenannten „dorsalen Aufmerksamkeitsnetzwerk“ (DAN), welches sich über den dorsalen Parietalkortex und speziell die Teilbereiche des Sulcus Intraparietalis (IPS) und des Lobus parietalis superior (SPL), sowie Areale nahe des frontalen Augenfeldes (FEF) erstreckt, beobachten (Corbetta & Shulman 2002). Zudem berichten DiQuattro et al. 2011 von nachgewiesenen Signalwegen bzw. Konnektivitäten zwischen der TPJ, dem Gyrus frontalis inferior (IFG) sowie den frontalen Augenfeldern (FEF). In keiner dieser Aufmerksamkeitsstudien wurde jedoch eine Koaktivierung mit dem mPFC oder dem

Precuneus mit der rTPJ beobachtet. Demnach lässt sich vermuten, dass möglicherweise tatsächlich die Verarbeitung von Theory of Mind Kognitionen mit der TPJ assoziiert werden kann, solange diese im Zusammenhang mit einer Koaktivierung in den Arealen des mPFC als auch des Precuneus auftreten. Lassen sich hingegen Regionen innerhalb des ventrolateralen Präfrontalkortex bzw. des DAN koaktiviert nachvollziehen, so ist die TPJ in diesem Kontext mit der Verarbeitung von Aufmerksamkeitsprozessen assoziiert.

#### **6.4.5 Integration unserer Daten in das Modell der kontextuellen Aktualisierung**

Betrachtet man diesen Ansatz des übergreifenden Verarbeitungsprozesses innerhalb der TPJ, welcher mit spezifischen Koaktivierungen mit anderen Gehirnarealen einhergeht, im Kontext mit unseren Ergebnissen, so lässt sich dieser anhand unserer Beobachtungen weitgehend stützen. Wie auch schon im Teil 6.3.1.1 angemerkt, lassen sich die von uns gewonnenen signifikanten BOLD Signale im Kontrast „Validität“ in den von Corbetta et al. (2002) erwähnten Kerngebieten des DANs als auch des VANs wiederfinden. So lassen sich das frontale Augenfeld (FEF) sowie der Lobus parietalis superior (SPS) in das dorsale, die restlichen von uns gewonnenen Hirnareale in das ventrale Aufmerksamkeitsnetzwerk eingliedern. Eine mögliche Koaktivierung der TPJ mit anderen Arealen des Hirns im Kontext der Aufmerksamkeitsreorientierung konnte demnach von uns repliziert werden.

Bezüglich einer Aktivitätssteigerung und möglicher Interaktionen der TPJ während der Verarbeitung einer sozialen Aufgabe, wie es die ToM darstellt, fällt in genauerer Betrachtung der T-Tests auf, dass die TPJ lediglich in der sozialen Bedingung, sozial nicht-valide > sozial valide, mehraktiviert ist. Betrachtet man die Bedingung nicht-sozial nicht-valide > nicht-sozial valide, so lässt sich keine signifikante Aktivitätssteigerung nachvollziehen. Demnach scheint sich der soziale Kontext auf die Aktivierung auszuwirken. Diese Aktivitätssteigerung der rTPJ geht jedoch zudem mit weiteren verstärkten BOLD-Signalen einher, dem Precuneus sowie dem Lobus parietalis superior. Die Aktivitätssteigerung im Precuneus ließ sich ebenfalls im Haupteffekt „Kontext“ nachvollziehen. Überdies ging die Mehraktivierung des Precuneus im Haupteffekt „Kontext“ mit einer Mehraktivierung im Bereich des anterioren zingulären Kortex (ACC) bzw. dem Gyrus frontalis medius, welcher sich in den medialen Präfrontalkortex (mPFC)

eingliedern lässt, einher. Betrachtet man diese Aktivierungsmuster im Kontext mit den von Mitchell erwähnten identischen Arealen, so ließe sich diskutieren, dass in einem sozialen Kontext die Aufmerksamkeitsverarbeitung verstärkt abläuft. Der ACC bzw. mPFC und der Precuneus könnten in diesem Fall eine Vermittlerrolle einnehmen, indem sie als koaktivierte Areale während einer sozial kognitiven Leistung die Aktivität der TPJ modulieren und so zu einer Aktivitätssteigerung des Aufmerksamkeitsnetzwerkes führt.

## **6.5 Zusammenfassende Diskussion**

Ziel der vorliegenden Studie war es, eine mögliche Einflussnahme eines sozialen Kontextes auf ein Aufmerksamkeitsnetzwerk zu überprüfen. Es wurde ein Paradigma entwickelt, welches erstmals sowohl die Verarbeitung der Aufmerksamkeit als auch der sozialen Kognition beinhaltet und die beidem Forschungsansätze auf diese Weise direkt miteinander vergleichbar machte. Anhand dieses Exempels sollte die andauernde Diskussion um das Wesen der TPJ genauer erforscht und weiterentwickelt werden. Aufgrund der aktuellen Studienlage fokussierten wir uns speziell auf das Gebiet der temporoparietalen Junction (TPJ) und den mit ihr zusammenwirkenden Aktivitätsmustern im Kontext der Aufmerksamkeitsreorientierung als auch der Theory of Mind (ToM).

In der Analyse der Verhaltensdaten zeigte sich ein signifikanter Unterschied bezüglich der Reaktionszeiten. Hier wurden in der nicht-validen Bedingung, sowohl im sozialen als auch im nicht-sozialen Teil der Studie, signifikant längere Reaktionszeiten beobachtet als in der validen Bedingung. Die neuronalen Daten zeigen, dass eine selektive Aktivierung der TPJ durch die Reorientierung der Aufmerksamkeit oder den Prozess des Mentalisierens wenig wahrscheinlich zu sein scheint. Ein alternativer Vorschlag eines übergreifenden Mechanismus wurde vorgestellt, nachdem sich die beiden kognitiven Fähigkeiten in einen gemeinsamen basalen Verarbeitungsprozess eingliedern lassen, der durch die Koaktivierung kontext-spezifischer Areale weiter spezifiziert wird.

Zusammenfassend stützen unsere Ergebnisse die von Geng et al. postulierte Idee eines übergreifenden Verarbeitungsmechanismus in Form des kontextuellen Aktualisierens. Durch die von uns erhobenen Ergebnisse lässt sich die Theorie einer

selektiven Aktivierung der TPJ durch entweder ein Aufmerksamkeitsparadigma oder ein Paradigma der sozialen Kognition (ToM) widerlegen. Vielmehr scheint die TPJ mit dem basalen Mechanismus des kontextuellen Aktualisierens assoziiert zu sein und in diesem Zusammenhang ein Konvergenzpunkt im Kontext größerer hierarchischer Netzwerke an Gehirnregionen darzustellen, welche den sensorischen Input kontext-abhängig determinieren. Die jeweilig spezifische Form innerhalb dieses Aktualisierungsprozesses der TPJ wird durch den entsprechenden situativen Kontext bestimmt, welcher zudem die Interaktion mit den zugehörigen Netzwerken determiniert.

## **6.6 Ausblick**

Anhand der Ergebnisse und Schwächen unserer Studie lassen sich die Vorgaben, Maßstäbe, wie auch neue Fragen an zukünftige Studien ableiten.

In den bisher durchgeführten Studien zur Theory of Mind und zur Aufmerksamkeitsreorientierung wurden nicht miteinander vergleichbare Paradigmen zur Testung der jeweiligen kognitiven Leistung herangezogen. Dies impliziert unterschiedliche Anforderungsbedingungen, was eine valide Gegenüberstellung der neuronalen Aktivierungsschemata erschwert. Daraus erwachsend war es unser Ziel, ein Paradigma zu entwickeln, in dem sich beide Forschungsaspekte exakt miteinander vergleichen lassen. Das von uns entwickelte Paradigma reicht an diesen Anspruch schon sehr nah heran, doch ist anzumerken, dass der soziale Teil unserer Studie kein herkömmliches ToM-Paradigma darstellt, da eine Zuschreibung mentaler Zustände für die Bearbeitung der Aufgabe nicht notwendig war. Möglicherweise lassen sich aus diesem Grund auch in den Resultaten des Haupteffektes „Kontext“ nicht die erwarteten Areale, welche regelmäßig mit der ToM assoziiert sind, replizieren. Daraus erwachsend lässt sich folgern, dass es die Herausforderung an zukünftige Studien sein wird, dieses Manko auszuräumen und ein Paradigma zu entwickeln, welches sowohl die Aufmerksamkeitsreorientierung als auch die Fähigkeit der Theory of Mind aktiviert und gleichzeitig differenziert und auf diese Weise ein noch genaueres, vergleichbareres Abbild zu schaffen. Auch ist es in Anbetracht der Vielzahl an Studien und der damit einhergehenden Masse an Paradigmen von Nöten, einheitliche und allgemein gültige Versuchsbedingungen zu schaffen, um die Ergebnisse unterschiedlicher

Forschungszentren sinnvoll gegenüberstellen zu können. Dazu gehören nicht nur identische Paradigmen, sondern zudem auch technische Parameter wie beispielsweise einheitliche hohe Anforderungen bezüglich der Auflösung sowie die daraus resultierende analoge Beschreibung der genauen Anatomie. Des Weiteren aus der Hypothese eines gemeinsamen basalen Verarbeitungsprozesses hervorgehend, stellt sich die Frage, ob sich diese Annahme auch anhand von Läsionsstudien nachweisen ließe. Die bisherige Studienlage wies darauf hin, dass sich Läsionen innerhalb der TPJ sowohl in Bezug auf die Verarbeitung der Aufmerksamkeit, hierbei wird vor allem der Neglect erwähnt (Vallar & Perani, 1987), als auch im Kontext der sozialen Kognition, in Form der Unfähigkeit der Beantwortung von false-belief Paradigmen (Apperly et al. 2004, 2007; Samson et al. 2004), bemerkbar machten. Keine der Studien verwies jedoch auf simultan vorliegende Beeinträchtigungen in beiden Kognitionsmustern. Bei einem gemeinsam zugrundeliegenden Verarbeitungsprozess könnte von einem solchen Krankheitsbild ausgegangen werden. Zudem lässt sich bezüglich der Läsionsstudien vorschlagen, die Auswirkung von Läsionen in Bereichen der mit den jeweiligen Anforderungen, ob Aufmerksamkeitsreorientierung oder ToM, assoziierten Koaktivierungsarealen zu überprüfen. Wie bereits von Shamay-Tsoory et al. (2005) bezüglich des vmPFC erfolgt, stellt sich die Frage, ob eine Beeinflussung der ToM-Kognition durch eine Läsion im Bereich des Precuneus vorliegt.

Aus der beschriebenen Studienlage wie auch dem daraus resultierenden Ausblick lässt sich folgern, dass weiterhin die Aufgabe besteht das Wesen dieser grundlegenden Prozesse der menschlichen Kognition genauer zu ergründen. Ein nicht zu vernachlässigender Ansatzpunkt könnte hierbei, neben den neurokognitiven Studien, der Erkenntnisgewinn aus der klinischen Forschung, basierend auf spezifischen Gehirnläsionen, sein. Durch den Wissensaustausch zwischen experimentellen Studien und den gewonnenen Erfahrungen mit Patienten, welche entsprechende Pathologien vorweisen, werden beide Seiten den gegenseitigen Progress fördern und auf diese Weise voneinander profitieren.

## 7. LITERATUR

- Apperly, I. A., Samson, D., Chiavarino, C., Bickerton, W.-L., & Humphreys, G. W. (2007). Testing the domain-specificity of a theory of mind deficit in brain-injured patients: Evidence for consistent performance on non-verbal, “reality-unknown” false belief and false photograph tasks. *Cognition*, *103*(2), 300–321.
- Apperly, I. A., Samson, D., Chiavarino, C., & Humphreys, G. W. (2004). Frontal and Temporo-Parietal Lobe Contributions to Theory of Mind: Neuropsychological Evidence from a False-Belief Task with Reduced Language and Executive Demands. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*(10), 1773–1784.
- Arrington, C. M., Carr, T. H., Mayer, A. R., & Rao, S. M. (2000). Neural mechanisms of visual attention: object-based selection of a region in space. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12 Suppl 2*, 106–117.
- Aschersleben, G., Hofer, T., & Jovanovic, B. (2008). The link between infant attention to goal-directed action and later theory of mind abilities. *ResearchGate*, *11*(6), 862–8.
- Astafiev, S. V., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2006). Visuospatial reorienting signals in the human temporo-parietal junction are independent of response selection. *European Journal of Neuroscience*, *23*(2), 591–596.
- Bargh, J. A., & Chartrand, T. L. (2000). The mind in the middle. *Handbook of research methods in social and personality psychology*, 253-285.
- Baron-Cohen, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a “theory of mind” ? *Cognition*, *21*(1), 37–46.
- Bartsch, K., & Wellman, H. M. (1995). *Children Talk about the Mind*. Oxford University Press.
- Behrmann, M., Geng, J. J., & Shomstein, S. (2004). Parietal cortex and attention. *Current Opinion in Neurobiology*, *14*(2), 212–217.
- Blakemore, S.-J., Winston, J., & Frith, U. (2004). Social cognitive neuroscience: where are we heading? *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(5), 216–222.
- Buckner, R. L., & Carroll, D. C. (2007). Self-projection and the brain. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(2), 49–57.
- Burnett, S., & Blakemore, S.-J. (2009). Functional connectivity during a social emotion task in adolescents and in adults. *European Journal of Neuroscience*, *29*(6), 1294–1301.

- Cabeza, R., Ciaramelli, E., & Moscovitch, M. (2012). Cognitive contributions of the ventral parietal cortex: an integrative theoretical account. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(6), 338–352.
- Carter, R. M., & Huettel, S. A. (2013). A Nexus Model of the Temporal-Parietal Junction. *Trends in cognitive sciences*, 17(7), 328–336.
- Chambers, C. D., Payne, J. M., Stokes, M. G., & Mattingley, J. B. (2004). Fast and slow parietal pathways mediate spatial attention. *Nature Neuroscience*, 7(3), 217–218.
- Collins, D. L., Neelin, P., Peters, T. M., & Evans, A. C. (1994). Automatic 3D intersubject registration of MR volumetric data in standardized Talairach space. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 18(2), 192–205.
- Corbetta, M., Kincade, J. M., Ollinger, J. M., McAvoy, M. P., & Shulman, G. L. (2000). Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience*, 3(3), 292–297.
- Corbetta, Maurizio, Patel, G., & Shulman, G. L. (2008). The Reorienting System of the Human Brain: From Environment to Theory of Mind. *Neuron*, 58(3), 306–324.
- Corbetta, Maurizio, & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews. Neuroscience*, 3(3), 201–215.
- Corbetta, Maurizio, Tansy, A. P., Stanley, C. M., Astafiev, S. V., Snyder, A. Z., & Shulman, G. L. (2005). A functional MRI study of preparatory signals for spatial location and objects. *Neuropsychologia*, 43(14), 2041–2056.
- Decety, J., & Lamm, C. (2007). The role of the right temporoparietal junction in social interaction: how low-level computational processes contribute to meta-cognition. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, 13(6), 580–593.
- Dennett, D. C. (1978). Beliefs About Beliefs [P&W, SR&B]. *Behavioral and Brain Sciences*, 1(4), 568.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural Mechanisms of Selective Visual Attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18(1), 193–222.
- DiQuattro, N. E., & Geng, J. J. (2011). Contextual Knowledge Configures Attentional Control Networks. *Journal of Neuroscience*, 31(49), 18026–18035.
- DiQuattro, N. E., Sawaki, R., & Geng, J. J. (2014). Effective connectivity during feature-based attentional capture: evidence against the attentional reorienting hypothesis of TPJ. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 24(12), 3131–3141.

- Doricchi, F., Macci, E., Silvetti, M., & Macaluso, E. (2010). Neural Correlates of the Spatial and Expectancy Components of Endogenous and Stimulus-Driven Orienting of Attention in the Posner Task. *Cerebral Cortex*, *20*(7), 1574–1585.
- Downar, J., Crawley, A. P., Mikulis, D. J., & Davis, K. D. (2001). The Effect of Task Relevance on the Cortical Response to Changes in Visual and Auditory Stimuli: An Event-Related fMRI Study. *NeuroImage*, *14*(6), 1256–1267.
- Eickhoff, S. B., Stephan, K. E., Mohlberg, H., Grefkes, C., Fink, G. R., Amunts, K., & Zilles, K. (2005). A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. *NeuroImage*, *25*(4), 1325–1335.
- Ellison, A., Schindler, I., Pattison, L. L., & Milner, A. D. (2004). An exploration of the role of the superior temporal gyrus in visual search and spatial perception using TMS. *Brain*, *127*(10), 2307–2315.
- Eriksen, C. W., & Hoffman, J. E. (1974). Selective attention: Noise suppression or signal enhancement? *Bulletin of the Psychonomic Society*, *4*(6), 587–589.
- Frith, C. D., & Frith, U. (2006). The neural basis of mentalizing. *Neuron*, *50*(4), 531–534.
- Frith, U., & Frith, C. D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *358*(1431), 459–473.
- Gallagher, H. L., Happé, 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*(1), 11–21.
- Gallagher, Helen L., & Frith, C. D. (2003). Functional imaging of „theory of mind“. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(2), 77–83.
- Geng, J. J., & Vossel, S. (2013). Re-evaluating the role of TPJ in attentional control: contextual updating? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *37*(10 Pt 2), 2608–2620.
- Gergely, G., Nádasdy, Z., Csibra, G., & Bíró, S. (1995). Taking the intentional stance at 12 months of age. *Cognition*, *56*(2), 165–193.
- Giessing, C., Thiel, C. M., Rösler, F., & Fink, G. R. (2006). The modulatory effects of nicotine on parietal cortex activity in a cued target detection task depend on cue reliability. *Neuroscience*, *137*(3), 853–864.
- Gläscher, J., & Gitelman, D. (2008). Contrast weights in flexible factorial design with multiple groups of subjects. *Unpublished tutorial*.

- Gweon, H., Dodell-Feder, D., Bedny, M., & Saxe, R. (2012). Theory of Mind Performance in Children Correlates With Functional Specialization of a Brain Region for Thinking About Thoughts. *Child Development, 83*(6), 1853–1868.
- Henson, R. N. A., Buechel, C., Josephs, O., & Friston, K. J. (1999). The slice-timing problem in event-related fMRI. *NeuroImage, 9*, 125.
- Hopfinger, J. B., Buonocore, M. H., & Mangun, G. R. (2000). The neural mechanisms of top-down attentional control. *Nature Neuroscience, 3*(3), 284–291.
- Hommel, B. (2000). 11 The Prepared Reflex: Automaticity and Control in Stimulus-Response Translation. *Control of cognitive processes, 247*.
- Hutchinson, J. B., Uncapher, M. R., & Wagner, A. D. (2009). Posterior parietal cortex and episodic retrieval: Convergent and divergent effects of attention and memory. *Learning & Memory, 16*(6), 343–356.
- Karnath, H.-O., Fruhmann Berger, M., Küker, W., & Rorden, C. (2004). The Anatomy of Spatial Neglect based on Voxelwise Statistical Analysis: A Study of 140 Patients. *Cerebral Cortex, 14*(10), 1164–1172.
- Kastner, S., Pinsk, M. A., De Weerd, P., Desimone, R., & Ungerleider, L. G. (1999). Increased Activity in Human Visual Cortex during Directed Attention in the Absence of Visual Stimulation. *Neuron, 22*(4), 751–761.
- Kiehl, K. A., Laurens, K. R., Duty, T. L., Forster, B. B., & Liddle, P. F. (2001). Neural sources involved in auditory target detection and novelty processing: An event-related fMRI study. *Psychophysiology, 38*(1), 133–142.
- Kincade, J. M., Abrams, R. A., Astafiev, S. V., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2005). An event-related functional magnetic resonance imaging study of voluntary and stimulus-driven orienting of attention. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience, 25*(18), 4593–4604.
- Kubit, B., & Jack, A. I. (2013). Rethinking the role of the rTPJ in attention and social cognition in light of the opposing domains hypothesis: findings from an ALE-based meta-analysis and resting-state functional connectivity. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 323.
- Kundera, M. (1988). Die unerträgliche Leichtigkeit des Seins.
- Leslie, A. M. (1984). Pretend play and representation in infancy: A cognitive approach. *Contributions a la recherche scientifique sur l'autisme: aspects cognitifs, Association pour la Recherche sur l'Autisme et les Psychoses Infantiles, Paris*.
- Leslie, A. M. (1987). Pretense and representation: The origins of „theory of mind.“ *Psychological Review, 94*(4), 412–426.

- Linden, D. E. J., Prvulovic, D., Formisano, E., Völlinger, M., Zanella, F. E., Goebel, R., & Dierks, T. (1999). The Functional Neuroanatomy of Target Detection: An fMRI Study of Visual and Auditory Oddball Tasks. *Cerebral Cortex*, 9(8), 815–823.
- Macaluso, E., Frith, C. D., & Driver, J. (2002). Supramodal effects of covert spatial orienting triggered by visual or tactile events. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(3), 389–401.
- Marois, R., Leung, H.-C., & Gore, J. C. (2000). A Stimulus-Driven Approach to Object Identity and Location Processing in the Human Brain. *Neuron*, 25(3), 717–728.
- McCarthy, G., Luby, M., Gore, J., & Goldman-Rakic, P. (1997). Infrequent Events Transiently Activate Human Prefrontal and Parietal Cortex as Measured by Functional MRI. *Journal of Neurophysiology*, 77(3), 1630–1634.
- Meister, I. G., Wienemann, M., Buelte, D., Grünewald, C., Sparing, R., Dambeck, N., & Boroojerdi, B. (2006). Hemiextinction induced by transcranial magnetic stimulation over the right temporo-parietal junction. *Neuroscience*, 142(1), 119–123.
- Meltzoff, A. N. (2002). Imitation as a Mechanism of Social Cognition: Origins of Empathy, Theory of Mind, and the Representation of Action. In U. Goswami (Hrsg.), *Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development* (S. 6–25). Blackwell Publishers Ltd.
- Mitchell, J. P., Mason, M. F., Macrae, C. N., Banaji, M. R., Cacioppo, J. T., Visser, P. S., & Pickett, C. L. (2005). Thinking about people: The neural substrates of social cognition. *Social neuroscience: People thinking about people*.
- Mitchell, J. P. (2006). Mentalizing and Marr: An information processing approach to the study of social cognition. *Brain Research*, 1079(1), 66–75.
- Mitchell, J. P. (2008). Activity in right temporo-parietal junction is not selective for theory-of-mind. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 18(2), 262–271.
- Mort, D. J., Malhotra, P., Mannan, S. K., Rorden, C., Pambakian, A., Kennard, C., & Husain, M. (2003). The anatomy of visual neglect. *Brain*, 126(9), 1986–1997.
- Natale, E., Marzi, C. A., & Macaluso, E. (2010). Right temporal-parietal junction engagement during spatial reorienting does not depend on strategic attention control. *Neuropsychologia*, 48(4), 1160–1164.
- Ogawa, S., Lee, T.-M., Stepnoski, R., Chen, W., Zhu, X.-H., & Ugurbil, K. (2000). An approach to probe some neural systems interaction by functional MRI at neural time scale down to milliseconds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(20), 11026–11031.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113.

- Onishi, K. H., & Baillargeon, R. (2005). Do 15-Month-Old Infants Understand False Beliefs? *Science (New York, N.y.)*, 308(5719), 255–258.
- Ono, M., Kubik, S., & Abernathey, C. D. (1990). *Atlas of the Cerebral Sulci*. Stuttgart NewYork, NY: G. Thieme Verlag; Thieme Medical Publishers.
- Perner, J., & Roessler, J. (2012). From infants' to children's appreciation of belief. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(10), 519–525.
- Posner, M. I. Orienting of attention *QJ Exp Psychol* 1980; 32: 3-25.
- Posner, M. I., Walker, J. A., Friedrich, F. J., & Rafal, R. D. (1984). Effects of parietal injury on covert orienting of attention. *Journal of neuroscience*, 4(7), 1863-1874.
- Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*, 1(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 neuroscience*, 7(5), 499.
- Saxe, R., & Kanwisher, N. (2003). People thinking about thinking people. The role of the temporo-parietal junction in „theory of mind“. *NeuroImage*, 19(4), 1835–1842.
- Saxe, Rebecca, & Powell, L. J. (2006). It's the thought that counts: specific brain regions for one component of theory of mind. *Psychological Science*, 17(8), 692–699.
- Saxe, Rebecca, Schulz, L. E., & Jiang, Y. V. (2006). Reading minds versus following rules: Dissociating theory of mind and executive control in the brain. *Social Neuroscience*, 1(3–4), 284–298.
- Saxe, Rebecca, & Wexler, A. (2005). Making sense of another mind: the role of the right temporo-parietal junction. *Neuropsychologia*, 43(10), 1391–1399.
- Schilbach, L., Bzdok, D., Timmermans, B., Fox, P. T., Laird, A. R., Vogeley, K., & Eickhoff, S. B. (2012). Introspective Minds: Using ALE Meta-Analyses to Study Commonalities in the Neural Correlates of Emotional Processing, Social & Unconstrained Cognition. *PLOS ONE*, 7(2), e30920.
- Scholz, J., Triantafyllou, C., Whitfield-Gabrieli, S., Brown, E. N., & Saxe, R. (2009). Distinct Regions of Right Temporo-Parietal Junction Are Selective for Theory of Mind and Exogenous Attention. *PLOS ONE*, 4(3), e4869.
- Schöppner, B., Sodian, B., & Pauen, S. (2006). Encoding action roles in meaningful social interaction in the first year of life. *Infancy*, 9(3), 289-311.

- Schotten, M. T. de, Urbanski, M., Duffau, H., Volle, E., Lévy, R., Dubois, B., & Bartolomeo, P. (2005). Direct Evidence for a Parietal-Frontal Pathway Subserving Spatial Awareness in Humans. *Science*, *309*(5744), 2226–2228.
- Schuwerk, T., Schurz, M., Müller, F., Rupperecht, R., & Sommer, M. (2017). The rTPJ's overarching cognitive function in networks for attention and theory of mind. *Social cognitive and affective neuroscience*, *12*(1), 157-168.
- Serences, J. T., Shomstein, S., Leber, A. B., Golay, X., Egeth, H. E., & Yantis, S. (2005). Coordination of voluntary and stimulus-driven attentional control in human cortex. *Psychological Science*, *16*(2), 114–122.
- Sestieri, C., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2010). Attention to Memory and the Environment: Functional Specialization and Dynamic Competition in Human Posterior Parietal Cortex. *Journal of Neuroscience*, *30*(25), 8445–8456.
- Shamay-Tsoory, S. G., Tomer, R., Berger, B. D., Goldsher, D., & Aharon-Peretz, J. (2005). Impaired “affective theory of mind” is associated with right ventromedial prefrontal damage. *Cognitive and Behavioral Neurology*, *18*(1), 55-67.
- Shomstein, S. (2012). Cognitive functions of the posterior parietal cortex: top-down and bottom-up attentional control. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *6*.
- Shulman, G. L., d’Avossa, G., Tansy, A. P., & Corbetta, M. (2002). Two attentional processes in the parietal lobe. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, *12*(11), 1124–1131.
- Shulman, G. L., Ollinger, J. M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A. Z., Petersen, S. E., & Corbetta, M. (1999). Areas Involved in Encoding and Applying Directional Expectations to Moving Objects. *Journal of Neuroscience*, *19*(21), 9480–9496.
- Sodian, B. (2003). Die Entwicklungspsychologie des Denkens–das Beispiel der Theory of Mind. *Entwicklungspsychiatrie. Schattauer, Stuttgart*, 85-97.
- Sodian, B., Hülken, C., & Thoermer, C. (2003). The self and action in theory of mind research. *Consciousness and Cognition*, *12*(4), 777–782.
- Sodian, B., & Thoermer, C. (2006). Theory of mind. In W. Schneider & B. Sodian (Eds.), *Kognitive Entwicklung. Enzyklopädie der Psychologie* (pp. 495-608). Göttingen: Hogrefe.
- Sodian, B., & Wimmer, H. (1987). Children’s Understanding of Inference as a Source of Knowledge. *Child Development*, *58*(2), 424–433.
- Sommer, M., Döhnle, K., Sodian, B., Meinhardt, J., Thoermer, C., & Hajak, G. (2007). Neural correlates of true and false belief reasoning. *NeuroImage*, *35*(3), 1378–1384.

- Teufel, C., Alexis, D. M., Clayton, N. S., & Davis, G. (2010). Mental-state attribution drives rapid, reflexive gaze following. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(3), 695-705.
- Todd, J. J., Fougny, D., & Marois, R. (2005). Visual short-term memory load suppresses temporo-parietal junction activity and induces inattentive blindness. *Psychological Science*, 16(12), 965-972.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136.
- Trepel, M. (2004). Neuroanatomie – Struktur und Funktion. 3. Auflage im Urban & Fischer Verlag.
- Tzourio-Mazoyer, N., Landeau, B., Papathanassiou, D., Crivello, F., Etard, O., Delcroix, N., ... Joliot, M. (2002). Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain. *NeuroImage*, 15(1), 273-289.
- Vallar, G., & Perani, D. (1987). The Anatomy of Spatial Neglect in Humans. *Advances in Psychology*, 45, 235-258.
- Vossel, S., Thiel, C. M., & Fink, G. R. (2006). Cue validity modulates the neural correlates of covert endogenous orienting of attention in parietal and frontal cortex. *NeuroImage*, 32(3), 1257-1264.
- Vossel, S., Weidner, R., Thiel, C. M., & Fink, G. R. (2009). What is „odd“ in Posner's location-cueing paradigm? Neural responses to unexpected location and feature changes compared. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(1), 30-41.
- Wellman, H. M., Cross, D., & Watson, J. (2001). Meta-analysis of theory-of-mind development: the truth about false belief. *Child Development*, 72(3), 655-684.
- Wellman, Henry M. (2002). Understanding the psychological world: Developing a theory of mind. In *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (S. 167-187). Malden: Blackwell Publishing.
- Wellman, Henry M., & Liu, D. (2004). Scaling of Theory-of-Mind Tasks. *Child Development*, 75(2), 523-541.
- Wimmer, H., & Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs: representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition*, 13(1), 103-128.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0 A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(2), 202-238.

Woolley, J. D., & Bruell, M. J. (1996). Young children's awareness of the origins of their mental representations. *Developmental Psychology*, 32(2), 335–346.

## 8. ANHANG

Anlage 1:



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



### Informationsblatt und Checkliste zur Kernspintomographie (MRI)

Sehr geehrte (r) Proband (in),

Sie haben sich bereit erklärt, an einer wissenschaftlichen Studie zur sozialen Wahrnehmung teilzunehmen. Dazu verwenden wir unter anderem eine Kernspinnuntersuchung (Magnetresonanztomographie/MRT). Mithilfe von MRT können Aufnahmen vom Gehirn gemacht werden um bestimmte Regionen für die anschließende rTMS-Untersuchung zu lokalisieren. Auch können Informationen über das Ausmaß der Verknüpfung verschiedener Gehirnregionen gewonnen werden.

Die Untersuchung beruht auf der Wechselwirkung von Magnetfeldern und Radiowellen; es kommen weder Röntgenstrahlen noch Kontrastmittel zur Anwendung. Das Verfahren ist für Ihre Gesundheit absolut ungefährlich. Die Magnetrolle des Kernspins ist offen und Sie haben jederzeit die Möglichkeit, über eine Gegensprechanlage Kontakt zu uns aufzunehmen sowie ein Signal auszulösen, falls etwas nicht in Ordnung ist. Ihr Wohlbefinden wird zu jedem Zeitpunkt fachgerecht überwacht. Störend könnten eventuell die Klopfgeräusche des Gerätes sein. Um Sie davor zu schützen, geben wir Ihnen für die Dauer der Untersuchung Ohrstöpsel.

Die geplante MRT-Untersuchung verwendet ausschließlich Messprotokolle, die der Untersuchung wissenschaftlicher Fragestellungen dienen. Die Aufnahmen Ihres Gehirns sind daher nur zur wissenschaftlichen Auswertung geeignet und können nicht als klinisch-diagnostische Befunde verwendet werden. Sollten wider erwarten Zufallsbefunde entdeckt werden, möchte ich darüber informiert werden:

ja  nein

Die Untersuchung wird mit Hilfe eines Magnetfeldes durchgeführt. Bei der Untersuchung dürfen Sie keine Metallteile mit sich führen, da es sonst zu Unfällen durch fliegende, vom Magnetfeld angezogene Metallgegenstände kommen kann. Daher müssen Sie alle metallhaltigen Gegenstände im Wartezimmer ablegen (z.B. Uhren, Kreditkarte, Hörgerät, Brille, Ohringe, Piercings, Zahnprothese, Haarspange, Gürtelschnalle, Metallteile an der Kleidung, Kugelschreiber, Schlüssel, Geldmünzen in den Taschen)

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

Wurden Sie an Herz oder Kopf operiert? ja  nein

Tragen Sie einen Herzschrittmacher? ja  nein

Tragen Sie eine Insulinpumpe? ja  nein

Tragen Sie einen Nervenstimulator? ja  nein

Tragen Sie ein Hörgerät? ja  nein

Tragen Sie andere Implantate, die metallhaltig sein könnten? ja  nein

Befinden sich in Ihrem Körper Metallteile,  
z.B. Zahnspangen, künstliche Gelenke, Gefäßklips, ...? ja  nein

Tragen Sie Hautklammern infolge einer Operation? ja  nein

**Nicht zu entfernende** Piercings oder metallhaltigen Schmuck? ja  nein

Tätowierungen im Hals und Kopfbereich? ja  nein

Leiden Sie unter Platzangst? ja  nein

Liegt bei Ihnen ein epileptisches Anfallsleiden vor? ja  nein

**Fragen speziell für Frauen:**

Tragen Sie eine Spirale zur Verhütung? ja  nein

Besteht die Möglichkeit einer Schwangerschaft? ja  nein

Bei der Untersuchung darf keine **Kleidung** mit nicht zu entfernenden **metallischen Accessoires** getragen werden (z.B. Reisverschluss, Hosen mit nicht zu entfernenden Metallapplikationen,...)

Jeans mit normalen Nieten und einem Reisverschluss sind ok.

Bei der Untersuchung dürfen **keine Piercings** und **metallhaltiger Schmuck** getragen werden. Auch keine **festen Zahnspangen**.

Augen sollten möglichst nicht oder nur sehr **dezent geschminkt** sein, da geschminkte Augen bei der Untersuchung zum Tränen anfangen könnten.

SONSTIGE BEMERKUNGEN

---

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

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

\_\_\_\_\_  
Name des/der **Probanden/-in** (in Druckbuchstaben)

Regensburg,

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum  
(eigenhändig vom Probanden einzutragen)

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des/der Probanden/-in

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

Regensburg,

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum  
(eigenhändig von  
der Fachkraft einzutragen)

\_\_\_\_\_  
Unterschrift der Fachkraft

Tragen Sie Hautklammern infolge einer Operation? ja  nein

**Nicht zu entfernende** Piercings oder metallhaltigen Schmuck? ja  nein

Tätowierungen im Hals und Kopfbereich? ja  nein

Leiden Sie unter Platzangst? ja  nein

Liegt bei Ihnen ein epileptisches Anfallsleiden vor? ja  nein

**Fragen speziell für Frauen:**

Tragen Sie eine Spirale zur Verhütung? ja  nein

Besteht die Möglichkeit einer Schwangerschaft? ja  nein

Bei der Untersuchung darf keine **Kleidung** mit nicht zu entfernenden **metallischen Accessoires** getragen werden (z.B. Reisverschluss, Hosen mit nicht zu entfernenden Metallapplikationen,...)

Jeans mit normalen Nieten und einem Reisverschluss sind ok.

Bei der Untersuchung dürfen **keine Piercings** und **metallhaltiger Schmuck** getragen werden. Auch keine **festen Zahnspangen**.

Augen sollten möglichst nicht oder nur sehr **dezent geschminkt** sein, da geschminkte Augen bei der Untersuchung zum Tränen anfangen könnten.

SONSTIGE BEMERKUNGEN

---

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

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

\_\_\_\_\_  
Name des/der **Probanden/-in** (in Druckbuchstaben)

Regensburg,

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum  
(eigenhändig vom Probanden einzutragen)

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des/der Probanden/-in

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

Regensburg,

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum  
(eigenhändig von  
der Fachkraft einzutragen)

\_\_\_\_\_  
Unterschrift der Fachkraft

Anlage 2:



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



## **Einwilligungserklärung des Probanden zur Teilnahme an der wissenschaftlichen Studie und Durchführung der Magnetresonanztomographie (MRT)**

Ich habe die vorstehenden schriftlichen Informationen zur Magnetresonanztomographie sorgfältig gelesen. Darüber hinaus wurden mir der Zweck dieser Studie und die geplanten Untersuchungen, denen ich mich unterziehen soll, genau erklärt. Ich hatte ausreichend Gelegenheit, etwaige Bedenken zu besprechen und Fragen zu stellen. Dabei wurden alle meine Fragen beantwortet.

Durch die Unterzeichnung dieser Einverständniserklärung stimme ich zu, dass ich an der Studie teilnehme. Ich weiß, dass diese Zustimmung freiwillig ist und jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile für meine weitere medizinische Versorgung widerrufen werden kann. Ich weiß, dass die Aufnahme meines Gehirns nur zur wissenschaftlichen Auswertung geeignet ist und nicht als klinisch-diagnostischer Befund verwendet werden kann.

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

### **Die gesetzlichen Datenschutzbestimmungen werden eingehalten.**

Ich habe eine Kopie der Information sowie der Einwilligungserklärung erhalten.

---

Name des/der **Probanden/-in** (in Druckbuchstaben)

Regensburg,

---

Ort, Datum  
(eigenhändig vom Probanden einzutragen)

---

Unterschrift des/der Probanden/-in

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

Regensburg,

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum  
(eigenhändig  
von der Fachkraft einzutragen)

\_\_\_\_\_  
Unterschrift der Fachkraft

Anlage 3:



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



## Informationsblatt zur Kernspintomographie (MRI)

Sehr geehrte (r) Proband (in),

Sie haben sich bereit erklärt, an einer wissenschaftlichen Studie zur sozialen Wahrnehmung teilzunehmen. Dazu verwenden wir unter anderem eine Kernspinuntersuchung (Magnetresonanztomographie/MRT). Mithilfe von MRT können Aufnahmen vom Gehirn gemacht werden um bestimmte Regionen für die anschließende rTMS-Untersuchung zu lokalisieren. Auch können Informationen über das Ausmaß der Verknüpfung verschiedener Gehirnregionen gewonnen werden.

Die Untersuchung beruht auf der Wechselwirkung von Magnetfeldern und Radiowellen; es kommen weder Röntgenstrahlen noch Kontrastmittel zur Anwendung. Das Verfahren ist für Ihre Gesundheit absolut ungefährlich. Die Magnetrolle des Kernspins ist offen und Sie haben jederzeit die Möglichkeit, über eine Gegensprechanlage Kontakt zu uns aufzunehmen sowie ein Signal auszulösen, falls etwas nicht in Ordnung ist. Ihr Wohlbefinden wird zu jedem Zeitpunkt fachgerecht überwacht. Störend könnten eventuell die Klopfgeräusche des Gerätes sein. Um Sie davor zu schützen, geben wir Ihnen für die Dauer der Untersuchung Ohrstöpsel.

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

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

Die Untersuchung wird mit Hilfe eines Magnetfeldes durchgeführt. Bei der Untersuchung dürfen Sie keine Metallteile mit sich führen, da es sonst zu Unfällen durch fliegende, vom Magnetfeld angezogene Metallgegenstände kommen kann. Daher müssen Sie alle metallhaltigen Gegenstände im Wartezimmer ablegen (z.B. Uhr, Kreditkarte, EC-Karte, Hörgerät, Brille, Ohringe, Piercings, Zahnprothesen, Haarspangen, Gürtelschnalle, Metallteile an der Kleidung, Kugelschreiber, Schlüssel, Geldmünzen in den Taschen)

Anlage 4:



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



## Persönliche Daten

Testdatum:

Kodierung:

**Geschlecht:**  männlich  weiblich

**Geburtsdatum:** \_\_\_\_\_

**Höchster Schulabschluss:**  kein Abschluss  Hauptschule

Realschule

Berufsschule  Abitur/ Fachabitur

Universität/ FH

Anderes

\_\_\_\_\_  
**Berufsausbildung:**

\_\_\_\_\_  
**Aktuell ausgeübte Beruf:**

Vollzeit  Teilzeit: \_\_\_\_\_ Std./ Woche

\_\_\_\_\_  
**Besonderheiten der Schul- und Berufslaufbahn:**

\_\_\_\_\_  
**Familienstand:**  ledig  verheiratet  
 in Partnerschaft lebend  geschieden/ getrennt  
 verwitwet

**Sonstige Besonderheiten:**

## Anlage 5: Instruktion



### Verarbeitung von Informationsquellen in der Verkehrsführung

Vielen Dank für die Teilnahme an unserem Experiment zur Verarbeitung von Informationen verschiedener Warnsysteme in der Verkehrsführung.

Der Lehrstuhl für Psychologie der LMU München untersucht in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Ergonomie und einem deutschen Autohersteller Aufmerksamkeitsverarbeitung in Zusammenhang mit Frühwarnsystemen im Straßenverkehr.



Die zunehmende Verkehrsbelastung ist eine besondere Herausforderung für Sicherheit im Straßenverkehr. Deshalb wurde eine moderne Sensortechnik entwickelt, die automatisch Gefahrenhinweise weiterleitet, wodurch es dem Fahrer ermöglicht wird, auf Gefahrenquellen rechtzeitig reagieren zu können.

Gleichzeitig wird aktuell an Vernetzungssystemen geforscht, die es verschiedenen anderen Verkehrsteilnehmern ermöglichen, manuell Gefahrenmeldungen einzugeben, die als Warnhinweise andere Fahrer auf Gefahrenquellen aufmerksam machen können.

Sowohl die computerisierten Systeme als auch die manuellen Eingaben anderer Fahrer sind Quellen für Fehler. Aktuelle Forschung zeigt, dass die Fehleranfälligkeit bei beiden gleich hoch ist. Deshalb ist es wichtig zu erforschen, wie Menschen auf diese unterschiedlichen Quellen reagieren.

Somit wird im folgenden Experiment die Verarbeitungsgeschwindigkeit und -genauigkeit bei der Reaktion auf Hinweise eines Menschen im Vergleich zur Reaktion auf sensortechnikbasierte Hinweise untersucht.

Hierfür siehst du im Folgenden zwei Kästchen. Deine Aufgabe besteht darin, sobald in einem Kästchen ein Ziel aufleuchtet, so schnell wie möglich zu reagieren und die Antworttaste zu drücken. In der Mitte des Bildschirms siehst du einen Pfeil, der entweder nach links oder rechts zeigt. Der Pfeil ist ein Hinweisreiz, der angibt, in welchem Kästchen das Ziel erscheinen wird. Bitte fixiere während des ganzen Experiments die Mitte des Bildschirms (Pfeil/Kreuz).

Der Pfeil kann zwei Farben annehmen, entweder blau oder gelb:

Ist der Pfeil **gelb**   , so handelt es sich hier um computerbasierte Hinweise.

Ist der Pfeil **blau**   , so kommt die Information von unserem Mitarbeiter im Nebenraum, der Informationen, die er über das Erscheinen des Ziels bekommt, an dich via Tastendruck weiterleitet.

Es kann passieren, dass zwar ein Pfeil als Hinweis gegeben wird, danach jedoch kein Ziel erscheint. Es kann auch vorkommen, dass der Pfeil in eine Richtung deutet, in der das Ziel nicht aufleuchtet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sowohl computerbasierte Hinweise, als auch Hinweise unseres

Mitarbeiters im Nebenraum, fehleranfällig sind. Beachte dabei, dass hier, wie auch bei der aktuellen Forschung zur Verkehrstechnik, beide Hinweisarten gleich häufig Fehler beinhalten.

Nach der Untersuchung werden wir dich zu deinen Erfahrungen mit diesen unterschiedlichen Hinweisreizen (Mensch vs. Computer) befragen. Achte deswegen besonders darauf, ob der Hinweis von unserem Mitarbeiter oder computerbasiert an dich weitergeleitet wurde.

Anlage 6: Debriefing

**Nochmals vielen Dank für die Teilnahme an unserer Studie. Bitte beantworte noch kurz die nachfolgenden Fragen gewissenhaft und ehrlich.**

VP-Code: \_\_\_\_\_

1. Welche Farbe hatte der computergesteuerte Pfeil?  gelb  blau  
Welche der vom Mitarbeiter?  gelb  blau

Wie sehr treffen folgende Aussagen zu:

**2. „Ich habe bei der Bearbeitung der Aufgabe darauf geachtet, ob der Pfeil vom Mitarbeiter oder Computer gesetzt wurde.“**

- trifft nicht zu  trifft eher nicht zu  unentschieden  trifft eher zu  
 trifft zu

**3. „Beide Hinweisquellen (Mensch/Computer) waren gleich gut.“**

- trifft nicht zu  
 trifft zu

Beschreibe deinen Eindruck/deine Vermutungen:

---

---

**4. „Ich hatte den Eindruck, Mensch und Computer benutzen unterschiedliche Strategien.“**

- trifft nicht zu  
 trifft zu

wenn ja, welche?

---

---

**5. „Die Pfeile wurden im entsprechenden Block von unserem Mitarbeiter gesetzt.“**

- trifft nicht zu  trifft zu

**6. „Die Pfeile wurden im entsprechenden Block von einem Computer gesetzt.“**

- trifft nicht zu  
 trifft zu

**7. „Ich hatte unterschiedliche Strategien beim Bearbeiten der Aufgabe, je nachdem ob die Hinweise von einem Mensch oder Computer kamen.“**

- trifft nicht zu  
 trifft zu

wenn ja, welche?

---

**8. An was hast du während der Bearbeitung der Aufgabe gedacht?**

---

---

---

**9. Ist dir während der Bearbeitung der Aufgabe irgendetwas Ungewöhnliches aufgefallen?**

---

---

**10. Was denkst du, was der Zweck dieser Studie war? Was wurde untersucht?**

---

---

---

**11. „Ich arbeite gerne mit Computern.“**

- trifft nicht zu                       trifft eher nicht zu                       unentschlossen                       trifft eher zu  
 trifft zu

**12. „Ich arbeite gerne mit anderen Menschen“**

- trifft nicht zu                       trifft eher nicht zu                       unentschlossen                       trifft eher zu  
 trifft zu

**13. „Ich vertraue Computern mehr als Menschen“**

- trifft nicht zu                       trifft eher nicht zu                       unentschlossen                       trifft eher zu  
 trifft zu

**14. „Ich vertraue Menschen mehr als Computern.“**

- trifft nicht zu                       trifft eher nicht zu                       unentschlossen                       trifft eher zu  
 trifft zu

Anlage 7:

## SAARBRÜCKER PERSÖNLICHKEITS- FRAGEBOGEN (SPF)

Based on the Interpersonal Reactivity Index (IRI)

V 6.0

© [Dr. Christoph Paulus](#), Univ. Saarbrücken, 2013

Sie werden jetzt eine Reihe von Aussagen lesen, die jeweils bestimmte (verallgemeinerte) menschliche Eigenschaften oder Reaktionen beschreiben, die alle etwas mit Gefühlen zu tun haben. Bitte kennzeichnen Sie dann auf der 5-Punkte-Skala, inwieweit diese Aussage auf Sie zutrifft; je höher die Zahl, desto höher die Zustimmung. Vielleicht fällt Ihnen auch zu der einen oder anderen allgemeinen Beschreibung ein konkretes Erlebnis ein.

**Es gibt dabei keine richtigen oder falschen Antworten.** Bitte markieren Sie Ihre Antwort durch einen Kreis um die Zahl (je größer die Zahl 1-5, desto höher ist Ihre Zustimmung). Falls Sie eine Änderung vornehmen wollen, so kreuzen Sie die nicht gewünschte Antwort durch und markieren die gewünschte Antwort erneut mit einem Kreis

Ein Beispiel:

Inwieweit trifft die Aussage auf Sie zu?	trifft gar nicht zu .....trifft sehr gut zu				
	1 (-)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
Ich esse gerne Spaghetti	1 (-)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
Ich gehe gerne ins Kino	1 (-)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
Ich trinke gerne Bier	1 (-)	<del>2 (-)</del>	3 (o)	4 (+)	5 (++)

Irrtum

richtig

Wir danken Ihnen bereits jetzt für Ihre Mitarbeit und Ihre ehrliche Beantwortung der Fragen. Bitte beginnen Sie nun .....

3. Buchstabe des Vornamens des Vaters	2. Buchstabe des Vornamens der Mutter	1. Buchstabe des Mädchennamens der Mutter	3. Buchstabe des eigenen Geburtsortes	Eigener Geburtsmonat als Zahl (Z.B. 01 für Jan., 05 für Mai)

<b>Geschlecht:</b> <input type="checkbox"/> männlich <input type="checkbox"/> weiblich		<b>Alter:</b> Jahre				
<b>V 6.0</b>		Nie	selten	manchmal	oft	immer
e	1. Ich empfinde warmherzige Gefühle für Leute, denen es weniger gut geht als mir.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
f	2. Die Gefühle einer Person in einem Roman kann ich mir sehr gut vorstellen.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
d	3. In Notfallsituationen fühle ich mich ängstlich und unbehaglich.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
p	4. Ich versuche, bei einem Streit zuerst beide Seiten zu verstehen, bevor ich eine Entscheidung treffe.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
e	5. Wenn ich sehe, wie jemand ausgenutzt wird, glaube ich, ihn schützen zu müssen.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
d	6. Ich fühle mich hilflos, wenn ich inmitten einer sehr emotionsgeladenen Situation bin.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
f	7. Nachdem ich einen Film gesehen habe, fühle ich mich so, als ob ich eine der Personen aus diesem Film sei.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
d	8. In einer gespannten emotionalen Situation zu sein, beängstigt mich.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
e	9. Mich berühren Dinge sehr, auch wenn ich sie nur beobachte.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
p	10. Ich glaube, jedes Problem hat zwei Seiten und versuche deshalb beide zu berücksichtigen.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
e	11. Ich würde mich selbst als eine ziemlich weichherzige Person bezeichnen.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
f	12. Wenn ich einen guten Film sehe, kann ich mich sehr leicht in die Hauptperson hineinversetzen.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
d	13. In heiklen Situationen neige ich dazu, die Kontrolle über mich zu verlieren.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
p	14. Wenn mir das Verhalten eines anderen komisch vorkommt, versuche ich mich für eine Weile in seine Lage zu versetzen.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
f	15. Wenn ich eine interessante Geschichte oder ein gutes Buch lese, versuche ich mir vorzustellen, wie ich mich fühlen würde, wenn mir die Ereignisse passieren würden.	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)
p	16. Bevor ich jemanden kritisiere, versuche ich mir vorzustellen, wie die Sache aus seiner Sicht aussieht	1 (- -)	2 (-)	3 (o)	4 (+)	5 (++)

## 9. ERKLÄRUNG ZUM PROMOTIONSVERFAHREN

nach § 3 Abs. 3 und 4 der Promotionsordnung  
der Fakultät für Medizin der Universität Regensburg

Name: Böhm  
Vorname: Valentin  
geb. am: 08.10.1990  
in: Frankfurt a.M.

Ich erkläre,

- dass ich den **Doktorgrad der Medizin** nicht schon an einer Hochschule der Bundesrepublik Deutschland erworben habe
- dass ich nicht an anderer Stelle zu einem Promotionsverfahren zum Erwerb des **medizinischen Doktorgrades** zugelassen bin
- dass ich die **medizinische Doktorprüfung** nicht schon an einer Hochschule der Bundesrepublik Deutschland endgültig nicht bestanden habe

Außerdem erkläre ich,

- dass mir keine Tatsachen bekannt sind, die mich zur Führung eines akademischen Grades im Sinne des Gesetzes über die Führung akademischer Grade unwürdig erscheinen lassen
- dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Regensburg, den 15.01.2020  
( Ort, Datum )

\_\_\_\_\_  
( Unterschrift )

## 10. LEBENS LAUF

Valentin Esra Böhm

Prüfeninger Str. 92A – 93049 Regensburg – Tel.: 017684721028

### Persönliche Daten

Name: Valentin Böhm  
Geburtsdatum: 08.10.1990  
Geburtsort: Frankfurt a.M.

### Schul Ausbildung

08/1997 - 06/2001	Franke Grundschule, Frankfurt am Main
08/2001 - 06/2010	Wöhler-Gymnasium, Frankfurt am Main
09/2007 - 06/2008	St. Columba's College, Dublin, Irland
06/2010	Allgemeine Hochschulreife (Abitur, Note: 1,2)

### Studium

Seit 10/2010	Medizinstudium an der Universität Regensburg (Physikum im Oktober 2012, Note: 2,5)
10/2015	Zweiter schriftlicher Abschnitt der Ärztlichen Prüfung, Note: 3,0
12/2016	Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (mündlich) Note: 1,0

### Beruflicher Werdegang

Seit Juni 2017	Assistenzarzt in der Klinik für Gastroenterologie und interventionelle Endoskopie am Krankenhaus der Barmherzigen Brüder Regensburg
----------------	---