

Neuronale Zusammenhänge zwischen der Verarbeitung konfligierender Wünsche und der inhibitorischen Kontrolle

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie
an der Ludwig-Maximilians-Universität München



vorgelegt von

Jenny Ellen Wolf-Hiemer

aus

Landsberg am Lech

2016

Erstgutachter: Prof. Dr. Beate Sodian

Zweitgutachter: PD Dr. Monika Sommer

Datum der mündlichen Prüfung: 25.01.2016

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	6
Zusammenfassung.....	7
Abkürzungsverzeichnis.....	9
Einführung	10
1 Theoretischer und empirischer Hintergrund	14
1.1 Theory of Mind (ToM).....	14
1.1.1 Definition	14
1.1.2 Überzeugungsattribution	17
1.1.3 Wunschattriution.....	20
1.1.4 Entwicklungspsychologische Befunde zur ToM.....	22
1.1.4.1 Entwicklung von Vorläuferfunktionen der ToM.....	24
1.1.4.2 Entwicklung der Wunschattriution.....	26
1.1.4.3 Entwicklung eines subjektiv-repräsentationalen Wunschverständnisses.....	28
1.1.5 Erklärungstheorien	32
1.1.6 Neuronale Korrelate der ToM.....	35
1.1.6.1 Überzeugungsattribution	35
1.1.6.2 Intentions- und Wunschattriution.....	38
1.2 ToM und exekutive Funktionen (EF).....	49
1.2.1 Befunde aus der Entwicklungspsychologie.....	49
1.2.2 Theorien zur Erklärung des Zusammenhangs zwischen ToM und EF.....	54
1.2.3 Befunde aus bildgebenden Studien	57
1.2.3.1 Neuronale Korrelate von ToM und inhibitorische Kontrolle.....	58
1.2.3.2 Neuronale Befunde zum Einfluss von self-perspective-inhibition auf die ToM	62
1.2.4 Ziele und Hypothesen	66
2 Methoden Verhaltensstudie – Verarbeitung und Zuschreibung konfligierender Wünsche.....	71
2.1 Pilotstudie.....	71
2.2 Stichprobe	71
2.3 Versuchsdesign	72
2.4 Aufgabe und Stimulusmaterial.....	72
2.5 Versuchsablauf.....	76

2.6	Auswertung	76
3	Ergebnisse Verhaltensstudie – Verarbeitung und Zuschreibung konfligierender Wünsche.....	77
3.1	Verhaltensdaten unabhängig von der Perspektive bei der Wunschfrage	77
3.2	Verhaltensdaten in Abhängigkeit von der Perspektive bei der Wunschfrage	78
4	Diskussion Verhaltensstudie – Verarbeitung und Zuschreibung konfligierender Wünsche.....	81
4.1	Die Bedeutung der Verhaltensdaten der Wunschverarbeitung	81
4.2	Der Einfluss der Perspektive bei der Wunschzuschreibung.....	84
5	Methoden fMRT-Studie – Neuronale Korrelate von Wunschattrition und inhibitorischer Kontrolle	87
5.1	Stichprobe	87
5.2	Versuchsdesign	87
5.3	Aufgabe und Stimulusmaterial.....	88
5.3.1	Aufgabe zur Wunschattrition	88
5.3.2	Aufgabe zur inhibitorischen Kontrolle.....	91
5.4	Versuchsablauf.....	92
5.5	Technik und Scannerparameter.....	93
5.6	Auswertung	94
5.6.1	Verhaltensdaten.....	94
5.6.2	fMRT-Daten.....	95
6	Ergebnisse fMRT-Studie – Neuronale Korrelate von Wunschattrition und inhibitorischer Kontrolle	99
6.1	Verhaltensdaten.....	99
6.2	fMRT-Daten.....	102
6.2.1	Neuronale Korrelate der Verarbeitung und Selektion inkompatibler Wünsche.....	102
6.2.2	Neuronale Korrelate der Antwortselektion in Abhängigkeit von der Attributionsperspektive	113
6.2.3	Neuronale Aktivierungsmuster der Go-NoGo-Aufgabe	115
6.2.4	Gemeinsame neuronale Korrelate von Wunschverarbeitung und Inhibition	116
7	Diskussion fMRT-Studie – Neuronale Korrelate von Wunschattrition und inhibitorischer Kontrolle	120
7.1	Medialer Präfrontalkortex und ACC	121
7.1.1	Basisfunktionen des MPFC.....	122
7.1.2	Der Einfluss des Perspektivenunterschieds.....	129
7.2	Temporoparietaler Kortex.....	131

7.3	Ventrolateraler Präfrontalkortex und IFG	136
7.4	Zusammenfassende Bewertung der neuronalen Befunde und Ausblick	139
8	Literaturverzeichnis.....	146
9	Abbildungsverzeichnis.....	160
10	Tabellenverzeichnis.....	163
11	Anhang.....	164

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die mit ihrer Unterstützung zur Verwirklichung dieser Arbeit beigetragen haben. Allen voran danke ich Beate Sodian für ihre zuverlässige und kompetente Betreuung, wodurch sie den idealen Rahmen für die Durchführung meines Dissertationsprojekts geschaffen hat. Mein besonderer Dank gilt Monika Sommer, die bei Zweifel oder Schwierigkeiten immer ein offenes Ohr für mich hatte und mir mit ihrer verständnisvollen Art, ihren hilfreichen Ratschlägen und ihrem großen Fachwissen zu jeder Zeit eine wertvolle Stütze war. Ebenso danke ich Hannes Rakoczy für seine konstruktiven Anregungen bezüglich der Fragestellung und Versuchsplanung dieser Studie. Ich möchte mich auch herzlich bei meinen Kollegen der Arbeitsgruppe „Kognitive Neurowissenschaften“ in Regensburg bedanken. Vielen Dank an Katrin Döhnel für die geduldige Einarbeitung in die Kunst der neurowissenschaftlichen Forschungsmethodik sowie für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Planung, Durchführung und Auswertung der Studie. Danke an Tobias Schuwerk, der mir mit zahlreichen praktischen Tipps und als wichtiger Ansprechpartner für organisatorische Belange zur Seite stand. Außerdem danke ich Jana Nottensteiner und Tina Ritzmann für ihre unverzichtbare Hilfe bei der Datenerhebung sowie allen Personen, die sich als Probanden zur Verfügung gestellt haben.

Diese Arbeit ist meinen Eltern gewidmet, die mich in jeder Hinsicht gefördert haben und mir ermöglichten, ungeachtet finanzieller Belange meine Träume und Ziele zu verfolgen. Für ihren emotionalen Beistand und ihre unentbehrliche Unterstützung bei schwierigen Entscheidungen bin ich ihnen zutiefst dankbar.

Mein größter Dank gilt meinem Mann, der in dieser aufregenden Zeit immer für mich da war und mich stets ermutigt hat, wenn ich es gebraucht habe – ohne ihn wäre diese Arbeit nicht entstanden.

Zusammenfassung

Die Fähigkeit, sich selbst und anderen mentale Zustände wie Intentionen, Wünsche oder Überzeugungen zuzuschreiben (Theory of Mind, ToM), stellt eine spezifisch menschliche Kompetenz dar, die uns ermöglicht, unterschiedliche Perspektiven einzunehmen und soziale Interaktionen erfolgreich zu gestalten. Während bereits zweijährige Kinder über ein intaktes Wunschverständnis verfügen (Bartsch & Wellman, 1995; Hadwin & Perner, 1991), entwickelt sich die Fähigkeit zur Überzeugungsattribution erst im Alter von ca. vier Jahren (Wellman et al., 2001). Verschiedene Autoren assoziierten diesen asymmetrischen Entwicklungsverlauf mit höheren exekutiven Anforderungen bei der Verarbeitung von Überzeugungen gegenüber Wünschen (Moore et al., 1995; Rakoczy, Warneken & Tomasello, 2007). Diese Annahme wird von Befunden gestützt, die einen Zusammenhang zwischen der Überzeugungsattribution und den exekutiven Funktionen (EF) sowohl auf der Verhaltensebene (Carlson & Moses, 2001; German & Hehman, 2006), als auch auf neuronaler Ebene zeigten (Rothmayr et al., 2011). Mittlerweile stellten verschiedene Studien auch zwischen EF und der Wunschattriution eine Korrelation dar (Fizke, Barthel, Peters & Rakoczy, 2014; Rakoczy et al., 2007; Rostad & Pexman, 2014). Die Grundlage dieses Zusammenhangs bzw. die Frage, ob auch die Wunschattriution gemeinsame neuronale Korrelate mit den EF teilt, ist bisher jedoch ungeklärt.

In der vorliegenden Studie wurde mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) erstmals die neurokognitive Basis von Wunschattriution und EF innerhalb der gleichen Stichprobe und unter Verwendung von identischem Stimulusmaterial analysiert und miteinander verglichen. Vorrangiges Ziel war, gemeinsame neuronale Korrelate von Wunschattriution und EF mit Fokus auf die funktionale Rolle des posterioren medialen Präfrontalkortex (MPFC) und des temporal-parietalen Kortex genauer zu beleuchten. Hierfür wurde eine Wunschaufgabe entwickelt, die die Attribution von konfligierenden Wünschen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Perspektiven (1. Person vs. 3. Person) und abweichendem Status der Wünsche (inkompatibel vs. kompatibel) erforderte. In einer Verhaltensstudie wurde zunächst die Leistung von 30 gesunden Erwachsenen bei der Wunschattriution erfasst, bevor im nachfolgenden fMRT-Experiment die neuronalen Aktivierungsprofile von 24 Probanden getrennt für zwei Phasen erhoben wurden: die Verarbeitung und die Zuschreibung konfligierender Wünsche. Diese wurden mit

der funktionellen Aktivität der Inhibitionsfähigkeit verglichen, die mit Hilfe einer Go-NoGo-Aufgabe gemessen wurde.

Die Verhaltensdaten ergaben Hinweise auf die Beteiligung inhibitorischer Prozesse bei inkompatiblen Wünschen in Form von langsameren Reaktionszeiten und einer erhöhten Fehlerrate der Probanden. Auf neuronaler Ebene involvierte die Verarbeitung bzw. Zuschreibung konfligierender Wünsche klassische Gehirnareale des ToM-Netzwerks und ging mit signifikanten Aktivierungsunterschieden im posterioren MPFC, im temporoparietalen Kortex und im ventrolateralen Präfrontalkortex (VLPFC) einher. Abweichungen zeigten sich bezüglich der neuronalen Aktivität des temporoparietalen Kortex, die nur teilweise Überschneidungen mit dem typischen ToM-Areal der temporo-parietalen Übergangsregion (TPJ, BA 39) aufwies. Überlappende neuronale Aktivierungen zwischen Wunschattriution und inhibitorischer Kontrolle ergaben sich im posterioren MPFC mit Anteilen des dorsalen anterioren cingulären Kortex (ACC) sowie im VLPFC einschließlich des inferioren Frontalgyrus (IFG), was auf eine enge neuronale Verbindung zwischen den beiden Kompetenzen schließen lässt. Die Befunde lassen annehmen, dass die zentrale Funktion des posterioren MPFC bei der Verarbeitung inkompatibler Wünsche im Konfliktmonitoring und in der Entkopplung von divergierenden mentalen Repräsentationen anzusiedeln ist. Der IFG scheint dabei die Erkennung und Lösung des Perspektivkonflikts zu unterstützen. Übereinstimmend mit den Verhaltensdaten deuten die neuronalen Befunde zudem auf eine gegenseitige Beeinflussung der unterschiedlichen Perspektiven in Form egozentrischer und allozentrischer Intrusion hin, die vom IFG mittels Hemmungsmechanismen der *self-perspective-inhibition* gelöst werden. Die Rolle des temporoparietalen Kortex für die Attribution konfligierender Wünsche wird mit der Aktualisierung mentaler Modelle durch das Hinzukommen von neuen Informationen, sowie mit der Verarbeitung der Perspektivendifferenz assoziiert.

Abkürzungsverzeichnis

BA	Brodman Areal
BOLD	Blood-Oxygen-Level Dependent
(d)ACC	(dorsal) Anterior Cingulate Cortex
DCCS	Dimensional Change Card Sorting Task
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DLPFC	Dorso-Lateral Prefrontal Cortex
EPI	Echo-Planar Imaging
EF	Exekutivfunktionen
FB	False-Belief
fMRT	funktionelle Magnet-Resonanz-Tomographie
FoV	Field-of-View
FWHM	Full-Width Half Maximum
IC	Inhibitory Control
IFG	Inferior Frontal Gyrus
M	Mittelwert
MNI	Montreal Neurological Institute
(d)MPFC	(dorsal) Medial Prefrontal Cortex
MTG	Mittlerer Temporaler Gyrus
NIFTI	Neuroimaging Informatics Technology Initiative
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
ROI-Analyse	Region-of-Interest- Analyse
SD	Standard Deviation
SMA	Supplementär-Motorisches Areal
(p)STS	(posteriorer) Superiorer Temporaler Sulcus
SPM	Statistical Parametric Mapping
TE	Time-to-Echo
ToM	Theory of Mind
TPJ	Temporo-Parietal Junction
TR	Time-to-Repeat
VLPFC	Ventro-Lateral Prefrontal Cortex

Einführung

*„Das Wunderbare am menschlichen Geist ist,
dass er mühelos verschiedene Standpunkte einnehmen kann.“*

Dalai Lama

Die Fähigkeit, die Perspektive einer anderen Person einzunehmen, stellt eine spezifisch menschliche Kompetenz dar, welche als grundlegendes Merkmal der sozialen Kognition betrachtet wird. Eine zentrale Voraussetzung für die Perspektivenübernahme ist nicht nur, ein Verständnis über die eigenen mentalen Vorgänge zu erlangen, sondern auch, die gedanklichen Prozesse anderer Personen nachvollziehen zu können. Gelingt es einem Menschen, die Wünsche, Überzeugungen und Intentionen anderer zu erschließen, kann er soziale Interaktionen erfolgreich gestalten (Leslie, Friedman & German, 2004). Nur wenn man dabei begreift, dass der eigene mentale Zustand von dem eines anderen Menschen oder von der Wirklichkeit abweichen kann, ist man dazu in der Lage, adäquat auf sein Gegenüber einzugehen und das Verhalten seiner Mitmenschen sowie Ereignisse der sozialen Umwelt zu verstehen, zu erklären und vorherzusagen. Die Fähigkeit, sich selbst und anderen Personen mentale Zustände zuzuschreiben, wird als Theorie des Geistes bzw. Theory of Mind (ToM) bezeichnet (Premack & Woodruff, 1978) und besitzt seit Jahrzehnten einen hohen Stellenwert in der sozialen Kognitionsforschung. Bei diesem Mentalisierungsprozess werden insbesondere Wünsche und Überzeugungen zur Vorhersage von Handlungen genutzt, weswegen der Begriff der sogenannten *belief-desire-psychology* geprägt wurde (Doherty, 2009). Die Entstehung der ToM-Fähigkeit stellt einen wichtigen Meilenstein in der Entwicklung von Kindern dar, sodass die kognitive Entwicklungspsychologie diesem Forschungsthema eine Vielzahl an Studien widmete (für Reviews zur ToM siehe Sodian & Thoermer, 2006; Wellman, Cross & Watson, 2001).

Da das Verstehen von falschen Überzeugungen voraussetzt, dass man einen subjektiven mentalen Zustand unabhängig von der Realität repräsentieren kann, wird diese Fähigkeit als entscheidendes Kennzeichen für das Vorhandensein einer ToM gesehen (Sodian & Thoermer, 2006). Folglich lag der Schwerpunkt zahlreicher ToM-Studien auf der Entwicklung der Überzeugungsattribution, welche häufig mittels der klassischen

False-Belief-Aufgabe von Wimmer und Perner (1983) untersucht wurde. Interessanterweise zeigten entwicklungspsychologische Studien, dass bereits zweijährige Kinder über ein intaktes Wunschverständnis verfügen (Bartsch & Wellman, 1995; Hadwin & Perner, 1991; Wellman & Woolley, 1990), während das Verstehen von (falschen) Überzeugungen erst im Alter von ca. vier Jahren entsteht. Diese Befunde deuten auf einen asymmetrischen Entwicklungsverlauf der sogenannten *belief-desire-psychology* hin (Wellman et al., 2001). Im Gegensatz zu gesunden Erwachsenen, die scheinbar mühelos die kognitive Sichtweise anderer Personen einnehmen können, haben Kleinkinder demnach zunächst Schwierigkeiten, geistige Vorgänge aus unterschiedlichen Perspektiven nachzuvollziehen sowie anderen Menschen mentale Zustände richtig zuzuschreiben.

Bis heute sind die Gründe für den ungleichen Entwicklungsverlauf der Wunsch- und Überzeugungsattribution weitgehend unklar. Zur Erklärung der asymmetrischen Entwicklungsbefunde sind in den letzten Jahren zunehmend Ansätze in den Vordergrund gerückt, die von qualitativen Unterschieden der repräsentationalen Eigenschaften und der logisch-normativen Struktur zwischen Wünschen und Überzeugungen ausgehen (Moore et al., 1995; Rakoczy, Warneken & Tomasello, 2007). Hintergrund dieser theoretischen Überlegungen ist die Annahme, dass Überzeugungen höhere exekutive Anforderungen stellen als Wünsche, nachdem das Verstehen von falschen Überzeugungen zudem erfordert, dass man diese entkoppelt von der Realität (bzw. der wahren Überzeugung) mental repräsentieren kann. Das Wunschverständnis hingegen weist geringere exekutive Anforderungen auf, da Wünsche im Gegensatz zu Überzeugungen keine Repräsentationen der Realität darstellen. Folglich müssen Wünsche weder der Wirklichkeit entsprechen, noch muss ein Abgleich mit der Realität erfolgen, um zu beurteilen, ob sie wahr oder falsch sind. Gestützt wird diese Annahme von Befunden verschiedener Verhaltensstudien, die einen Zusammenhang zwischen der Überzeugungsattribution und exekutiven Funktionen sowohl bei Kindern (Carlson & Moses, 2001; Carlson, Moses & Breton, 2002; Hala, Hug & Henderson, 2003), als auch bei Erwachsenen (Chasiotis & Kiessling, 2004; German & Hehman, 2006) demonstrierten. Auch in einer fMRT-Studie spiegelte sich diese Assoziation in gemeinsamen neuronalen Korrelaten der ToM-Fähigkeit und inhibitorischer Kontrolle wider (Rothmayr et al., 2011).

Entgegen den Vorhersagen von Vertretern der Asymmetrie-Annahme der *belief-desire-psychology* postulierte jedoch Rakoczy (2010), dass die Zuschreibung von Wünschen in ähnlichem Maße exekutive Kontrollmechanismen erfordert wie die Attribution von

falschen Überzeugungen, vorausgesetzt, es handelt sich um inkompatible, d. h. miteinander unvereinbare Wünsche, die im Konflikt mit der Sichtweise einer anderen Person stehen. Demzufolge wären exekutive Funktionen generell zur Lösung mentaler Perspektivkonflikte notwendig, unabhängig von der Art des mentalen Zustands. Diese Hypothese wurde mittlerweile durch Verhaltensstudien bestätigt, die eine Korrelation zwischen der Wunschattriution und exekutiven Funktionen aufzeigen konnten (Fizke, Barthel, Peters & Rakoczy, 2014; Rakoczy et al., 2007; Rostad & Pexman, 2014). Möglich wäre, dass die beiden Konzepte gemeinsame neuronale Korrelate teilen. Sowohl die Grundlage dieses Zusammenhangs als auch die neuronale Basis der Wunschattriution wurden bisher jedoch nur unzureichend erforscht. Aus diesem Grund soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag dazu leisten, die neuronalen Korrelate der Wunschattriution sowie die Rolle von inhibitorischen Prozessen genauer zu beleuchten.

Um die Verarbeitung und Zuschreibung von konfligierenden Wünschen bei gesunden Erwachsenen zu untersuchen und einen möglichen Zusammenhang mit inhibitorischen Kontrollfähigkeiten zu erfassen, wurden zwei Experimente durchgeführt. In einem vorausgehenden Verhaltensexperiment wurde die Leistung der Probanden bei der Attribution konfligierender Wünsche in Abhängigkeit von divergierenden Perspektiven (1. Person vs. 3. Person) und unterschiedlichem Status der Wünsche (inkompatibel vs. kompatibel) mittels einer neu entwickelten Wunschaufgabe erhoben. Der Fokus der darauffolgenden fMRT-Studie (funktionelle Magnet-Resonanz-Tomographie) lag einerseits auf den neuronalen Korrelaten der Wunschattriution, die mit Hilfe der gleichen Aufgabe erfasst wurden, und andererseits auf gemeinsamen neuronalen Aktivierungen von Wunschattriution und inhibitorischer Kontrolle. Als Maß für die Inhibitionsfähigkeit wurde im zweiten Experiment zusätzlich eine Go-NoGo-Aufgabe realisiert, welche die Probanden in einem within-subject-Design durchliefen. Die vorliegende Studie ist somit eine der ersten Untersuchungen, die mit Hilfe von fMRT sowohl die Zuschreibung von inkompatiblen Wünschen als auch exekutive Funktionen innerhalb der gleichen Stichprobe unter Verwendung vergleichbaren Stimulusmaterials analysierte.

Im ersten Teil der vorliegenden Arbeit erfolgt eine ausführliche Beschreibung des theoretischen Hintergrunds einschließlich wichtiger empirischer Befunde zum ToM-Konzept allgemein, zur Überzeugungs- und zur Wunschattriution sowie zum Zusammenhang zwischen ToM und inhibitorischer Kontrolle auf behavioraler und neuronaler Ebene. Im zweiten Teil der vorliegenden Ausarbeitung werden Methoden und Ergebnisse

der durchgeführten Verhaltensstudie zur Attribution konfligierender Wünsche vorgestellt und diskutiert. Anschließend wird die methodische Vorgehensweise der fMRT-Studie beschrieben. Im letzten Teil dieser Arbeit erfolgt die Darstellung der neuronalen Befunde sowie Interpretation und Diskussion der funktionellen Aktivierungsprofile im Hinblick auf zentrale Fragestellungen der sozialen Kognitionsforschung.

1 Theoretischer und empirischer Hintergrund

1.1 Theory of Mind (ToM)

1.1.1 Definition

Der Begriff „Theory of mind“ (ToM) tauchte im Jahre 1978 zum ersten Mal in der sozialen Kognitionsforschung auf, als Premack und Woodruff in ihrer vielzitierten Studie der Frage nachgingen, ob Schimpansen in der Lage sind, sich selbst und anderen mentale Zustände zuzuschreiben. Sie setzten damit einen wichtigen Meilenstein in der sozial-kognitiven Entwicklungspsychologie und gaben den Anstoß dazu, diese metarepräsentationalen Fähigkeiten bei Kindern zu untersuchen (Doherty, 2009).

Unter ToM versteht man die grundlegende Fähigkeit, sich selbst und anderen mentale Zustände wie Wünsche, Überzeugungen, Intentionen oder Emotionen zuzuschreiben, was eine zentrale Voraussetzung für soziale Interaktionen darstellt (Leslie et al., 2004). Dabei wird auf grundlegende psychologische Konzepte Bezug genommen, die wir im Alltag anwenden, um das Verhalten unserer Mitmenschen erklären zu können (Sodian & Thormer, 2006). Nur wenn man dazu fähig ist, in Betracht zu ziehen, was andere glauben, denken, wissen oder sich wünschen, ist es möglich das Verhalten anderer zu verstehen und vorherzusagen (Baron-Cohen, Leslie & Frith, 1985). Frith und Frith (2003; Frith & Frith, 2006) bezeichneten diesen Prozess auch als „Mentalisieren“ bzw. „Mindreading“. Eine wichtige Rolle im Rahmen dieses Mentalisierungsprozesses spielen zwei wesentliche mentale Zustände: Wünsche und Überzeugungen. Diese sogenannte „*belief-desire-psychology*“ besagt, dass wir uns zur Vorhersage von Handlungen anderer Menschen theoretischer Konzepte bedienen, die aus einer Kombination von Wünschen und Überzeugungen bestehen (Doherty, 2009). Hat ein Kind beispielsweise den Wunsch eine Schokolade zu essen, wird es im Süßigkeiten-Regal nachsehen, da es glaubt, dass dies der Ort ist, wo die Tafel Schokolade aufbewahrt wird.

Besonderes Interesse erfuhr das ToM-Konzept von der entwicklungspsychologischen Forschung, deren Schwerpunkt u. a. auf der Fragestellung liegt, ab welchem Alter Kinder die Fähigkeit entfalten, sich selbst und anderen mentale Zustände zuzuschreiben. Perner (1991b) beschreibt drei zentrale Kriterien, die mentale Zustände definieren und zur Abgrenzung von der physikalischen Domäne herangezogen werden. Seiner Argumentation

zufolge sind mentale Zustände dadurch charakterisiert, dass sie der „inneren Erfahrung“ zugänglich sind, als „theoretische Konstrukte“ zum Zweck der Verhaltensklärung dienen und durch „Intentionalität“ gekennzeichnet sind. Demzufolge basiert die Attribution mentaler Zustände auf dem intuitiven Wissen, das durch das eigene Erleben von mentalen Zuständen entsteht und wodurch ermöglicht wird, sich in andere Personen hineinzusetzen. Dabei spielen mentale Zustände zur Erklärung und Vorhersage von Verhaltensweisen in einer intuitiven Verhaltenstheorie eine kausal-explanative Rolle (Sodian & Thoermer, 2006). Diese Idee geht auf Aristoteles' praktischen Syllogismus zurück, wonach eine Verhaltensvorhersage unter Verwendung von zwei Prämissen erfolgt, die als mentale Zuschreibungen eine Wunsch- und Überzeugungsattribution enthalten (z. B. Wunsch: Peter will dorthin gehen, wo er ein Eis kaufen kann; Überzeugung: Peter glaubt, dass der Eiswagen im Park steht; Logische Schlussfolgerung: Peter geht in den Park.). Darüber hinaus beziehen sich mentale Zustände auf intentionale Objekte, welche durch „Nichtexistenz“, „Aspektualität“ und „Missrepräsentation“ gekennzeichnet sind (Perner, 1991b). Die Intentionalität ist das wichtigste Unterscheidungsmerkmal zwischen der physikalischen und mentalen Domäne. Mit der intentionalen Inexistenz von Objekten ist gemeint, dass zwar sowohl mentale als auch physikalische Prozesse auf Objekte ausgerichtet sind, jedoch müssen bei mentalen Vorgängen diese Objekte nicht zwingend existent sein. Während man z. B. an einen Hund denken kann, ohne dass dieser tatsächlich existiert, kann man nur einem real anwesenden Hund einen Ball zuwerfen. Zudem beziehen sich intentionale Handlungen im Gegensatz zu physikalischen Ereignissen auf bestimmte Aspekte eines Objekts und können das Zielobjekt falsch repräsentieren (Sodian & Thoermer, 2006). Ein Beispiel für die Missrepräsentation eines Zielobjekts ist die falsche Überzeugung einer Person (z. B. das Kind Maxi), dass sich ein bestimmter Gegenstand (z. B. Schokolade) an einem bestimmten Ort (z. B. Schrank) befindet, obwohl dieses Objekt ohne Wissen der Person in der Zwischenzeit an einen anderen Ort (z. B. Regal) transferiert wurde. Dieses „Unerwarteter-Transfer“-Paradigma wurde erstmals 1983 von Wimmer und Perner in der ToM-Forschung verwendet und ist bis heute ein Paradigma, das in zahlreichen unterschiedlichen Ausführungen angewandt wird, um die Fähigkeit mentale Zustände zu attribuieren, zu testen (siehe Kap. 1.1.2). Darin enthalten sind Aussagen über mentale Zustände (z. B. „Max glaubt, dass sich die Schokolade im Schrank befindet.“), die in der Philosophie als „propositionale Einstellungen“ bezeichnet werden.

Diese propositionalen Einstellungen werden im Rahmen einer intuitiven Verhaltenstheorie der naiven Alltagspsychologie kontinuierlich angewendet und bestehen aus folgenden Bestandteilen: einem Organismus, einer Proposition und einer Einstellung. Während die Proposition („die Schokolade ist im Schrank“) beschreibt, wie ein Organismus („Max“) die Welt repräsentiert, gibt die propositionale Einstellung („glaubt“) Auskunft über die psychologische Relation, d. h. in welcher Beziehung der Organismus zu dieser Proposition steht. Dabei kann die Proposition wahr oder falsch sein, unabhängig davon, welche propositionale Einstellung vorliegt. Um den Wahrheitsgehalt einer Aussage dieser Art zu beurteilen, besteht die Möglichkeit, sie im Zuge eines Evaluierungsprozesses mit der Realität abzugleichen. Für das Verständnis falscher Überzeugungen reicht die Evaluation propositionaler Einstellungen jedoch nicht aus, sondern man muss sich zudem darüber im Klaren sein, dass Propositionen von Menschen individuell evaluiert werden. Demzufolge können von ein und derselben Proposition zeitgleich zwei unterschiedliche Evaluationen existieren, die auch beide falsch sein können (z. B. Maxi hält die Proposition „Die Schokolade ist im Schrank.“ für wahr, Maxis Mutter hält die Aussage „Die Schokolade ist im Regal.“ für wahr; tatsächlich können beide Aussagen falsch sein, wenn z. B. Maxis Vater ohne das Wissen anderer die Schokolade mit in die Arbeit genommen hat). Erst wenn man versteht, dass Propositionen Aussagen über die Realität sind, die einem Evaluationsprozess des Individuums durch einen Abgleich mit der subjektiven Wirklichkeit unterliegen, kann man Verhalten basierend auf falschen Überzeugungen beschreiben, erklären und vorhersagen.

Nicht nur Überzeugungen, sondern auch Wünsche können in Form von propositionalen Einstellungen beschrieben werden, jedoch ist dies aufgrund des häufig verkürzten Sprachgebrauchs nicht auf den ersten Blick ersichtlich (Doherty, 2009). Aussagen wie „Ich möchte eine Tasse Kaffee“ sind bei genauerer Betrachtung propositionale Einstellungen bestehend aus Organismus, Einstellung und Proposition (z. B. „Ich wünsche mir, dass ich eine Tasse Kaffee habe.“).

Die meisten Studien zur Erforschung metarepräsentationaler Fähigkeiten (für einen Überblick siehe Doherty, 2009; Perner, 1991b; Sodian & Thoermer, 2006; Wellman et al., 2001) beschäftigten sich fokussiert mit der Entwicklung der Überzeugungsattribution, da ein Verständnis falscher Überzeugungen ein entscheidender Hinweis auf das Vorhandensein einer ToM nach den drei Kriterien von Perner (1991b) darstellt.

1.1.2 Überzeugungsattribution

Das Verstehen von Überzeugungen setzt eine Repräsentation des subjektiven mentalen Zustands unabhängig von realen Begebenheiten voraus, was viele Autoren als entscheidendes Kennzeichen für die Entstehung einer ToM sehen (Dennett, 1978; Perner, 1991b; Sodian & Thoermer, 2006). Nur wenn man begreift, dass eine andere Person eine falsche Überzeugung über die Realität haben kann, die sie selbst als richtig betrachtet, und dementsprechend agieren wird, können Überzeugungen zur Handlungsvorhersage genutzt werden. Nach Sodian und Thoermer (2006) erfordert ein überzeugender Test, der überprüft, ob die ToM-Fähigkeit vorhanden ist, die Repräsentation der falschen Überzeugung einer Person über eine bestimmte Situation. Im Gegensatz dazu kann man bei wahren Überzeugungen nicht davon ausgehen, dass die Vorhersage einer Handlung tatsächlich auf der Repräsentation des mentalen Zustands beruht, da man das Verhalten einer Person in diesem Fall auch lediglich basierend auf der Repräsentation der Wirklichkeit vorher sagen kann, ohne mentale Konzepte zu berücksichtigen. Ein wegweisendes Paradigma zur Überprüfung dieser Fähigkeit stellt die sogenannte „False-Belief“- (FB) -Aufgabe dar, die inzwischen in verschiedenen Formen existiert und in zahlreichen entwicklungspsychologischen wie neurowissenschaftlichen Studien verwendet wurde (Baron-Cohen et al., 1985; Sommer, Döhnel, Sodian et al., 2007; Wellman et al., 2001; Wimmer & Perner, 1983).

Wimmer und Perner (1983) entwickelten ein Paradigma, mit welchem erstmals systematisch die Fähigkeit zur Überzeugungsattribution bei Kleinkindern untersucht werden konnte. In einer Serie von Experimenten präsentierten sie den Versuchspersonen die Geschichte „Maxi und die Schokolade“, die folgendermaßen konstruiert war: eine Spielfigur „Maxi“ legt eine Tafel Schokolade in einen Schrank X und verlässt dann den Raum. Während seiner Abwesenheit verwendet seine Mutter einen Teil der Schokolade zum Kuchen backen und legt sie anschließend in einen anderen Schrank Y, bevor Maxi wieder den Raum betritt. Die entscheidende Frage, die den Versuchspersonen gestellt wird, ist, wo Maxi nach der Schokolade suchen wird. Dazu sollten die Kinder lediglich auf den richtigen Ort zeigen, ohne, dass von ihnen sprachliche Äußerungen erwartet wurden. Die Versuchspersonen können die Aufgabe nur dann richtig lösen, wenn sie dazu fähig sind, Maxis falsche Überzeugung über den Aufbewahrungsort der Schokolade (X) separat von

ihrem eigenen Wissen über die Realität bzw. der wahren Überzeugung (Y) zu repräsentieren. Somit stellt diese Aufgabe einen validen Test dar, um zu überprüfen, ob die explizite Repräsentation einer falschen Überzeugung des anderen und die Fähigkeit mentale Zustände zu erfassen, vorhanden ist (Dennett, 1978).

Nach Sodian und Thoermer (2006) kennzeichnet die Fähigkeit, zwischen Überzeugung und Realität unterscheiden zu können, die Entstehung einer ToM, weswegen sich die Mehrzahl der Forschungsarbeiten zur ToM mit der Fragestellung beschäftigt, ab welchem Alter Kinder Handlungsvorhersagen auf Basis von Überzeugungen treffen können. In der Originalstudie von Wimmer und Perner (1983) gelang es etwa der Hälfte der Kinder im Alter zwischen vier und fünf Jahren, die „Unerwarteter Transfer“-Aufgabe richtig zu lösen, nachdem der Aufbewahrungsort des Objekts ohne Wissen des Protagonisten gewechselt wurde. Kinder, die die Testfrage („Wo wird Maxi nach der Schokolade suchen?“) beantworten konnten, machten auch weitere korrekte Handlungsvorhersagen, die dem Prinzip des betrogenen Betrügers folgten. Hierbei verstanden die Kinder, dass Maxi (welcher eine falsche Überzeugung über den Aufbewahrungsort der Schokolade hat), seiner Schwester unbeabsichtigt den tatsächlichen Ort verrät, wenn er verhindern will, dass sie die Schokolade findet. Jüngere Kinder dagegen scheiterten häufiger an der Aufgabenstellung. Ihre Leistung verbesserte sich auch nicht bei leichteren Bedingungen, z. B. bei Einführung einer Stop & Think- Bedingung, um der impulsiven Antworttendenz von Kindern entgegenzuwirken oder wenn mehr Informationen über das Szenario bereitgestellt wurden bzw. die Salienz der wahren Überzeugung reduziert wurde.

Ähnliche Entwicklungsbefunde sind bei einer anderen Aufgabe zur Testung der Überzeugungsattribution zu beobachten, die nach dem Prinzip „unerwarteter Inhalt“ konstruiert wurde (Hogrefe, Wimmer & Perner, 1986). Nachdem die Versuchspersonen gefragt wurden, was in einer Smarties-Schachtel enthalten sei (überwiegende Antwort: „Smarties“), wurde die Schachtel geöffnet und sie stellten fest, dass darin in Wirklichkeit ein Bleistift aufbewahrt wurde. Um herauszufinden, wann Kinder zwischen falschen Überzeugungen und der Realität unterscheiden können, fragte man sie anschließend, was ein anderes Kind glaubt, in der geschlossenen Schachtel zu finden. Interessanterweise antworteten die Dreijährigen, dass andere Kinder einen Bleistift in der Schachtel vermuten werden und sie glauben zudem, dass auch sie diese Überzeugung bereits vor Öffnen der Schachtel hatten (Gopnik & Astington, 1988). Bei False-Belief-Aufgaben des unerwarteten Transfers und unerwarteten Inhalts weisen jüngere Dreijährige also Defizite auf,

während ältere Kinder die falsche Überzeugung berücksichtigen. Wellman et al. (2001) analysierten in einer Metaanalyse 178 False-Belief-Studien mit verschiedensten methodischen Manipulationen und zeigten, dass Kinder im Alter von dreieinhalb Jahren beginnen überzeugungsbasiert zu antworten, jüngere Kinder jedoch realitätsbezogen antworten. Dabei gilt das Alter als der Faktor, der die Leistung primär beeinflusst, während die Anforderungen durch die Aufgabe eine untergeordnete Rolle spielen.

Außerdem entwickeln Kinder im Altersbereich zwischen drei und fünf Jahren zunehmend bessere Fähigkeiten zur Täuschung, was in verschiedenen Studien experimentell demonstriert wurde und als Hinweis auf die Entwicklung einer ToM gesehen wird. Peskin (1992) untersuchte, inwieweit es Kindern dieser Altersklasse gelingt, eine andere Person zu täuschen, wenn diese stets den gleichen Gegenstand bevorzugt und das gewünschte Objekt somit zugunsten der eigenen Präferenz erworben werden soll. Die Kinder mussten also erkennen, dass eine Täuschungsstrategie sinnvoll ist und demzufolge vorgeben, den anderen Gegenstand zu präferieren. Während sowohl die Drei- als auch die Vierjährigen ehrlich antworteten, begannen nur die älteren Kinder die Täuschungsstrategie anzuwenden. Auch Sodian (1991) zeigte diesen Entwicklungsfortschritt im vierten Lebensjahr in einem Experiment, bei dem die Versuchspersonen eine andere Person durch das Zeigen auf eine leere Schachtel in die Irre führen konnten.

Evidenzen für ein implizites Verständnis vor Entwicklung einer expliziten Auffassung falscher Überzeugungen erbrachten Studien, in denen antizipative Blickmethoden angewandt wurden. In einem Experiment von Clements und Perner (1994) richteten 80 % der Kinder ab einem Alter von zwei Jahren und elf Monaten ihren Blick auf den Ort, an dem ein Kind suchen wird, wenn es nach der falschen Überzeugung handelt. Eine explizite Testfrage konnten jedoch nur 45 % der Versuchspersonen mittels einer Zeigegeste richtig beantworten. Neuere Befunde geben jedoch Hinweise darauf, dass schon jüngere Kinder implizite Mentalisierungsfähigkeiten besitzen. So antizipieren bereits 17 Monate alte Probanden das Verhalten animierter geometrischer Formen bzw. anderer Personen basierend auf der Verarbeitung der mentalen Zustände, die den Handlungen zugrunde liegen (Senju, Southgate, Snape, Leonard & Csibra G., 2011; Surian & Geraci, 2012).

Zusammengefasst demonstrieren die Befunde zur Entwicklung der Überzeugungsattribution, dass Kinder zwischen drei und fünf Jahren lernen, sich selbst und anderen Überzeugungen zuzuschreiben. Jüngere Kinder sind dagegen nicht in der Lage zwischen Re-

alität und der mentalen Domäne zu unterscheiden und haben aus diesem Grund Schwierigkeiten mit der korrekten Verhaltensvorhersage basierend auf falschen Überzeugungen. Sodian und Thoermer (2006) gehen davon aus, dass sich die metarepräsentationalen Fähigkeiten zum Verstehen falscher Überzeugungen bzw. vorsätzlicher Täuschungen etwa im vierten Lebensjahr entwickeln, während ein implizites Verständnis bereits früher im Alterstrend beobachtet werden kann.

Neben der Überzeugungsattribution, ist auch die Fähigkeit, zu verstehen, dass andere Menschen auf Basis ihrer eigenen Wünsche handeln, ein wichtiges Merkmal der ToM. Im Folgenden wird das Konzept der Wunschattriution definiert sowie von verwandten Konzepten abgegrenzt, bevor im darauffolgenden Abschnitt entwicklungspsychologische Befunde zur Wunschattriution zusammengefasst werden.

1.1.3 Wunschattriution

Das Wunschverständnis, d. h. sich selbst und anderen Wünsche zuzuschreiben, ist eng verwandt mit der Fähigkeit, Ziele oder Intentionen anderer Menschen zu verstehen. Da es inhaltliche Überschneidungen zwischen Wünschen und Intentionen gibt, ist eine Betrachtung der Gemeinsamkeiten, aber auch eine sorgfältige definitorische Abgrenzung beider Konzepte notwendig. Sowohl Wünsche als auch Intentionen stellen mentale Repräsentationen dar, die eine Einstellung gegenüber eines bestimmten erwünschten oder intendierten Sachverhalts beinhalten (Baird & Astington, 2005; Searle, 1983). Sie werden als sogenannte „konative“ Einstellungen bzw. „pro attitudes“ bezeichnet (Davidson, 1963; Malle & Knobe, 2001), die zu Handlungen führen und dabei auf die Erreichung bestimmter Ziele in der Realität ausgerichtet sind. Die Erfüllung von Wünschen und Intentionen hängt davon ab, ob sich die äußeren Begebenheiten gemäß der Intention bzw. des Wunsches einer Person zufriedenstellend verändert haben (Baird & Astington, 2005). Searle (1983) unterscheidet zwischen *intentions-in-actions* und *prior intentions*, wobei *intentions-in-actions* spontan auftreten und Handlungen erzeugen, ohne dass im Vorfeld mentale Prozesse ablaufen. Im Gegensatz dazu werden *prior intentions* als mentale Zustände definiert, die den Handlungen vorausgehen und diese motivieren. Sowohl *intentions-in-actions* als auch *prior intentions* besitzen einen kausalen Selbstbezug („causally self-referential“, Searle, 1983), d. h. sie verursachen die Handlungen, die sie repräsentieren.

Wichtige Unterschiede zwischen dem Intentions- und dem Wunschkonzept ergeben sich bei Betrachtung des Inhalts, den sie repräsentieren (für ausführlichere Darstellungen siehe Malle & Knobe, 2001; Searle, 1983). Die mentale Repräsentation von Intentionen wird mit Handlungen in Verbindung gebracht, wobei es entscheidend ist, auf welche Art und Weise das Resultat zustande kommt. Wünsche dagegen beziehen sich inhaltlich auf das Ergebnis einer Handlung, unabhängig davon, wie dieses erreicht wird (Baird & Astington, 2005). Möchte eine Person beispielweise viel Geld haben (Wunsch) und plant deswegen Lotto zu spielen (Intention), so wird ihr Wunsch, nicht aber ihre Intention erfüllt, wenn sie unerwartet ein hohes Erbe von einer Million Euro erhält. Das bedeutet, dass sowohl Wünsche als auch Intentionen Zielzustände beschreiben, Intentionen aber darüber hinaus den Weg zur Erreichung eines Ziels ausdrücken. Demzufolge bekommt man bei Intentionen Auskunft darüber, *wie* eine Person handeln wird, während Wünsche die Schlussfolgerung zulassen, *warum* eine Person sich so verhalten wird. Damit im Einklang steht die Tatsache, dass Wünsche und Intentionen im mentalen Prozess, der zu einer Handlung führt, eine unterschiedliche Position einnehmen. Malle und Knobe (2001) sehen Wünsche am Beginn der Handlungskette bevor sich Intentionen ausbilden. Man gelangt zu einer Intention, indem man zunächst verschiedene Wünsche in Betracht zieht, welche dann die Handlung begründen. Dabei verpflichten Intentionen zur geplanten Handlung, während Wünsche auch bestehen können, ohne an eine Handlung gekoppelt zu sein. Baird und Astington (2005) verdeutlichen dies am Beispiel eines Heiratsantrags: Aufgrund Anthonys Wunsch seine Lebenspartnerin Karen zu heiraten, entsteht seine Intention ihr einen Heiratsantrag zu machen und im Falle ihrer Zustimmung alle notwendigen Vorbereitungen in die Wege zu leiten. Dabei verpflichtet er sich, sie nicht vor dem Altar stehen zu lassen oder eine andere Frau zu heiraten. Jedoch kann er auch heimlich den Wunsch haben, Karen zu heiraten, ohne dass ihn dies zwingend zu vorbereitenden Handlungen verpflichtet.

Ein weiterer inhaltlicher Unterschied zwischen Wünschen und Intentionen betrifft die Eigenschaften des Sachverhalts, auf den sie ausgerichtet sind. Während Intentionen nur auf mögliche eigene Handlungen abzielen, können Wünsche auch auf das Unmögliche (z. B. unsterblich zu sein) oder Unkontrollierbare (z. B. das Wetter) gerichtet sein (Baird & Astington, 2005).

Immer wieder beschäftigten sich Forschergruppen mit der Frage, ob Kinder Wünsche auf die gleiche Weise verstehen wie Erwachsene (Doherty, 2009) bzw. ob Wünsche bereits im Kleinkindalter als mentale Repräsentationen aufgefasst werden. Inzwischen geht man davon aus, dass sich das Wunschkonzept in der kognitiven Entwicklung von einem objektiven zu einem subjektiven Verständnis verändert. Im Kontext des objektiven Wunschverständnisses werden Wünsche als inhärente Eigenschaft eines Objekt bzw. einer Situation begriffen, was folglich Objekte bzw. Situationen von sich aus als wünschenswert oder unerwünscht charakterisiert (Doherty, 2009; Perner, 1991b). Die Erwünschtheit („desirability“) eines Objekts oder einer Situation wird also nicht mit der Person an sich in Verbindung gebracht, von der der Wunsch ausgeht, sondern auf die Eigenschaften des Objekts attribuiert. In einem subjektiven Wunschkonzept dagegen werden Wünsche als Beziehung zwischen einer Person und einem Objekt bzw. einer Situation betrachtet, d. h. auf mentaler Ebene als innere Repräsentationen von Situationen gesehen, die von Mensch zu Mensch unterschiedlich sein können (Perner, 1991b). Verfügt ein Mensch über ein subjektives Wunschverständnis, ist er sich darüber im Klaren, dass ein und dieselbe Situation von verschiedenen Personen unterschiedlich betrachtet wird und somit verschiedene Personen bezüglich derselben Sachlage voneinander abweichende Wünsche haben können.

1.1.4 Entwicklungspsychologische Befunde zur ToM

In der entwicklungspsychologischen ToM-Forschung findet bis heute eine Diskussion darüber statt, zu welchem Zeitpunkt in der kindlichen Entwicklung ein differenziertes Verständnis über die mentalen Zustände anderer im Sinne subjektiver mentaler Repräsentationen entsteht. Während zahlreiche Befunde darauf hindeuten, dass eine zeitliche Diskrepanz zwischen der Entwicklung der Wunsch- und Überzeugungsattribution vorliegt (Bartsch & Wellman, 1995; Hadwin & Perner, 1991; Perner, 1991a; Wellman & Banerjee, 1991; Wellman & Woolley, 1990; Yuill, 1984), sprechen andere Studien für eine synchron ablaufende Entwicklung der *belief-desire-psychology* (Cassidy et al., 2005; Moore et al., 1995; Perner, Sprung, Zauner & Haider, 2003; Rostad & Pexman, 2014). Diese lebhafte Debatte führte zur Entstehung von zwei gegensätzlichen Erklärungstheorien, die unterschiedliche Vorhersagen über den Entwicklungsverlauf der ToM-Fähigkeit bei Kindern treffen. Autoren, deren Befunde die sogenannte *Asymmetrie*-Annahme unterstützen, gehen davon aus, dass Kleinkinder bereits vor der Entwicklung eines Konzepts

der Überzeugungszuschreibung im Alter von vier Jahren, ein differenziertes Verständnis von Wünschen unter Berücksichtigung der Subjektivität besitzen (Cassidy et al., 2005; Repacholi & Gopnik, 1997). Demzufolge haben bereits Zwei- bis Dreijährige ein ausge-reiftes Wunschverständnis, während sie falsche Überzeugungen erst ein bis zwei Jahre später verstehen (Rakoczy et al., 2007). Wellman und Woolley (1990) bezeichnen Kinder im Alter von zwei bis drei Jahren in diesem Zusammenhang als „simple desire psycholo-gists“. Unterstützt wird diese Annahme von Forschungsergebnissen, die zeigen, dass Kin-der in diesem Alter dazu fähig sind, das Verhalten anderer Personen wunschbasiert zu erklären (Wellman & Woolley, 1990; Yuill, 1984), während die Bewältigung der False-Belief-Aufgabe konsistent erst ab einem Alter von viereinhalb Jahren gelingt (Wellman et al., 2001; Wimmer & Perner, 1983). Zudem scheinen Dreijährige wunschabhängige Emotionen (z.B. Freude, Trauer) adäquat vorhersagen zu können (Wellman & Bartsch, 1988), aber Schwierigkeiten mit der Erklärung von überzeugungsbasierten Emotionen (z. B. Überraschung) zu haben (Hadwin & Perner, 1991).

Dagegen besagt die *Symmetrie*-Annahme, dass sowohl die Fähigkeit der Zuschreibung von Überzeugungen als auch von Wünschen zum gleichen Zeitpunkt in der kognitiven Entwicklung auftritt. Zwar zeigen Kinder unter vier Jahren Kompetenzen bei der Attri-bution von Wünschen, jedoch handelt es hierbei nicht um ein subjektiv-perspektivisches Wunschkonzept (Perner, Zauner & Sprung, 2005), sondern lediglich um eine fortgeschrit-tene Auffassung eines objektiven Wunschverständnisses (Moore et al., 1995; Rakoczy et al., 2007).

In den nächsten Kapiteln folgt zunächst eine Ausführung dieser entwicklungspsycho-logischen Befunde in der ToM-Forschung, bevor anschließend auf Befunde eingegangen wird, die sich mit der Fragestellung eines repräsentationalen Verständnisses mentaler Zu-stände bei Kleinkindern beschäftigen.

1.1.4.1 Entwicklung von Vorläuferfunktionen der ToM

In der kognitiven Entwicklungspsychologie existieren zahlreiche Studien, die sich damit auseinandersetzen, ab welchem Alter Kleinkinder Fähigkeiten zeigen, die den Einsatz mentaler Repräsentationen implizieren. Von Geburt an gibt es Hinweise auf Kompetenzen, die mit der Entstehung einer ToM assoziiert werden und sich auf grundlegende Diskriminationsfähigkeiten der sozialen Interaktion beziehen (Sodian & Thoermer, 2006). Die im Folgenden dargestellten Befunde frühkindlicher Fähigkeiten können als Indiz für Vorläuferfunktionen des Wunsch- bzw. Intentionskonzepts gewertet werden.

Bereits Säuglinge präferieren menschliche Gesichter gegenüber nicht-menschlichen Reizen (Johnson, 2003). Ab ca. drei Monaten verfolgen Kinder Augenbewegungen und differenzieren diese von Zungenbewegungen (Hood, Willen & Driver, 1998). Sodian und Thoermer (2006) sehen den Befund, dass Säuglinge selektiv menschliche Gesichts- und Körperbewegungen imitieren, während sie vergleichbare Bewegungen von unbelebten Objekten nicht nachahmen (Abravanel & DeYong, 1991), als Zeichen für frühe soziale Kognition. Etwa zur gleichen Zeit gelingt es Babys menschliche von mechanischen Bewegungsabfolgen zu unterscheiden (Moore, Goodwin, George, Axelsson & Braddick, 2007). Die Fähigkeit zwischen Menschen und unbelebten Objekten zu unterscheiden, äußert sich auch darin, dass Neugeborene mit zwei bis drei Monaten beginnen ihr Verhalten ihrem Gegenüber anzupassen (Baird & Astington, 2005). In Interaktion mit Erwachsenen erwarten und zeigen sie selbst ein höheres Maß an sozialem Antwortverhalten (wie beispielsweise dem Ausdruck von Lächeln oder Lauten) als mit interaktiven Gegenständen (Legerstee, 1992). Außerdem nehmen bereits sieben Monate alte Kinder wahr, dass nur Menschen, nicht aber leblose Objekte, sich aus eigenem Antrieb in Bewegung setzen können, ohne berührt oder angestoßen zu werden (Woodward, Phillips & Spelke, 1993).

Im Altersbereich zwischen neun und zwölf Monaten finden bei Kindern qualitative Veränderungen bei den sozial-interaktiven Kompetenzen statt. Diese machen sich in Form eines Wandels von dyadischer hin zu triadischer Interaktionen bemerkbar und laufen zwischen dem Säugling, einer anderen Person und einem Bezugsobjekt ab (Sodian & Thoermer, 2006). Erkennbar wird es u. a. dadurch, dass Säuglinge anfangen, dem Blick von Erwachsenen in Richtung bestimmter Bezugsobjekte zu folgen sowie verstehen, dass sie die Aufmerksamkeit anderer Personen mit Hilfe von Zeigegesten auf Dinge lenken können. Diese Fähigkeit, den gemeinsamen Aufmerksamkeitsfokus auf ein Objekt zu

richten, wird als „joint attention“ bezeichnet und umfasst insbesondere die miteinander korrelierten Kompetenzen wie Blickfolgeverhalten, soziales Referenzieren („social referencing“) und Imitationsverhalten (Butterworth & Jarrett, 1991; Carpenter, Nagell & Tomasello, 1998; Slaughter & McConnell, 2003). Inwiefern diese Phänomene tatsächlich für triadische Interaktionsfähigkeiten sprechen, wurde vielfach diskutiert. Einige Autoren gehen davon aus, dass basale Mechanismen wie Kontingenzlernen (Moore & Corkum, 1994) oder lediglich das Verfolgen der motorischen Bewegungen der Erwachsenen ohne Beachtung ihres Aufmerksamkeitsfokus (Butterworth, 2001; Sodian & Thoermer, 2006) zur Erklärung der Befunde herangezogen werden können. Beispielweise zeigten Brooks und Meltzoff (2002), dass Kinder im Alter von neun Monaten den Kopfbewegungen der Erwachsenen auch bei geschlossenen Augen folgten, obwohl diese ihre Aufmerksamkeit offensichtlich nicht auf ein Objekt richteten.

Des Weiteren wurde anhand der Analyse von Blickzeitmustern untersucht, ob Säuglinge bereits ein Verständnis über das intentionale Verhalten anderer Personen besitzen. Woodward (1998) zeigte in einem visuellen Habituationparadigma, dass bereits sechs und neun Monate alte Säuglinge wahrnehmen, dass Handbewegungen eines Menschen von dessen Intentionen geleitet sind. Nachdem die Kinder an die Greifbewegung nach einem von zwei Objekten habituiert worden waren, wurde die Position der Objekte getauscht und die Kinder beobachteten, wie sich entweder die Richtung der greifenden Hand veränderte (und diese somit nach dem gewohnten Objekt griff) oder die Person einen neuen Gegenstand berührte. Der Blick der Babys verweilte anschließend länger auf dem Ereignis, bei dem die Person nach einem neuen Objekt griff und es zeigten sich kürzere Blickzeiten, wenn sich lediglich der Bewegungspfad änderte. Dieses Blickmuster war nur bei menschlichen Bewegungen zu beobachten, nicht aber bei Bewegungen durch einen handähnlichen Stab.

Weitere Hinweise darauf, dass bereits Kleinkinder Handlungen als zielgerichtet wahrnehmen und somit Vorläuferfähigkeiten des Wunsch- und Intentionsverständnisses besitzen, geben Studien, die sich mit dem Imitationsverhalten von Säuglingen und Kleinkindern beschäftigten. Carpenter, Akthar und Tomasello (1998) demonstrierten, dass 14 bis 18 Monate alte Kinder die Absicht einer Person, basierend auf deren Verhalten, verstehen und dabei zwischen beabsichtigten und unbeabsichtigten Handlungen unterscheiden können. Die Kinder beobachteten zwei aufeinanderfolgende Handlungen einer Person bei

Benutzung eines neuen Gegenstands. Beide Handlungen hatten bei erfolgreicher Durchführung ein Ergebnis zur Folge (z. B. Erscheinen eines Spielzeugs). Über verbale Signale („Ups“ vs. „Na also!“) konnten sie indirekt auf die zugrundeliegende Intention der Person schließen. Es zeigte sich, dass die Kinder beabsichtigte Handlungen eher nachahmten als unbeabsichtigtes Verhalten einer Person. Dieser Befund spricht dafür, dass Säuglinge ihre Aufmerksamkeit selektiv auf Merkmale eines Ereignisses richten, die Relevanz für die Ziele eines Agenten besitzen (Woodward, Sommerville & Guarjardo, 2001). In einer vielzitierten Studie von Meltzoff (1995) beobachteten 18 Monate alte Kinder, wie eine erwachsene Person wiederholt ohne Erfolg versuchte einen unbekanntem Gegenstand zu benutzen. Obwohl die Kinder nicht sehen konnten, wie die intendierte Handlung korrekt zu Ende geführt wird, gelang es ihnen daraufhin die Handlungsausführung erfolgreich zu vervollständigen. Der 18. Lebensmonat scheint demnach bedeutsame Entwicklungsschritte einzuleiten, die sich auch darin zeigen, dass Kinder beginnen das Symbolspiel zu verstehen. So begreifen sie in diesem Alter, dass ihre Mutter, die vorgibt mit Hilfe einer Banane zu telefonieren, nur den Anschein erwecken möchte, die Banane sei ein Telefon (Leslie, 1987). Dazu müssen sie in der Lage sein, Repräsentationen über reale Ereignisse von mentalen Repräsentationen der Gedanken anderer abzukoppeln.

Zusammengefasst deuten die oben beschriebenen Befunde darauf hin, dass Kinder ab dem Alter von ca. 18 Monaten dazu fähig sind, kommunikative Gesten und Handlungen anderer Personen als Informationsquelle zu nutzen, um Schlussfolgerungen über mentale Zustände wie Intentionen und Wünsche zu ziehen (Baird & Astington, 2005).

1.1.4.2 Entwicklung der Wunschattriution

Im weiteren Entwicklungsverlauf weisen Kinder ab der zweiten Hälfte des zweiten Lebensjahres Kompetenzen auf, die zunehmend auf ein Verständnis von Wünschen in Form von mentalen Repräsentationen hindeuten. So gibt es Hinweise, dass Kinder bereits im Alter von zwei Jahren sich ihrer Ziele und zielgerichteten Handlungen zum Erreichen ihrer Ziele bewusst sind (Perner, 1991b). Viele Studien untersuchten das Wunschverständnis bei Kindern, indem getestet wurde, ob sie die emotionalen Konsequenzen bei der (Nicht-) Erfüllung von Wünschen verstehen (Hadwin & Perner, 1991; Perner, 1991b; Wellman & Banerjee, 1991; Yuill, 1984; Yuill, Perner, Pearson, Peerbhoy & van den Ende, J., 1996). Die Ergebnisse zeigen, dass bereits jüngere Kleinkinder um die Wirkung auf eine Person wissen (zufrieden/traurig), wenn Wünsche erfüllt oder aber nicht erfüllt

werden. Yuill (1984) untersuchte diese Fähigkeit mittels eines Paradigmas, bei dem sie Kindern Bildergeschichten präsentierte, in denen drei Figuren mit einem Ball spielten. Das Szenario machte deutlich, dass die Hauptperson den Wunsch hatte den Ball zu einer bestimmten Person zu werfen. Während in der „match“-Bedingung die gewünschte Person den Ball fing, wurde der Ball in der „mismatch“-Bedingung von einer dritten Person gefangen, was der Protagonist nicht beabsichtigte. Die Aufgabe der Versuchspersonen war anschließend zu beurteilen, ob die werfende Person zufrieden mit dem Ergebnis oder traurig über den Ausgang des Ballwurfs war (zitiert nach Perner, 1991b). Nicht nur den älteren Kindern, sondern bereits den Zwei- bis Dreijährigen gelang es, der werfenden Person mehr positive Gefühle zuzuschreiben, wenn deren Wunsch erfüllt wurde, als wenn ihr Wunsch unerfüllt blieb. Demzufolge begreifen Kinder, dass Emotionen variieren, je nachdem, ob eine gewünschte Situation in Wirklichkeit eingetreten ist oder nicht (für ähnliche Ergebnisse siehe Hadwin & Perner, 1991).

Auch Untersuchungen von Wellman und Woolley (1990) sprechen dafür, dass Kinder bereits ab einem Alter von zweieinhalb Jahren ein Verständnis darüber haben, dass sich die Erfüllung bzw. Nichterfüllung von Wünschen auf Emotionen auswirkt und dass das Verhalten anderer auf ihren Wünschen basiert. In einem ersten Experiment präsentierten sie Kindern im Alter von zwei bis drei Jahren hierfür Szenarien, in denen ein Protagonist den Wunsch hatte ein bestimmtes Objekt zu finden, jedoch nicht immer erfolgreich war. Beispielsweise möchte „Sam“ seinen Hasen finden, der sich versteckt hat. Da er ihn in der Schule seinen Freunden zeigen möchte, sucht er ihn im Folgenden an zwei möglichen Orten (Schuppen oder Garten). Sam findet anschließend entweder das gewünschte Tier („Finds-wanted“-Bedingung), stattdessen einen Hund („Finds-substitute“-Bedingung) oder aber er findet keines von beiden („Finds-nothing“-Bedingung). Die Kinder sollten zum einen die darauffolgende Handlung von Sam, zum anderen seinen emotionalen Zustand beurteilen. 69 % der Zweieinhalbjährigen war klar, dass der Protagonist nur dann den Weg zur Schule antreten wird, wenn er seinen Hasen gefunden hat. Hatte er nichts oder stattdessen einen Hund gefunden, verstanden sie, dass er weitersuchen wird, da er beabsichtigte, den Hasen seinen Mitschülern zu zeigen. Darüber hinaus konnten 72 % der Kinder korrekt vorhersagen, dass die Figur bei erfolgreicher Suche glücklich darüber sein wird, den Hasen gefunden zu haben, dagegen traurig sein wird, wenn sie nichts findet bzw. etwas anderes findet, das nicht ihrem Wunsch entspricht.

Die Fähigkeit von Kindern, bereits im Alter von 18 Monaten zu verstehen, dass eine Person andere Präferenzen haben kann als sie selbst, demonstrierten Repacholi und Gopnik (1997). Sie präsentierten den Kindern zwei Schüsseln, die mit Brokkoli bzw. mit Keksen gefüllt waren. Während die meisten Kinder die Kekse präferierten, zeigte sich der Versuchsleiter mimisch-verbal angetan vom Gemüse, jedoch geekelt von den Keksen. Als die Versuchspersonen anschließend dazu aufgefordert wurden, dem Versuchsleiter die von ihm bevorzugte Speise zu geben, reichte ihm die Mehrzahl der Kinder Brokkoli anstatt Kekse. Die Probanden nutzen die emotionalen Hinweisreize des Versuchsleiters als Informationsquelle und boten ihm meist das von ihm präferierte Nahrungsmittel an, auch wenn dieses nicht mit ihrer eigenen Präferenz übereinstimmte. Man kann demnach davon ausgehen, dass die Probanden verstanden, dass ihr eigener Wunsch von dem des Versuchsleiters abweichen konnte. Mittels einer Kontrollbedingung wurde ausgeschlossen, dass dieses Ergebnis auf egoistisches oder egozentrisches Verhalten der Kinder zurückzuführen ist. Dreijährige scheinen Wünsche somit als subjektive Relation zwischen Person und Situation bzw. Objekten zu verstehen und begreifen auch, dass eine Person ein Nahrungsmittel mag, während einer anderen dieses nicht schmeckt (für vergleichbare Ergebnisse siehe Flavell, Flavell, Green & Moses, 1990).

Die oben aufgeführten Befunde werden von manchen Autoren als Beleg für die frühe Entwicklung eines Wunschverständnisses, im Vergleich zu der sich später entwickelnden Fähigkeit der Überzeugungszuschreibung gesehen. Teilweise geben die Studien Hinweise darauf, dass Kinder in diesem Alter bereits die subjektive Natur von Wünschen und Absichten begreifen. Bis heute besteht jedoch eine lebhafteste Debatte bezüglich der Frage, ob Kleinkinder tatsächlich ein ausgereiftes subjektives Wunschkonzept vor der Entwicklung der Überzeugungsattribution besitzen. Im Folgenden werden Befunde dargestellt, die die Entwicklung eines repräsentationalen Verständnisses widerspiegeln.

1.1.4.3 Entwicklung eines subjektiv-repräsentationalen Wunschverständnisses

Die Befunde zur Entwicklung der Wunschattriution im vorangehenden Kapitel geben Hinweise darauf, dass Kinder bereits ab einem Alter von zwei bis drei Jahren über ein Konzept zur Erfassung einfacher Wünsche verfügen und dass sie Verhalten wunschbasiert vorhersagen können. Demzufolge ist es möglich, dass sie die subjektive Natur von Wünschen und Absichten erkennen und diese als repräsentationale mentale Zustände ver-

stehen. Im Gegensatz dazu postulieren verschiedene Autoren jedoch, dass Kinder mit einem Alter unter vier Jahren noch kein Wunschverständnis im Sinne subjektiver mentaler Repräsentationen besitzen, sondern die experimentellen Aufgaben auch mit Hilfe eines objektiven Wunschverständnisses lösen können (Perner, 1991b; Perner et al., 2005; Sodian & Thoermer, 2006). Nimmt man an, dass die 18 Monate alten Versuchspersonen in der Studie von Repacholi und Gopnik (1997) beispielweise nicht ein und dieselbe Situation aus zwei verschiedenen Perspektiven, sondern zwei separate Situationen betrachteten, ist keine subjektive Perspektivenübernahme erforderlich. Dieser Argumentation zufolge bewerten die Probanden eine Situation („Brokkoli im Mund des Versuchsleiters ist gut.“) als wünschenswert, während die andere Situation („Brokkoli in meinem Mund ist schlecht.“) als unerwünscht beurteilt wird. Die Wünsche werden dabei weiterhin als objektive Merkmale einer Situation begriffen, ohne dass ein Konflikt entsteht, bei dem dieselbe Situation aus zwei unterschiedlichen Perspektiven evaluiert werden muss (Rakoczy et al., 2007). Darüber hinaus ist es möglich, dass Kinder bei der Zuschreibung von Präferenzen für bestimmte Nahrungsmittel wie in den Studien von Flavell et al. (1990) bzw. Repacholi und Gopnik (1997), die aus ihrer Sicht unübliche Reaktion der Erwachsenen (z.B. Brokkoli Keksen vorzuziehen) als Form des Symbolspiels auffassen. In diesem Fall könnten Kinder davon ausgehen, der Erwachsene gebe nur vor, die Kekse nicht zu mögen; unabhängig davon werden die Kekse aber weiterhin als wünschenswert repräsentiert.

Rakoczy und Kollegen postulieren, dass man nur dann von einem ausgereiften Wunschkonzept im Sinne mentaler Repräsentationen ausgehen kann, wenn Wünsche richtig zugeschrieben werden, obwohl zwischen ihnen ein Konflikt besteht. Demzufolge erfordert ein valider Test zur Untersuchung eines subjektiv-repräsentationalen Verständnisses von mentalen Zuständen, diskrepante Wünsche, die sich auf die gleiche Situation beziehen und die in Bezug auf diese Situation das Merkmal der Inkompatibilität aufweisen (Rakoczy et al., 2007). Haben zwei Personen unterschiedliche Wünsche, so sind diese inkompatibel, wenn nur ein Wunsch erfüllt werden kann und sich die Wünsche gegenseitig ausschließen. Gelingt es Kindern in diesem Kontext, das Verhalten anderer wunschbasiert vorherzusagen, sind sie sich der Subjektivität der Wünsche bewusst und fassen diese als internale Zustände auf, die von Person zu Person variieren. Um diese Hypothese zu untersuchen, konstruierten die Autoren ein Versuchsdesign mit konfligierenden Wünschen (Rakoczy, 2010; Rakoczy et al., 2007). Sie vermuteten, dass die Zuschreibung von

konkurrierenden Wünschen ähnlich hohe kognitive Anforderungen stellt wie die Attribution falscher Überzeugungen, da in beiden Fällen mental ein Perspektivenkonflikt verarbeitet werden muss. Gestützt wird diese Hypothese durch Befunde einer Studie von Moore et al. (1995), in der die Probanden und eine Spielfigur unterschiedliche Präferenzen für zwei Sticker mit ungleichem (*preference*-Bedingung) oder gleichem Anreiz (*non-preference*-Bedingung) entwickelten. Als sie beurteilen sollten, welchen Sticker die Geschichtenfigur bevorzugen wird, zeigte sich, dass Drei- bis Vierjährige, nicht aber fünfjährige Kinder Schwierigkeiten bei der Zuschreibung von Wünschen hatten, wenn diese mit ihrem eigenen Wunsch im Konflikt standen. Diskrepante Wünsche, die keinen starken Konflikt auslösten, konnten sie dagegen korrekt zuschreiben. In einem zweiten Experiment nahmen die Kinder an einem wettbewerbsorientierten Puzzlespiel teil, bei dem die Spieler voneinander abweichende Wünsche entwickelten und ihr Puzzle nur dann vervollständigen konnten, wenn sie von einem Stapel, die richtige Karte zogen. Auch hierbei hatten die Dreijährigen große Schwierigkeiten korrekt wiederzugeben, welche Karte sie bzw. ihr Gegner sich wünschten, um das Spiel zu gewinnen, insbesondere dann, wenn ihr eigener Wunsch im Konflikt mit dem des Anderen stand.

Demgegenüber stehen die Ergebnisse der Studie von Rakoczy et al. (2007), bei der den Versuchspersonen Szenarien mit inkompatiblen Wünschen präsentiert wurden. Die Geschichten handelten von zwei Spielfiguren (Susi und Tom), die auf einem Fluss entweder gemeinsam im gleichen Boot (inkompatible Bedingung) oder in zwei verschiedenen Booten (kompatible Bedingung) saßen. Während sich Tom wünschte, dass das Boot zu einem Baum am gegenüberliegenden Ufer fahren sollte, wollte Susi das Haus an einer anderen Uferseite erreichen. Von den konkurrierenden Wünschen der Spielfiguren konnte nur ein Wunsch erfüllt werden. Um zu überprüfen, welchen Einfluss die persönliche Involviertheit auf die Fähigkeit der Wunschattription bei Kleinkindern hat, entwickelten Rakoczy et al. (2007) in einem zweiten Experiment eine Aufgabe, in der die Kinder aktiv in ein Spiel mit konkurrierenden Wünschen eingebunden wurden. Das Paradigma stellte ein Murnelspiel dar, bei dem das Kind gegen die Spielfigur „Rudi“ um einen von zwei Stickern spielte. Die Murnel rollte eine Apparatur herunter, wodurch einer der Sticker ausgewählt wurde, d. h. nur ein Spieler erhielt den gewünschten Sticker. Zuvor wurde in einer vom Versuchsleiter inszenierten Auseinandersetzung sichergestellt, dass die Kinder einen anderen Sticker präferierten als die Spielfigur. Sowohl im ersten als auch im zweiten Experiment schrieben die Dreijährigen den Spielfiguren kompatible

und inkompatible Wünsche korrekt zu, unabhängig davon, ob die Kinder in das Paradigma aktiv involviert waren, d. h. selbst einen Wunsch hatten, oder lediglich dazu aufgefordert wurden, die Wünsche anderer zu beschreiben. An der vergleichsweise durchgeführten klassischen False-Belief-Aufgabe nach Wimmer und Perner (1983) scheiterten die Kinder jedoch, was darauf hinweist, dass Dreijährige zwar inkompatible Wünsche, nicht aber falsche Überzeugungen verstehen. Als Erklärung für diesen asymmetrischen Entwicklungsverlauf der *belief-desire-psychology* werden qualitative Unterschiede der repräsentationalen Eigenschaften zwischen Überzeugungen und Wünschen herangezogen. Das Verstehen von Überzeugungen stellt möglicherweise höhere repräsentationale Anforderungen, da man geistig aufrechterhalten muss wie andere Menschen die Realität repräsentieren, unabhängig davon, ob diese Überzeugung der Wirklichkeit entspricht. Wünsche dagegen stellen keine Repräsentationen der Realität dar und müssen deshalb auch nicht von der Wirklichkeit entkoppelt aufrechterhalten werden (Moore et al., 1995).

Zudem weisen Überzeugungen eine andere logisch-normative Struktur auf als Wünsche (Rakoczy et al., 2007). Während Überzeugungen eine „mind-to-world-direction of fit“ besitzen, liegt bei Wünschen eine „world-to-mind-direction of fit“ vor (Searle, 1983). Das bedeutet, dass Überzeugungen auf die Realität ausgerichtet sind und der Evaluationsprozess demnach von der mentalen Repräsentation in Richtung des realen Zustands verläuft. Möchte man überprüfen, ob die Überzeugung korrekt ist, findet also ein Abgleich mit der Wirklichkeit statt. Wenn der mentale Zustand nicht mit der Realität übereinstimmt, muss die Überzeugung verändert werden. Wünsche dagegen verfolgen das Ziel, die Wirklichkeit gemäß dem Inhalt des Wunsches zu formen, sie sind jedoch keine Repräsentationen der Realität und können demzufolge auch nicht als richtig oder falsch beurteilt werden. Stellt sich heraus, dass der Wunsch einer Person nicht mit der Wirklichkeit übereinstimmt, so kann diese Person den Wunsch dennoch weiterhin haben, ohne ihn aufgeben zu müssen (Rakoczy, 2010).

Eine weitere Erklärung, die für den asymmetrischen Entwicklungsverlauf herangezogen werden kann, ist nach Ansicht verschiedener Autoren (Moore et al., 1995; Rakoczy et al., 2007), dass die Zuschreibung von Überzeugungen ein höheres Maß an exekutiven Funktionen benötigt als die Wunschattribuierung. Rakoczy (2010) überprüfte diese Hypothese in einem Experiment mit drei- bis vierjährigen Kindern und präsentierte ihnen das sogenannte Murmelspiel, das bereits in der Vorgängerstudie angewandt wurde. Zusätzlich wurde eine Bedingung realisiert, in der die Versuchsperson lediglich beobachtete wie

zwei Spielfiguren gegeneinander spielten (3. Person-Perspektive). Zwar meisterten die Probanden auch in dieser Studie die Wunschzuschreibung deutlich besser als die False-Belief-Aufgabe, jedoch zeigten sich nicht nur Korrelationen zwischen der Leistung bei exekutiven Funktionen und dem Verstehen falscher Überzeugungen, sondern es ergab sich auch ein Zusammenhang zwischen der Inhibitionsfähigkeit und der Zuschreibung konfligierender Wünsche.

Da die uneinheitlichen entwicklungspsychologischen Befunde sowohl die Annahme eines symmetrischen Entwicklungsverlaufs der Wunsch- und Überzeugungsattribution, als auch einen asymmetrischen Alterstrend stützen, hält die Kontroverse über den Beginn von metarepräsentationalen Fähigkeiten bei Kindern weiterhin an. Eine eindeutige Aussage über das Alter der Entstehung eines subjektiven, repräsentationalen Wunschkonzepts lässt die aktuelle Forschungslage bislang nicht zu.

1.1.5 Erklärungstheorien

Verschiedene Theorien befassen sich mit der Fragestellung, auf welche Art und Weise der Erwerb und die Entwicklung der ToM bei Kindern zwischen drei und fünf Jahren vonstattengeht. Harris (1992) postuliert in seiner „Simulations-Theorie“ (ST), dass wir uns das Verhalten anderer Personen erschließen, indem wir unsere eigenen Erfahrungen in Betracht ziehen. Das bedeutet, dass wir die mentalen Zustände anderer Personen simulieren und uns im Rahmen dieses Simulationsprozesses in das psychische Geschehen der anderen Person hineinversetzen. Dazu stellen wir uns vor, was man selbst in einer spezifischen Situation denken oder fühlen würde, bevor wir diese simulierten mentalen Prozesse auf den anderen übertragen. Handlungsvorhersagen beruhen somit auf dem eigenen Denken, das dadurch zum Modell für die mentalen Vorgänge anderer wird (Doherty, 2009). Somit setzt die ST die Fähigkeit des „Sich-Hineinversetzen“ in die Gefühle und Gedanken anderer basierend auf dem eigenen Erleben voraus und erfordert, dass man unmittelbaren Zugang zu den eigenen mentalen Zuständen besitzt.

Vertreter der „Theorie-Theorie“ (TT) dagegen gehen von einem begrifflichen Wissenssystem aus, das im Laufe der Entwicklung konzeptionelle Veränderungen vollzieht und zwar von einer nicht-repräsentationalen Auffassung hin zu einem repräsentationalen Verständnis mentaler Zustände (Perner, 1991b; Sodian & Thoermer, 2006). Während die intuitive Verhaltenstheorie von Säuglingen noch wenig ausgereift ist (sogenannte *pri-*

mary representations), entwickelt sich im zweiten Lebensjahr ein fortgeschrittenes Konzept der mentalen Repräsentation (*secondary representations*), bevor ungefähr im Alter von vier Jahren propositionale Einstellungen individuell evaluiert werden können, also ein metarepräsentationales Verständnis einsetzt (Doherty, 2009). Jeder Mensch besitzt demnach eine Theorie über die mentalen Vorgänge anderer, d. h. eine sogenannte „Volkspsychologie“, die in der kindlichen Entwicklung durch Erfahrungen und den zunehmenden Erwerb sozialer Informationen entsteht und kontinuierlich elaboriert wird. Schlussfolgerungen über die eigenen und fremden mentalen Zustände sind mit Hilfe dieses begrifflichen Wissens möglich, das in die Theorie eingebettet ist und auf Regeln basiert. Diese Axiome werden genutzt, um Handlungsvorhersagen zu treffen und die Welt vorhersagbar zu machen.

Befürworter von Modularitätstheorien haben die Ansicht, dass die ToM-Fähigkeit auf einem spezialisierten Modul beruht, das aus einem angeborenen neuronalen Netzwerk besteht und mit fortschreitender neurologischer Reifung zunehmend Funktionen übernimmt, die für den Mentalisierungsprozess notwendig sind. Leslie (1994) zufolge gibt es drei modulare Mechanismen, welche die aufeinanderfolgenden Entwicklungsschritte zur Repräsentation mentaler Zustände bedingen. In der ersten Hälfte des ersten Lebensjahres ermöglicht der Theory of Body- Mechanismus (ToBy) eine Unterscheidung zwischen Agenten und Nicht-Agenten. Gegen Ende des ersten Lebensjahres setzt dann ein erster ToM-Mechanismus (ToMM1) ein, mit dessen Hilfe intentionale Agenten repräsentiert werden können, bevor mit ca. 18 Monaten ein zweiter ToM-Mechanismus (ToMM2) die Entwicklung metarepräsentationaler Fähigkeiten unterstützt. Leslie und Polizzi (1998) postulieren, dass ein metarepräsentationales Konzept schon vorhanden ist, bevor experimentelle Aufgaben z. B. zur Überzeugungsattribution gelöst werden. Die Leistungsdiscrepanzen zwischen Erwachsenen und Kindern werden also nicht auf konzeptuelle Unterschiede, sondern auf Performanzdefizite zurückgeführt. Sie gehen davon aus, dass ToM-Aufgaben neben der Fähigkeit zur Mentalisierung weitere kognitive Kompetenzen erfordern, wie z. B. eine selektive Informationsverarbeitung sowie inhibitorische Kontrolle zur Hemmung konkurrierender kognitiver Inhalte. Da Kinder in diesem Alter noch nicht über entsprechende Kapazitäten verfügen, scheitern sie an ToM-Aufgaben, obwohl sie prinzipiell die zur Lösung der Aufgabe erforderliche Mentalisierungsfähigkeit besitzen (Leslie et al., 2004; Leslie, German & Polizzi, 2005).

Um abschließend zu bewerten, welche der oben genannten Theorien den Entwicklungsverlauf am besten abbildet, ist es sinnvoll zu betrachten, inwiefern diese Theorien mit den bisherigen entwicklungspsychologischen Befunden übereinstimmen. Zwar erhalten sowohl die TT als auch die ST empirische Unterstützung durch entwicklungspsychologische Befunde, jedoch machen sie unterschiedliche Vorhersagen bezüglich der Abfolge des Entwicklungsverlaufes (Sodian & Thoermer, 2006). Während die TT postuliert, dass Kinder etwa im gleichen Entwicklungsalter ein Verständnis der eigenen und fremden mentalen Zustände aufweisen, nimmt die ST an, dass Kinder zuerst Zugang zum eigenen mentalen Geschehen bekommen, bevor sie sich in andere Personen hineinversetzen können. Die Studienergebnisse in diesem Zusammenhang sprechen eher für die TT, da sie darauf hindeuten, dass Kinder eigene und fremde mentale Zustände zeitgleich konzeptualisieren (Gopnik & Wellman, 1994). Für die ST spricht zum einen die Beobachtung, dass Kleinkinder spontan Gesichtsausdrücke nachahmen (z.B. Meltzoff & Moore, 1977), zum anderen die Existenz sogenannter Spiegelneuronen. Letztere bilden ein System aus Nervenzellen, die nicht nur bei der Ausführung von zielgerichteten Bewegungen feuern, sondern auch bei der bloßen Beobachtung dieser Handlungen aktiv sind (Iacoboni et al., 2005; Rizzolatti & Craighero, 2004). Nach anhaltenden Diskussionen darüber, ob die TT oder die ST die geeignetere Erklärungstheorie darstellt, herrscht inzwischen Einigkeit diesbezüglich, dass Elemente aus beiden Theorien eine wichtige Rolle spielen, d. h. eine Art Mischung aus beiden Ansätzen am wahrscheinlichsten ist (Nichols & Stich, 2003). Während die TT am besten die Befunde zur Entwicklung der ToM beschreibt, scheint die ST plausible Vorhersagen bezüglich Emotionen zu treffen (Perner, 1991b). Als Argument für die Modularitätstheorie gilt nicht nur die Tatsache, dass die ToM-Entwicklung universal und kulturunabhängig verläuft, sondern auch das Vorliegen eines spezifischen ToM-Defizit bei Autisten bei ansonsten erhaltenen intellektuellen Fähigkeiten (Leslie & Thaiss, 1992).

Zusammengefasst vertreten die oben beschriebenen Theorien allesamt einen vielversprechenden Standpunkt. Möglich ist, dass ein Zusammenspiel von Bestandteilen einzelner Theorien die Entwicklung der ToM begründet. Dabei ist ein spezialisiertes ToM-System denkbar, das in Form einer Theorie soziale Kognitionsprozesse ermöglicht, welche durch Simulationsvorgänge unterstützt werden (Doherty, 2009).

1.1.6 Neuronale Korrelate der ToM

Die Etablierung der funktionellen Bildgebung in den 90er Jahren eröffnete neue Möglichkeiten für die Erforschung der ToM. Während man sich bisher vor allem auf die entwicklungspsychologischen Aspekte der Mentalisierungsfähigkeit konzentrierte, rückten nun zusehends die Grundlagen neuronaler Mechanismen bei der Zuschreibung mentaler Zustände in den Mittelpunkt des Interesses. Mit der Entstehung der sozial-kognitiven Neurowissenschaften wurde ein neuer Forschungszweig geschaffen, welcher die neuronale Basis der ToM-Fähigkeit untersuchte. Schwerpunkt dieser Forschungsdisziplin ist bis heute die Untersuchung der Überzeugungsattribution. Hingegen gibt es bislang nur wenige Studien, die sich mit den neuronalen Korrelaten der Wunschattri- bution auseinandersetzen. Im folgenden Abschnitt erfolgt deswegen zunächst ein Überblick über die neuronale Basis der Überzeugungsattribution, bevor umfassend auf den aktuellen neurowissenschaftlichen Forschungsstand der Intentions- und Wunschattri- bution eingegangen wird.

1.1.6.1 Überzeugungsattribution

Neurowissenschaftliche Studien zur ToM konzentrierten sich von Anfang an darauf, Gehirnregionen zu identifizieren, die mit der Attribution von Überzeugungen im Zusammenhang stehen. Angestoßen wurde die Erforschung der neuronalen Grundlagen der Überzeugungsattribution durch Studien mit Autisten, die ein selektives Defizit bei der Zuschreibung mentaler Zustände zeigen und im Vergleich zu normal entwickelten Kindern signifikant häufiger an False-Belief-Aufgaben scheitern (Baron-Cohen et al., 1985). Der Entschlüsselung der neuronalen Basis der Mentalisierungsfähigkeit fiel somit eine wichtige Bedeutung zu, auch um Erklärungen für das ToM-Defizit bei Menschen mit Autismus zu finden.

Übereinstimmend zeigten sich weitgehend konsistente Aktivierungsmuster für die Inferenz mentaler Zustände von anderen Personen. Dieses sogenannte neuronale Netzwerk der ToM umfasst die temporal-parietale Übergangsregion (TPJ), den medialen präfrontalen Kortex mit Anteilen des parazingulären Kortex, das posteriore Cingulum und die Temporalpole (Frith & Frith, 2003; Frith & Frith, 2006; Gallagher et al., 2000; Gallagher & Frith, 2003; Saxe & Powell, 2006; Van Overwalle, 2009). Dabei setzten sich verschiedene neurowissenschaftliche Studien insbesondere mit der Frage auseinander, welche

dieser Gehirnregionen ein spezialisiertes neuronales Substrat darstellt. Hierzu wurden zunächst zwei grundlegende Kriterien definiert, die von Gehirnregionen erfüllt werden sollten, um als neuronales Korrelat der Überzeugungsattribution zu gelten (Saxe, Carey & Kanwisher, 2004; Saxe & Kanwisher, 2003). Zum einen sollte ein solches Gehirnareal generell eine erhöhte funktionelle Aktivität bei Reizen zeigen, die die Zuschreibung von Überzeugungen erfordern. Das bedeutet, dass signifikante Mehraktivierungen nicht nur bei Aufgaben auftreten sollten, die die Attribution von falschen Überzeugungen implizieren, sondern auch wenn wahre Überzeugungen erschlossen werden müssen (Generalitätskriterium). Stimuli, die ähnlich logisch aufgebaut sind, aber keine Zuschreibung von Überzeugungen verlangen, sollten in diesem Areal jedoch keine signifikante Aktivierung zur Folge haben. Zum anderen wird vorausgesetzt, dass die funktionelle Aktivität dieser Gehirnregion spezifisch mit der Attribution mentaler Zustände im Zusammenhang steht und nicht durch die bloße Anwesenheit einer Person, das Vorhandensein anderer sozialer Stimuli oder durch nicht-mentale bzw. falsche Repräsentationen hervorgerufen wird (Spezifitäts-Kriterium).

Evidenzen für die Erfüllung dieser Kriterien liefern insbesondere zwei Gehirnareale: der mediale Präfrontalkortex (MPFC) mit Anteilen des parazingulären Kortex und die temporal-parietale Übergangsregion (temporo-parietal junction; TPJ) einschließlich Bereichen des superioren temporalen Sulcus (STS). Dabei dominierte die Forschung lange Zeit eine Kontroverse, welche dieser beiden Gehirnregionen als das entscheidende neuronale Korrelat für die ToM-Fähigkeit angesehen werden kann. Auf der einen Seite sprechen viele Autoren dem MPFC eine zentrale Funktion zu (Fletcher et al., 1995; Frith & Frith, 2003; Gallagher et al., 2000; Gallagher, Jack, Roepstorff & Frith, 2002), auf der anderen Seite sehen einige Autoren die TPJ als kritisches ToM-Areal (Saxe, Carey et al., 2004; Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe & Powell, 2006).

Bei der Erforschung der neuronalen Basis der ToM folgten viele Studien der Tradition entwicklungspsychologischer Experimente und verwendeten überwiegend verbale wie non-verbale False-Belief-Geschichten oder Cartoons, die mentale Zuschreibungen erforderten. Ältere Studien verglichen die mit diesen Aufgaben assoziierte Hirnaktivität zusätzlich mit Geschichten über physikalische Ereignisse oder mit unzusammenhängenden Sätzen als Kontrollbedingung. Dabei ergaben sich signifikante Mehraktivierungen in Bereichen des ToM-Netzwerks, jedoch war nur die Aktivierung des MPFC spezifisch für

die ToM-Geschichten, sodass dieser Gehirnregion eine wichtige Rolle im Mentalisierungsprozess zugeschrieben wurde (Fletcher et al., 1995; Gallagher et al., 2000). Da die TPJ hingegen sowohl in ToM- als auch in den Kontrollgeschichten rekrutiert wurde, schloss man daraus, dass sie nicht selektiv an der ToM beteiligt sein kann. Diese Studien wurden jedoch bezüglich ihrer methodischen Vorgehensweise kritisiert. So vermuteten beispielweise Saxe und Kanwisher (2003), dass auch in den Kontrollbedingungen der oben genannten Studien mentale Attributionsprozesse in Gang gesetzt wurden, wodurch die erhöhte Aktivität der TPJ in der ToM-Bedingung infolge der Kontrastierungsmethode nicht sichtbar wurde. Neuere Studien begegneten diesen methodischen Mängeln und verwendeten sorgfältiger kontrolliertes Stimulusmaterial (Aichhorn et al., 2009, Döhnelt et al., 2012, 2012; Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe & Powell, 2006; Schuwerk et al., 2013; Sommer, Döhnelt, Sodian et al., 2007). Häufig wurden *false photograph stories* (veraltete Fotografien) als Kontrollbedingung verwendet, um das Spezifitätskriterium zu überprüfen. So wurde von den Versuchspersonen gefordert, kausale Schlussfolgerungen basierend auf nicht beobachtbaren Geschehnissen zu treffen, während gleichzeitig eine falsche Repräsentation einer physikalischen Entität (z. B. einem Foto) verarbeitet werden musste (Saxe, Carey et al., 2004). In Untersuchungen der Forschergruppen um Saxe (Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe & Powell, 2006; Saxe & Wexler, 2005) und Perner (Aichhorn et al., 2009; Perner, Aichhorn, Kronbichler, Staffen & Ladurner, 2006) zeigten nicht nur der MPFC, sondern auch die TPJ eine stärkere funktionelle Antwort auf mentale als auf physikalische Repräsentationen.

Auch Döhnelt et al. (2012) realisierten ein feineres Kontrastierungsvorgehen, indem sie innerhalb eines kontrollierten Versuchsdesigns parallel die Attribution wahrer und falscher Überzeugungen untersuchten. Die Zuschreibung beider Arten von Überzeugungen führte zu einer erhöhten funktionellen Aktivität in der TPJ, während der MPFC nur für die Attribution falscher Überzeugungen eine signifikante Mehraktivierung zeigte. Aus diesem Grund wurde die MPFC-Mehraktivierung mit dem sogenannten Decoupling-Prozess bei der Verarbeitung mentaler Repräsentationen in Verbindung gebracht. Dieser Decoupling-Prozess greift sobald ein Perspektivenunterschied entsteht, um die falsche Überzeugung von der Realität entkoppelt zu repräsentieren.

Eine domänenübergreifende Sichtweise zur Rolle des MPFC beim ToM-Reasoning teilen auch andere Forscher, die davon ausgehen, dass der MPFC in höhere kognitive

Prozesse involviert ist, die bei ToM-Aufgaben erfordert werden (Sommer, Döhnel, Schuwerk & Hajak, 2007; Van Overwalle, 2009). Demnach unterstützt der MPFC die Bewältigung des Konflikts, der durch konkurrierende mentale Repräsentationen entsteht, indem er die irrelevante mentale Repräsentation inhibiert (für eine ähnliche Interpretation siehe Rothmayr et al., 2011). Ebenso existieren bezüglich der Funktion der TPJ im ToM-Netzwerk Erklärungen im Sinne domänenübergreifender Prozesse, auf die genauer in Kapitel 1.2.3.1 eingegangen wird (Corbetta, Patel & Shulman, 2008; Decety & Lamm, 2007).

Mit dem Ziel herauszufinden, ob der MPFC primär für die Lösung eines Antwortkonflikts bei der Überzeugungszuschreibung oder eher für die Verarbeitung divergenter Überzeugungen zuständig ist, untersuchten Schuwerk et al. (2013) in einer eleganten, videobasierten FB-Aufgabe die funktionelle Aktivität getrennt für zwei Phasen: während 1) der Verarbeitung inkongruenter Überzeugungen sowie 2) der anschließenden Antwortselektion. Da der posteriore MPFC nur in der Verarbeitungsphase rekrutiert wurde, d. h. zu einem Zeitpunkt an dem noch kein Selektionsprozess stattfinden konnte, schlussfolgerten die Autoren, dass dieses Gehirnareal nicht an der Lösung des Antwortkonflikts, sondern primär an der Verarbeitung inkongruenter mentaler Zustände im Rahmen des Decoupling-Prozesses beteiligt ist. Die erhöhte funktionelle Aktivität des temporal-parietalen Kortex während der Verarbeitungsphase assoziieren Schuwerk et al. (2013) mit der Bildung und Anpassung von divergenten mentalen Modellen, indem relevante Umweltinformationen enkodiert werden. Während der Selektionsphase scheint der rechte temporal-parietale Kortex den Wechsel zwischen mentalen Modellen und die Aktualisierung des zuvor enkodierten mentalen Zustands von anderen zu ermöglichen, um die richtige Antwort zu wählen.

1.1.6.2 Intentions- und Wunschattriution

Da über die neuronale Basis der Wunschattriution deutlich weniger Studien existieren, ist bisher kaum untersucht, ob die Zuschreibung von Wünschen die gleichen Gehirnregionen rekrutiert wie die Zuschreibung von Überzeugungen oder ob diese Konzepte auf distinkten neuronalen Korrelaten beruhen. Befunde aus der Entwicklungspsychologie lassen vermuten, dass sich die Fähigkeit, Wünsche zuzuschreiben vor der Überzeugungsattriution entwickelt. Geht man davon aus, dass die Wunschattriution die gleichen neuronalen Substrate beansprucht und sich diese im Laufe der ToM-Entwicklung zunehmend

ausdifferenzieren, sollten auch bei der Wunschattribution die im vorherigen Kapitel beschriebenen Gehirnareale des neuronalen ToM-Netzwerks aktiviert werden. Basiert die Wunschattribution jedoch auf anderen kognitiven Funktionen, müsste die Zuschreibung von Wünschen ein Netzwerk von Gehirnregionen rekrutieren, das sich von der neuronalen Basis der Überzeugungsattribution abgrenzen lässt (Saxe, Carey et al., 2004). Da die Wunschattribution große konzeptuelle Überschneidungen mit der Intensionsattribution zeigt, wird in der Forschungsliteratur nicht eindeutig zwischen diesen beiden Fähigkeiten getrennt. Bisher bezieht sich der überwiegende Anteil von Studien auf das Intensionskonzept, das eng verwandt ist mit der Zuschreibung von Wünschen. Aus diesem Grund wird im vorliegenden Kapitel neben der neuronalen Basis der Wunschattribution auch auf Forschungsbefunde zur Intensionsattribution eingegangen.

Saxe und Carey et al. (2004) kategorisieren drei unterschiedliche Arten von Paradigmen mit dessen Hilfe die Attribution von Wünschen und von Intentionen untersucht wurde: 1) Vignetten und Cartoons in Anlehnung an Stimuli, die auch in Studien zur Überzeugungsattribution verwendet wurden, 2) wettbewerbsbasierte Spiele, die Intentionen bei Agenten implizieren und 3) Videos bzw. Animationen, die zielgerichtete Handlungen beinhalten.

Studien, die als Stimulusmaterial Vignetten mit Kurzgeschichten oder Cartoons verwendeten, deuten auf die Involvierung von Gehirnregionen hin, die den neuronalen Korrelaten der Überzeugungsattribution ähneln. Übereinstimmend ergab sich, dass auch die Zuschreibung von Intentionen bzw. Wünschen Bereiche des MPFC und des temporal-parietalen Kortex mit Teilen des STS rekrutiert, jedoch sind diese Mehraktivierungen im Vergleich zur Überzeugungsattribution weniger stark ausgeprägt (Abraham, Rakoczy, Werning, von-Cramon & Schubotz, 2010; Fletcher et al., 1995; Gallagher et al., 2000; Saxe & Kanwisher, 2003).

In einer der ersten PET (Positronen-Emissions-Tomographie)- Studien zur Attribution von Intentionen verwendeten Brunet, Sarfati, Hardy-Baylé und Decety (2000) nonverbale Aufgaben mit Bildergeschichten. In der Testbedingung wurde den Probanden ein Comicstrip präsentiert und sie sollten die Intention der darin dargestellten Person (z. B. ein Gefangener möchte aus der Gefängniszelle fliehen) erschließen. Die funktionelle Aktivität dieser Experimentalbedingung wurde mit den neuronalen Aktivierungen in Kontrollbedingungen verglichen, die physikalische Kausalitäten mit menschlicher Beteiligung (z. B. eine große Kugel rollt auf eine Frau zu und bringt sie zu Fall) oder physikalische

Vorgänge ohne menschliche Involvierung (z. B. fallende Dominosteine) beinhalteten. Die Intentionsattribution führte zu signifikanten Mehraktivierungen im rechten MPFC (Brodmann Areal, BA, 9) einschließlich des anterioren Cingulum (bilateral), im rechten inferioren Frontalkortex (BA 47), im linken superioren Temporalkortex (BA 38) sowie im rechten inferioren und bilateralen mittleren temporalen Gyrus (BA 20/21).

Eine der wenigen Studien, die auch bei der Verarbeitung von Wünschen eine erhöhte funktionelle Aktivität in der TPJ finden konnte, stammt von Saxe und Wexler (2005). Sie präsentierten den Probanden Vignetten mit Wünschen verschiedener Charaktere und untersuchten funktionelle Aktivierungsmuster der Wunschattriution in Abhängigkeit von variierenden sozialen Hintergrundinformationen. Vier Gehirnregionen des ToM-Netzwerks – die rechte und linke TPJ, der MPFC und das posteriore Cingulum – wiesen signifikante Mehraktivierungen auf, wobei nur die rechte TPJ ein selektives Aktivierungsmuster für die Attribution mentaler Zustände zeigte, verglichen mit der Verarbeitung anderer sozial relevanter Fakten über eine Person.

Auch die Verarbeitung natürlicher Bildszenen von sozialen Interaktionen, die entweder kooperative (z. B. zwei Kinder helfen sich auf einen Baum zu klettern) oder affektive Intentionen beinhalten (z. B. ein Kind schenkt seiner Mutter eine Blume), erhöht die funktionelle Aktivität in Gehirnarealen des ToM-Netzwerks erwachsener Probanden (Canessa et al., 2012). Bei der Beobachtung kooperativer Handlungsziele wurden bilaterale Bereiche des okzipital-temporalen Kortex, des okzipital-parietalen Kortex, des inferioren sowie superioren Parietalkortex und des lateralen präfrontalen Kortex (einschließlich des inferioren sowie mittleren Frontalkortex und des präzentralen Gyrus) rekrutiert. Die Betrachtung affektiver Handlungsziele dagegen führte lediglich zu einer Aktivierung im ventromedialen Präfrontalkortex, die sich bis ins anteriore Cingulum erstreckte. Überlappende Aktivierungsmuster beider Bedingungen zeigten sich insbesondere in der rechten TPJ.

Dass der anteriore parazinguläre Kortex als Teil des MPFC eine bedeutende Rolle für die Attribution von Intentionen bzw. Handlungszielen spielt, ergab außerdem eine PET-Studie von Gallagher et al. (2002) mittels einer computergesteuerten Variante des Spiels „Schere, Stein, Papier“. Während die Probanden in der Kontrollbedingung gegen den Computer antraten, ließ man sie in der Mentalisierungsbedingung in dem Glauben gegen einen anderen Menschen zu spielen, obwohl ihnen tatsächlich in beiden Bedingungen

eine randomisierte Computersequenz dargeboten wurde. Da sich nur in der ToM-Bedingung eine signifikante Mehraktivierung im bilateralen anterioren Cingulum (anterior cingulate cortex, ACC) ergab, gingen die Autoren davon aus, dass diese Hirnregion dann selektiv rekrutiert wird, wenn auf intentionale Einstellungen („intentional stance“) bei Menschen geschlossen werden muss (McCabe, Houser, Ryan, Smith & Trouard, 2001).

Die dritte Methode zur Untersuchung des Verständnisses von Wünschen und Intentionen wurde angeregt durch den klassischen Befund von Heider und Simmel (1944), wonach die Bewegungsmuster einfacher geometrischer Formen die Attribution von Intentionen und Überzeugungen auslösen können. Diese Erkenntnis machten sich Neurowissenschaftler zu Nutze, indem sie Videos und Animationen konstruierten, die zielgerichtete und intentionale Handlungen darstellen (Castelli, Happé, Frith & Frith, 2000; Gobbi, Koralek, Bryan, Montgomery & Haxby, 2007; Osaka, Ikeda & Osaka, 2012; Tavares, Lawrence & Barnard, 2008).

So demonstrierten beispielweise Castelli et al. (2000) in einer PET-Studie, dass auch die komplexen Bewegungsmuster von nicht-menschlichen, interagierenden Objekten zur Wahrnehmung und Interpretation von Intentionen führen und charakteristische neuronale Aktivierungsmuster hervorrufen. Hierzu präsentierten sie den Probanden mittels computer-gestützter Animationen die Interaktionen einfacher geometrischer Formen (zwei Dreiecke), bei denen ein Dreieck das andere z. B. überraschte oder täuschte (ToM-Bedingung), beide zielgerichtet interagierten (*goal-directed*-Bedingung, z. B. tanzen, sich jagen) oder sich zufällig bewegten (*random movements*, z. B. driften). Die ToM-Bedingung erzeugte signifikante Mehraktivierungen im MPFC, in der TPJ (am Ende des STS), im temporalen Kortex (einschließlich des fusiformen Gyrus und der Temporalpole angrenzend an die Amygdala) und im okzipitalen Kortex. Diese Regionen bilden den Autoren zufolge ein Netzwerk für die Verarbeitung von Intentionen. Außerdem schlussfolgerten Castelli et al. (2000), dass die Fähigkeit, Handlungen anderer aus deren Bewegungen visuell wahrzunehmen und zu erschließen, eine Voraussetzung ist für die Entwicklung der Fähigkeit, anderen mentale Zustände zuzuschreiben.

Vergleichbare Ergebnisse erzielten Osaka et al. (2012) mit ähnlichen Animationen von geometrischen Formen, deren Bewegungen bezüglich der dargestellten intentionalen Tendenz variierten. Entweder interagierten die Formen auf eine Weise mit hohem intentionalen Charakter (high-intention z. B. kämpfen) oder die Formen zeigten wenig Inter-

aktion (*low-intention* z. B. nicht zusammenhängende Bewegungen). Während der Betrachtung von Animationen mit ausgeprägten intentionalen Eigenschaften wurden neben dem posterioren STS (pSTS), der inferiore Temporalkortex, der inferiore Frontalkortex (IFG), der prämotorische Kortex, die Temporalpole, der supramarginale Gyrus und das superiore Parietallappchen signifikant aktiviert. Animationen mit geringerem, intentionalem Charakter führten hingegen zu signifikanten Mehraktivierungen im okzipitalen und lingualen Gyrus sowie im mittleren frontalen Kortex. Diese Befunde sprechen dafür, dass mit zunehmendem Grad der Intentionalität mehr Bestandteile des neuronalen ToM-Netzwerks rekrutiert werden, die mit der Repräsentation von intentionalen Handlungen des Agenten in Verbindung stehen. Die Autoren postulieren, dass sich Vorläuferfunktionen des intentionalen Verständnisses aus Kompetenzen der visuellen Wahrnehmung entwickelt haben. Demzufolge scheint die Verarbeitung sozialer Interaktionen in Abhängigkeit vom intentionalen Charakter auf unterschiedlichen neuronalen Korrelaten zu basieren.

Lee, Gao und McCarthy (2014) konnten mittels einer fMRT-Studie die bedeutende Rolle der rechten temporo-parietalen Übergangsregion, insbesondere des pSTS, für die Beurteilung von Zielen und Intentionen untermauern, die den Bewegungen von sozialen Agenten zugrunde liegen. Dazu präsentierten sie den Probanden Animationen von geometrischen Formen (sich jagende, korrelierte oder zufällige Bewegungen von Kreisen), welche die Probanden identifizieren sollten. Die funktionelle Aktivität des pSTS war höher, wenn die Probanden dazu aufgefordert wurden, zu erkennen, ob sich die Kreise jagten, verglichen mit der Darbietung korrelierter Bewegungen. Darüber hinaus fand sich auch dann eine signifikante Mehraktivierung im pSTS, wenn die Probanden intentionale Bewegungen detektierten, obwohl lediglich zufällige Bewegungen präsentiert wurden. Die Autoren gehen demzufolge davon aus, dass auch Top-down-Prozesse im Zuge der Intentionsattribution eine erhöhte funktionelle Aktivität im pSTS auslösen, obwohl entsprechende visuelle Hinweisreize nicht vorliegen.

Die Bedeutung des dorsalen MPFC für die Intentionsattribution wurde in einer Studie von Tavares et al. (2008) hervorgehoben, in der untersucht wurde, welchen Einfluss die Manipulation des Aufmerksamkeitsfokus der Probanden auf die Gehirnaktivität bei der Interpretation von animierten sozialen Interaktionen hat. Die dargebotenen Animationen stellten unterschiedliches soziales Verhalten dar (freundlich, feindlich, neutral) und die Probanden sollten ihre Aufmerksamkeit entweder auf diese Eigenschaften richten oder

sich in einer Kontrollbedingung auf räumliche Aspekte (z. B. Geschwindigkeit der Bewegungen, Bewegungspfad) konzentrieren. Dazu wurde ihnen vor Abspielen der Videos entweder ein sozialer oder ein räumlicher Hinweisreiz gegeben. In einer darauf folgenden Antwortphase beurteilten die Probanden die Richtigkeit von Aussagen, die sich auf den Inhalt der dargestellten Animationen bezogen. Die Verwendung eines ereignis-korrelierten fMRT-Designs ermöglichte so den Prozess der Intentionsattribution in drei verschiedenen Phasen zu analysieren 1) bei der Präsentation vorbereitender Hinweisreize zur Festlegung des Aufmerksamkeitsfokus, 2) während der Darbietung der Animationen und 3) während der Antwortphase. Der Kontrast sozialer vs. räumlicher Hinweisreiz ergab während der Animationsphase signifikante Mehraktivierungen in Regionen des ToM-Netzwerks, unter anderem in der Amygdala, in der rechten TPJ, im rechten STS, in den Temporalpolen, im posterioren Cingulum und im dorsalen MPFC. Jedoch war der dorsale MPFC die einzige Gehirnregion, die eine selektive signifikante Aktivierung in diesem Kontrast hervorrief, während alle anderen Gehirnareale auch eine erhöhte funktionelle Aktivität zeigten, wenn die Bedingung der Intentionsattribution mit der Baseline-Bedingung verglichen wurde.

Insgesamt deuten die oben berichteten Befunde darauf hin, dass die Attribution von Intentionen und Wünschen auf ähnlichen neuronalen Korrelaten beruht wie die Überzeugungsattribution. Kontrovers diskutiert wird dabei jedoch die funktionale Rolle des temporo-parietalen Kortex, da in Studien mit unterschiedlichem Stimulusmaterial übereinstimmend Aktivierungen in diesem Gehirnareal gefunden wurden. Dabei ist jedoch unklar, ob es sich um anatomisch gleiche oder voneinander abgrenzbare Bereiche handelt. Die Tatsache, dass sich die Lokalisation der Aktivierungen auf eine weitgefaste Region erstreckt, die keinen eindeutig definierten Gehirnbereich markiert, erschwert die Interpretation der funktionellen Befunde. Inzwischen wird beim temporal-parietalen Kortex zwischen einem eher superior-posterioren Bereich innerhalb der TPJ unterschieden, der insbesondere mit der Repräsentation mentaler Zustände von anderen assoziiert wird (Gallagher et al., 2000; Saxe & Powell, 2006) und einer inferior-anterioren Region innerhalb des pSTS, der mit der Wahrnehmung von Bewegungen und dem Verstehen von Handlungen in Verbindung gebracht wird (Lee et al., 2014; Osaka et al., 2012; Saxe, Xiao, Kovacs, Perret & Kanwisher, 2004).

Um Aussagen darüber zu machen, welche unterschiedlichen Rollen diese Teilregionen für die soziale Kognition spielen, wurde die genaue Lage der aktivierten Hirnregionen

jedoch meist über verschiedene Studien hinweg verglichen. Gobbini et al. (2007) führten erstmals eine Gegenüberstellung unterschiedlicher ToM-Aufgaben in einer fMRT-Untersuchung durch, um herauszufinden, ob die neuronalen Korrelate der Repräsentation mentaler Zustände über verschiedene Paradigmen hinweg konsistent sind bzw. ob unterschiedliche Teilbereiche innerhalb des temporo-parietalen Kortex in Abhängigkeit von der Art der mentalen Attribution aktiviert werden. Sie nutzen zum einen die Vignetten (*ToM-Stories* vs. *non-ToM-stories* vs. *unlinked sentences*) aus der Studie von Gallagher et al. (2000) und zum anderen die Animationen (*ToM* vs. *goal-directed* vs. *random movements*) von Castelli et al. (2000). Als Kontrollbedingung für das Erkennen von Handlungen dienten Reize mit Lichtpunkten, die entweder biologische oder unzusammenhängende Bewegungen darstellten. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass sich die neuronale Basis der Repräsentation nicht beobachtbarer mentaler Zustände (Wünsche, Überzeugungen) von der Repräsentation von Intentionen, die sich aus der Beobachtung von Handlungen erschließen, unterscheidet. Während die False-Belief-Geschichten vorrangig zu Mehraktivierungen in Gehirnregionen des neuronalen ToM-Netzwerks wie dem dorsalen MPFC als Teil des anterioren parazingulären Kortex, dem posterioren Cingulum und der TPJ führten, wurden die sozialen Animationen mit Aktivierungen im pSTS, im frontalen Operculum, im inferioren Parietalkortex und im fusiformen Gyrus assoziiert. Ein direkter Vergleich der Mehraktivierungen beider Aufgaben in interessierenden Gehirnarealen zeigte auch, dass die funktionelle Aktivität im dorsalen MPFC nur teilweise überlappte. Während die Zuschreibung falscher Überzeugungen eher mit einer signifikanten Mehraktivierung des rostralen MPFC assoziiert war, rekrutierte der Prozess der Intentionattribution eher posteriore Bereiche des dorsalen MPFC. Außerdem ergaben die unterschiedlichen Paradigmen keine Überlappung in der TPJ. Zwar erzeugte die Zuschreibung falscher Überzeugungen eine signifikante Mehraktivierung in der TPJ, die Attribution von Intentionen aktivierte jedoch einen davon klar abgrenzbaren Bereich des pSTS. Damit erbrachten Gobbini et al. (2007) Evidenzen dafür, dass der pSTS und die TPJ als zwei anatomisch eng verknüpfte Gehirnregionen für voneinander abgrenzbare Funktionen des Mentalisierungsprozesses zuständig sind. Während die TPJ die Repräsentation mentaler Zustände unterstützt, die nicht beobachtbar sind und somit auch nicht von physikalischen Vorgängen abgeleitet werden können, spielt der pSTS eine wichtige Rolle für die Repräsentation wahrgenommener Handlungen und den Intentionen, die diesen Handlungen zugrunde liegen (für eine Dissoziation des temporal-parietalen Kortex in zwei separate,

funktionale Bereiche siehe auch Saxe und Xiao et al., 2004). Dabei scheint der pSTS im Zusammenspiel mit dem Spiegelneuronensystem zu interagieren, das ein System aus Neuronen bildet, die zuallererst im Gehirn von Makaken-Affen gefunden wurden und bei der Beobachtung und Ausführung von zielgerichteten Handlungen feuern (Di Pellegrino, Fadiga, Fogassi, Gallese & Rizzolatti, 1992; Gallese, Fadiga, Fogassi & Rizzolatti, 1996). Im Zusammenhang mit der sozialen Kognition beim Menschen wurde ein neuronales Netzwerk von Spiegelneuronen bestehend aus parietalen und frontalen Kortextbereichen im menschlichen Gehirn identifiziert. Dieses System umfasst Regionen des posterioren inferioren Frontalkortex mit Übergang zum ventralen prämotorischen Kortex sowie rostrale Teile des inferioren Parietalkortex, welcher visuellen Input vom posterioren STS erhält (Iacoboni & Dapretto, 2006; Rizzolatti & Craighero, 2004).

Die meisten fMRT-Studien, die mittels Vignetten, Animationen oder in einer konstruierten Spielsituation die Intentions- bzw. Wunschattri-bution untersuchten, gerieten aufgrund ihrer methodischen Schwächen in die Kritik. Bemängelt wird insbesondere das verwendete Stimulusmaterial, welches nicht geeignet scheint, um Prozesse der Zuschreibung von Intentionen und Wünschen selektiv zu untersuchen. Saxe und Carey et al. (2004) merken an, dass bei den Reizen häufig Mechanismen der Wunsch- und Überzeugungsattri-bution konfundiert sind und sich so die funktionelle Aktivität nicht eindeutig den interessierenden kognitiven Prozessen zuordnen lässt. Das Kontrastierungsvorgehen in der Studie von Gallagher et al. (2002) beispielweise ist möglicherweise zu weit gefasst, um allein auf den Prozess der Intentionsattri-bution schließen zu können. Hier kann nicht ausgeschlossen werden, dass während dem Spiel auch Prozesse der Überzeugungsattri-bution stattgefunden haben, die sich im funktionalen Aktivierungsmuster widerspiegeln (Saxe, Carey et al., 2004). Auch das zwar signifikant erhöhte, aber schwächere Blood-Oxygen-Level-Dependent- (BOLD)- Signal der Wunschaufgabe im Vergleich zur False-Belief-Aufgabe in der Studie von Saxe und Kanwisher (2003), könnte auf implizit ablaufenden Mechanismen der Überzeugungsattri-bution beruhen.

Saxe und Kanwisher (2003) waren die ersten, die innerhalb der gleichen Stichprobe in einem fMRT-Paradigma Wünsche und Überzeugungen experimentell kontrastierten. Mittels einer Region- of- Interest- (ROI)- Analyse demonstrierten sie, dass die TPJ bei der Verarbeitung von Wünschen signifikant stärker aktiviert war als bei Beschreibungen physischer Merkmale von Menschen bzw. physikalischer Eigenschaften nicht-

menschlicher Objekte. Diese Aktivierungsunterschiede waren im Vergleich zur Zuschreibung falscher Überzeugungen jedoch geringer ausgeprägt, was auch in der Forschungsarbeit von Saxe und Wexler (2005) repliziert wurde.

Abraham et al. (2010) führten erstmals eine systematische fMRT-Studie durch, in welcher die Wunsch- und Überzeugungsattribution innerhalb eines sorgfältig kontrollierten Versuchsdesigns kontrastiert wurden und so die funktionelle Gehirnaktivität separat für einzelne ToM-Komponenten identifiziert werden konnte. Mit dem Ziel herauszufinden, ob sich der asymmetrische Entwicklungsverlauf der *belief-desire-psychology* bei Kindern in entsprechenden funktionellen Unterschieden der neuronalen Korrelate widerspiegelt, präsentierten sie den Probanden Sätze, die propositionale Aussagen über Wünsche oder Überzeugungen enthielten (z. B. „Thomas glaubt/will, dass der Schokoladenpudding süß schmeckt.“). Der einzige Unterschied in diesen Szenarien bestand in der propositionalen Einstellung (glaubt vs. will) und somit bezüglich des mentalen Zustands (Überzeugung vs. Wunsch), auf dessen Basis die Statements beurteilt werden sollten. Es handelte sich hierbei um ein zweifaktorielles Design, in dem neben der Art des mentalen Zustands, auch die Übereinstimmung des mentalen Zustands mit der Realität manipuliert wurde (Wünsche: erfüllt vs. unerfüllt; Überzeugungen: falsch vs. wahr). Die Versuchspersonen sollten beurteilen, ob dem Charakter (Thomas) das Resultat („Der Schokoladenpudding schmeckt sehr/nicht süß.“) gefallen oder er darüber enttäuscht sein wird (Wunschbedingung) bzw. ob er das Ergebnis erwarten oder es ihn überraschen wird (Überzeugungsbedingung). Dabei konnten Verarbeitungsprozesse in der Szenario-Phase getrennt vom eigentlichen Attributionsprozess in der Beurteilungsphase analysiert werden. Szenarien, die die Zuschreibung von Überzeugungen erforderten, führten zu signifikanten Mehraktivierungen bilateral im anterioren (BA 10), inferioren (BA 45/47) und mittleren präfrontalen Kortex (BA 9/46), wobei die Aktivierungsmuster der Szenario- und der Beurteilungsphase weitgehende Übereinstimmung aufwiesen. Dagegen ergaben sich bei den Statements mit Wünschen unterschiedliche Aktivierungsprofile für die zwei verschiedenen Verarbeitungsphasen. Während die Verarbeitung der Wunsch-Szenarien primär Bereiche des rechten inferioren Temporalkortex mit Übergang zu okzipitalen Kortexbereichen und den inferioren Parietalkortex aktivierte, ergaben sich in der Beurteilungsphase darüber hinaus signifikante Mehraktivierungen im linken dorsalen MPFC angrenzend an das anteriore Cingulum (BA 10/9/32), in der bilateralen Insula, im linken superioren und

rechten mittleren temporalen Gyrus, in der Amygdala und im Hippocampus. Beim Vergleich von inkongruenten mit kongruenten Bedingungen ergab sich eine erhöhte funktionelle Aktivität entlang der medialen Schnittachse im linken dorsalen (BA 9/32) und ventralen MPFC (bilateral, BA 10/32) sowie bilateral im posterioren Cingulum (BA 31/23). Am stärksten war der dorsale MPFC dabei während der False-Belief-Bedingung aktiviert. Diese Ergebnisse geben Hinweise darauf, dass bei der Wunschattri-bution wie bei der Überzeugungsattri-bution ein neuronales Netzwerk bestehend aus präfrontalen, temporalen und parietalen Kortextbereichen rekrutiert wird, sowie, dass bei der Zuschreibung von Wünschen Regionen involviert sind, die zum erweiterten Netzwerk der ToM (Sommer, Döhnel, Schuwerk et al., 2007) zählen wie die Amygdala, der Hippocampus und die Insula. Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem präfrontalen Kortext, insbesondere dem dorsalen MPFC zu, der nicht nur bei der Zuschreibung von falschen Überzeugungen, sondern auch bei der Attribution von Wünschen eine signifikant erhöhte funktionelle Aktivität zeigt.

Zusammengefasst legen die neuronalen Befunde der ToM-Forschung nahe, dass sich die erhöhte funktionelle Aktivität im dorsalen MPFC bei der Zuschreibung von Überzeugungen, Intentionen und Wünschen nur teilweise überschneidet. Während das Verstehen von Überzeugungen und Wünschen eher mit Mehraktivierungen in anterioren Bereichen des dorsalen MPFC in Verbindung gebracht wird, scheint die Attribution von Intentionen, die aus physikalischen Eigenschaften animierter Objekte erschlossen werden, auf Aktivierungen von posterioren Regionen des dorsalen MPFC zu basieren. Im Hinblick auf den temporo-parietalen Kortext zeigen sich dagegen keine Überlappungen der funktionellen Aktivität. Während Studien zur Intentionsattri-bution demonstrierten, dass die Inferenz von beobachtbaren Handlungszielen und den zugrundeliegenden Intentionen weniger die TPJ, sondern eher Bereiche des pSTS gemeinsam mit Elementen des Spiegelneuronensystems rekrutieren, wird die Überzeugungsattri-bution mit signifikanten Mehraktivierungen der TPJ in Verbindung gebracht. Bezüglich der Wunschattri-bution existiert eine inkonsistente Befundlage, wobei in manchen Studien eine Beteiligung der TPJ beobachtet werden konnte, jedoch in geringerem Ausmaß als bei der Überzeugungsattri-bution. Überzeugungen, Wünschen und Intentionen bilden demzufolge verschiedene Komponenten des ToM-Konzepts, die sowohl auf gemeinsamen als auch auf voneinander abgrenzbaren

neuronalen Netzwerken beruhen. Insgesamt existieren jedoch noch zu wenige Untersuchungen, um differenzierte Aussagen über die neuronalen Korrelate der Wunschattri-
bution machen zu können.

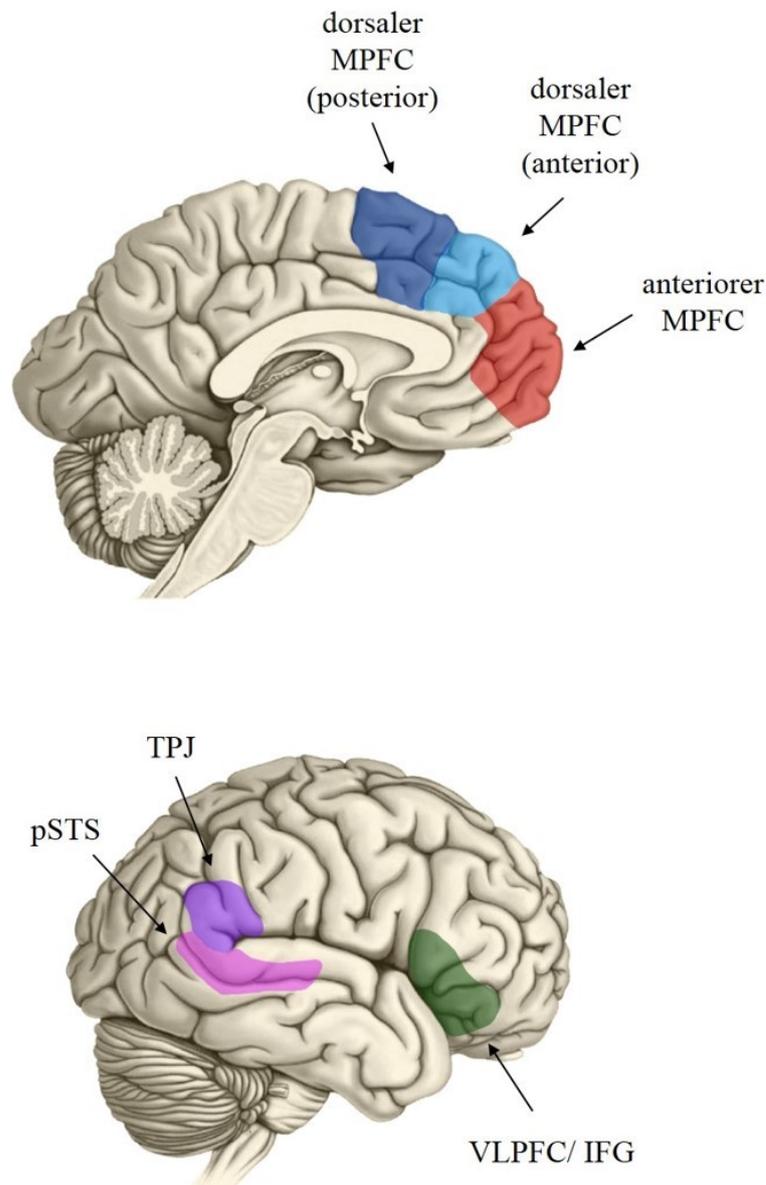


Abbildung 1

*Darstellung von neuronalen Korrelaten der ToM in sagittaler (oben) und lateraler Ansicht (un-
ten). Farblich gekennzeichnet sind der anteriore mediale Präfrontalkortex (anteriorer MPFC,
markiert in rot), der dorsale mediale Präfrontalkortex (dorsaler MPFC: anteriore Bereiche in
hellblau; posteriore Bereiche in dunkelblau), die temporal-parietale Übergangsregion (TPJ, in
lila), der posteriore superiore temporale Sulcus (pSTS, in pink) und der ventrolaterale Präfron-
talkortex (VLPFC) einschließlich des inferioren Frontalgyrus (IFG, in grün).*

1.2 ToM und exekutive Funktionen (EF)

Aufgrund der Beobachtung, dass Kinder im Alter zwischen drei und sechs Jahren nicht nur bei der Fähigkeit, die mentalen Zustände anderer zu verstehen bedeutsame Fortschritte machen, sondern auch dabei, ihre Impulse zu kontrollieren, wird ein starker Zusammenhang zwischen der ToM und der Inhibitionsfähigkeit angenommen (Carlson & Moses, 2001; Moriguchi, 2014; Perner, Lang & Kloo, 2002). Dieser Zusammenhang offenbart sich in zahlreichen Studien, auch wenn das Alter, die Intelligenz sowie die verbalen und nonverbalen Fähigkeiten der Probanden kontrolliert werden (Carlson et al., 2002, Hughes, 1998). Ein weiteres Indiz für eine Verbindung zwischen Exekutivfunktionen (EF) und ToM stellen Ergebnisse von bildgebenden Untersuchungen dar, die auf gemeinsame neuronale Korrelate hindeuten. Als wichtiger Kandidat gilt hierfür der präfrontale Kortex (Ozonoff, Pennington & Rogers, 1991). Außerdem unterstützt der Befund von autistischen Kindern, die neben einem ToM-Defizit auch Beeinträchtigungen bei klassischen EF-Aufgaben aufweisen, die Annahme einer korrelativen Beziehung (Hughes & Russell, 1993). Eine Metanalyse von Perner und Lang (1999) über mehrere Studien zum Zusammenhang zwischen EF und ToM im Altersbereich zwischen drei und sechs Jahren erbrachte eine Effektgröße von 1.08, die als stark einzuschätzen ist.

Forschungsevidenzen zum Zusammenhang zwischen inhibitorischer Kontrolle (inhibitory control, IC) und ToM stammen überwiegend aus korrelativen und Längsschnittstudien, die mit Kindern durchgeführt wurden. Dabei konzentrierten sich zahlreiche Untersuchungen bei der Einschätzung der ToM-Fähigkeit auf die Zuschreibung falscher Überzeugungen. Erst in aktuelleren Forschungsarbeiten finden sich Ansätze, welche sich mit der korrelativen Beziehung zwischen Inhibitionsprozessen und der Attribution von Wünschen befassen. Aus diesem Grund erfolgt im nächsten Kapitel erst ein Überblick über entwicklungspsychologische Zusammenhänge zwischen der Überzeugungsattribution und der inhibitorischen Kontrolle, bevor auf neuere Befunde eingegangen wird, die den Einfluss inhibitorischer Prozesse bei der Wunschzuschreibung widerspiegeln.

1.2.1 Befunde aus der Entwicklungspsychologie

Drei verschiedene Teilbereiche der Exekutivfunktionen wurden mit der ToM in Verbindung gebracht: das Arbeitsgedächtnis, inhibitorische Kontrolle und kognitive Flexibilität.

Eine Forschergruppe um Carlson und Kollegen trugen mit ihren Untersuchungen zur Entschlüsselung der Grundlagen dieses Zusammenhangs bei. Dabei betonten sie die Bedeutung von inhibitorischer Kontrolle für die ToM-Entwicklung, insbesondere im Kontext der Zuschreibung falscher Überzeugungen. In einer umfassend angelegten Studie untersuchten Carlson und Moses (2001) 107 Vorschulkinder im Alter zwischen drei und vier Jahren mit Hilfe von Testbatterien, die etablierte Aufgaben zur Messung der ToM-Fähigkeit (u. a. False-Belief-Aufgabe) und der exekutiven Funktionen beinhalteten. Die EF-Testbatterie umfasste zum einen Aufgaben, die einen Konflikt erzeugten, da eine dominante Antworttendenz unterdrückt werden musste, während gleichzeitig eine konkurrierende, neue Antwort gefordert wurde (*conflict task*). Zum anderen wurden Aufgaben gestellt, die lediglich eine Unterdrückung bzw. Aufschiebung einer vorherrschenden Testantwort verlangten (*delay task*). Von letzterem Aufgabentyp wird angenommen, dass dieser geringere Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis stellt, da nicht zur gleichen Zeit verschiedene Repräsentationen aufrechterhalten werden müssen. Es zeigte sich, dass individuelle Unterschiede der Inhibitionsfähigkeit signifikant mit der ToM-Fähigkeit korrelierten ($r = .66$), unabhängig von Faktoren wie Alter, sprachlichen Fähigkeiten und Geschlecht. Dieser Zusammenhang bestand sowohl für den *conflict task* als auch für den *delay task*, jedoch war die Korrelation für Konfliktaufgaben stärker ausgeprägt.

Nachfolgende Studien bestätigten den Befund, dass inhibitorische Kontrolle eine entscheidende Rolle für die ToM-EF-Korrelation spielt. Carlson et al. (2002) fanden eine starke spezifische Korrelation zwischen inhibitorischen Prozessen in *conflict tasks* und der ToM-Leistung bei einer False-Belief-Aufgabe, auch wenn das Alter und die Intelligenz der Probanden sowie die Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis kontrolliert wurden. Auch Hala et al. (2003) demonstrierten, dass sich die zugrundeliegenden kognitiven Prozesse der EF-ToM-Korrelation auf inhibitorische Kontrolle beziehen, diese jedoch eng mit dem Arbeitsgedächtnis verwoben sind. Der Einfluss der mentalen Flexibilität, der dritten Komponente der exekutiven Funktionen, spielt dagegen eine untergeordnete Rolle. So fanden Carlson, Moses und Claxton (2004) eine moderate Korrelation zwischen Konflikthinhibition und ToM ($r = .34$), die unabhängig von der individuellen kognitiven Flexibilität bzw. Planungsfähigkeit auftrat. Interessanterweise findet sich der ontogenetische Zusammenhang zwischen ToM und EF bei Kindern verschiedener Kulturen, wie eine Gegenüberstellung der Leistung amerikanischer und chinesischer Kinder im Alter von drei bis fünf Jahren zeigt (Sabbagh, Xu, Carlson, Moses & Lee, 2006).

Zwar konnten zahlreiche Studien den Zusammenhang zwischen exekutiven Funktionen und der Mentalisierungsfähigkeit feststellen, jedoch lassen diese Korrelationen keine kausalen Schlüsse zu. Längsschnittstudien bieten die Möglichkeit, spezifischere Erkenntnisse über die zugrundeliegenden Prozesse des Zusammenhangs zu erhalten und zu beobachten, welche Auswirkungen die Verbesserung einer Fähigkeit auf die andere hat. So fand beispielweise Hughes (1998) eine höhere Korrelation zwischen individuellen Fortschritten der EF-Leistung bei drei- bis vierjährigen Kindern und dem Abschneiden bei FB-Aufgaben ein Jahr später ($r = .41$), als zwischen der früheren ToM-Fähigkeit und der später erfassten exekutiven Kompetenzen ($r = .26$). Demzufolge gelten inhibitorische Fertigkeiten als ein signifikanter Prädiktor für die später erhobene ToM-Leistung. Diese prädiktive Beziehung besteht jedoch nicht umgekehrt, d. h. die frühere ToM-Leistung kann nicht dazu genutzt werden, um die spätere Leistungsfähigkeit bei EF-Aufgaben vorherzusagen (für ähnliche Ergebnisse siehe Carlson, Mandell und Williams, 2004). Darüber hinaus lässt sich der korrelative Zusammenhang zwischen EF und ToM auf die mittlere Kindheit ausweiten, wobei auch in diesem Altersbereich frühe exekutive Funktionen die spätere ToM-Leistung vorhersagen können, für eine umgekehrte Beziehung jedoch kaum Belege existieren (Austin, Groppe & Elsner, 2014). Auch Studien mit Probanden im Erwachsenenalter zeigten, dass inhibitorische Kontrolle mit der Fähigkeit zusammenhängt, falsche Überzeugungen zuzuschreiben (Chasiotis & Kiessling, 2004; Phillips, Bull, Allen, Inch & Burr, 2011). Chasiotis und Kiessling (2004) untersuchten Erwachsene zwischen 17 und 59 Jahren mittels ToM-Geschichten sowie mittels eines Tests zur Erhebung der Selbstregulations- und Konzentrationsfähigkeiten und fanden eine signifikante Korrelation zwischen beiden Maßen. Eine andere Studie verglich die Leistung von jüngeren Erwachsenen zwischen 18 bis 26 Jahre mit Erwachsenen höheren Alters von 62 bis 90 Jahre bei der Bewältigung von EF-Testbatterien und FB-Aufgaben, deren exekutiven Anforderungen variiert wurden (German & Hehman, 2006). Beide Altersgruppen schnitten umso schlechter ab, je höher die exekutiven Anforderungen der FB-Aufgabe waren.

Zusammengefasst bedeuten diese Befunde, dass eine hohe Korrelation zwischen der Überzeugungsattribution und der Konflikthinhibition existiert, die auch dann bestehen bleibt, wenn wichtige Teilkomponenten von EF wie Arbeitsgedächtniskapazität und Planungs- und Problemlösefähigkeiten kontrolliert werden. Die Konflikthemmung bzw. kognitive Prozesse zur Inhibition dominierender Antworttendenzen scheinen demnach

eine zentrale Position bei der Vermittlung des Zusammenhangs zwischen EF und ToM einzunehmen.

Mit der korrelativen Beziehung zwischen Inhibitionsprozessen und der Attribution von Wünschen befassten sich dagegen nur wenige neuere Studien. Diese Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf den Entwicklungsverlauf bei Kindern, dagegen ist keine Untersuchung bekannt, welche bei Erwachsenen die Beziehung zwischen der Wunschattriution und der Inhibitionsfähigkeit analysiert. Obwohl die Ergebnisse aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Methoden nur bedingt vergleichbar sind, gibt es dennoch Erkenntnisse, die dafür sprechen, dass inhibitorische Mechanismen auch bei der Zuschreibung von Wünschen eine zentrale Rolle spielen (Fizke et al., 2014; Rakoczy, 2010; Rostad & Pexman, 2014).

Erste Hinweise dafür lieferte eine Studie von Rakoczy (2010), in der die ToM-Leistung drei- bis vierjähriger Kinder bei der Zuschreibung von Überzeugungen und Wünschen im Zusammenspiel mit exekutiven Fähigkeiten erforscht wurde. Interessanterweise wies nicht nur die Überzeugungsattriution, sondern auch die Zuschreibung konfligierender Wünsche eine signifikante Korrelation mit der Inhibitionsfähigkeit auf. Dieser Befund steht im Widerspruch zu bisherigen Annahmen, wonach exekutive Funktionen nur dann am Prozess der mentalen Schlussfolgerung beteiligt sind, wenn mentale Repräsentationen reflektiert werden, die auf die Realität ausgerichtet sind („true state of affairs“; Sabbagh, Moses & Shiverick, 2006), was auf Überzeugungen nicht aber auf Wünsche zutrifft.

Signifikante altersbereinigte Zusammenhänge zwischen konkurrierenden Wünschen und exekutiven Funktionen (erhoben mit dem Dimensional-Change-Card-Sort-Task; DCCS-Task), unabhängig von den verbalen Fähigkeiten, stellten auch Rostad und Pexman (2014) dar. In ihrer Studie bekamen vier- bis siebenjährigen Probanden die Aufgabe, anhand von Bildern, auf welchen das Denken einer Person in Form von Gedankenblasen dargestellt wurde, einfache und konfligierende Wünsche zuzuschreiben. Das Wunsch-Paradigma bestand aus drei Bedingungen mit bejahenden („approach“, z. B. Ich möchte Fahrrad fahren), verneinenden („avoidance“, z. B. „Ich möchte nicht Fahrrad fahren“) und konkurrierenden Wünschen („conflict“, z. B. „Ich möchte Fahrrad fahren und gleichzeitig möchte ich es nicht.“). Die Leistung der Probanden wurde anschließend mit einer Kontrollbedingung verglichen, in der die Person zwei miteinander vereinbare Wünsche besaß und somit kein Konflikt induziert wurde („no conflict“, z. B. „Ich möchte

Fahrradfahren und gleichzeitig möchte ich nicht Rollschuhfahren.“). Während die älteren Kinder zwischen fünf und sieben Jahren mit zunehmendem Alter ein besseres Verständnis für konkurrierende Wünsche zeigten, konnten die vierjährigen Probanden nur die Bedingungen mit einfachen, d. h. bejahenden und verneinenden Wünschen, lösen. Dieser Entwicklungstrend wurde mit Fortschritten bei den exekutiven Fähigkeiten assoziiert, was durch eine positive Korrelation zwischen der Leistung im DCCS-Task und der Zuschreibung konfligierender Wünsche bestätigt wurde.

Eine systematische Untersuchung mit Fokus auf die Bedeutung inhibitorischer Mechanismen für die Attribution konfligierender Wünsche und mit besonderem Augenmerk auf die Art der Perspektive, die der Proband während des Zuschreibungsprozesses einnimmt, führten Fizke et al. (2014) durch. Dazu absolvierten die Versuchspersonen neben verschiedenen False-Belief- und EF-Aufgaben, eine Aufgabe mit konkurrierenden Wünschen. Konsistent mit Rakoczy (2010) untermauerten die Ergebnisse die Wichtigkeit exekutiver Fähigkeiten nicht nur für die Zuschreibung von falschen Überzeugungen, sondern auch für das Verstehen von konfligierenden Wünschen. Dass die Exekutivleistung auch mit der Zuschreibung von Wünschen korreliert, wird auf die ähnliche, logische Komplexität zurückgeführt, da der Attributionsvorgang erfordert, verschiedenen Personen subjektive und miteinander unvereinbare (inkompatible) Einstellungen zuzuschreiben. Das bedeutet, dass der Zusammenhang vor allem für Aufgaben gilt, die ein Perspektivenproblem erzeugen, unabhängig davon, welchen mentalen Zustand dieses beinhaltet. Demzufolge gehen die Autoren davon aus, dass für den Mentalisierungsprozess generell exekutive Funktionen benötigt werden, wenn die Koordination von Perspektiven erforderlich ist, und zwar insbesondere dann, wenn man die Perspektive einer anderen Person verarbeitet, die mit der eigenen Sichtweise im Konflikt steht. Der Einfluss dieses speziellen Inhibitionsprozesses, der sogenannten *self-perspective-inhibition* (siehe Kap. 1.2.3.2), scheint ein wichtiger Faktor der ToM-EF-Korrelation zu sein (Fizke et al., 2014).

Eine andere Herangehensweise für die Untersuchung inhibitorischer Prozesse bei der Wunschzuschreibung sind Paradigmen mit Wünschen, die der Vermeidung bestimmter Situationen dienen (sogenannte *avoidance desires*) und in Studien von Friedman und Leslie (u.a. 2004, 2005) in Kombination mit falschen Überzeugungen verwendet wurden. In diesem experimentellen Szenario wird den Probanden eine Geschichte über eine Figur erzählt, die eine falsche Überzeugung darüber hat, in welcher von drei Boxen sich ein Objekt befindet. Der Protagonist hat den Wunsch, die Box mit dem Objekt zu meiden

und wählt deswegen eine der anderen Kisten, von denen er fälschlicherweise annimmt, dass sich nichts darunter befindet. Dabei zeigte sich bei vier- bis achtjährigen Kindern eine Voreingenommenheit bezüglich der Auswahl der verbleibenden Alternativen, wobei die Reaktion zugunsten der Box verzerrt war, in der sich das Objekt tatsächlich befand. Friedman und Leslie (2004; 2005) interpretieren die Vorgänge im Rahmen der *belief-desire-psychology* als einen Selektionsprozess, der von Inhibitionsmechanismen beeinflusst wird. Wurde bei der Zuschreibung der falschen Überzeugung zunächst der Ort gemäß der wahren Überzeugung gehemmt und tritt anschließend ein weiterer Hemmungsmechanismus durch die Wunschzuschreibung in Kraft, so führt die Interaktion mehrerer Inhibitionsmechanismen zu einer Verzerrung des Antwortverhaltens bei der Auswahl einer Alternative (Friedman & Leslie, 2004; Leslie et al., 2005). Der Selektionsbias findet sich auch unabhängig von der Verarbeitung falscher Überzeugungen, wenn das Verhalten anderer vorhergesagt werden soll, das lediglich auf vermeidenden Wünschen basiert (Petrashek & Friedman, 2011).

Zusammengefasst liefert der aktuelle entwicklungspsychologische Forschungsstand Evidenzen dafür, dass nicht nur bei der Verarbeitung falscher Überzeugungen, sondern auch beim Verstehen vermeidender und konfligierender Wünsche inhibitorische Prozesse involviert sind. Bekannte Theorien, die die zugrundeliegenden Prozesse des Zusammenhangs zwischen ToM und IC erklären, werden im folgenden Kapitel ausgeführt.

1.2.2 Theorien zur Erklärung des Zusammenhangs zwischen ToM und EF

Die oben beschriebenen Befunde zeigen robuste Korrelationen zwischen der Leistung in EF- und ToM-Aufgaben sowohl bei normal entwickelten Kindern als auch bei Kindern mit Autismus. Dieser Zusammenhang bleibt auch bestehen, wenn das Alter und das intellektuelle Leistungsniveau der Kinder kontrolliert wird (Sodian & Hülken, 2005). Mittlerweile existieren verschiedene Theorien zur Erklärung des parallelen Entwicklungsverlaufs von exekutiven Funktionen und der ToM-Fähigkeit.

Im Vordergrund stehen Ansätze, die eine funktionale Abhängigkeit zwischen den exekutiven Funktionen und der ToM-Fähigkeit postulieren (Perner & Lang, 1999). Zwei oft zitierte Theorien, die sogenannte *expression theory* bzw. die *emergence theory*, vertreten die Annahme, dass die Entstehung von EF eine Voraussetzung ist für die Entwicklung des ToM-Konzepts. Anhänger der *expression theory* gehen davon aus, dass der Zusammenhang zwischen ToM und EF durch gemeinsame Aufgabenanforderungen moderiert

wird, da klassische ToM-Aufgaben exekutive Komponenten enthalten. Demzufolge besitzen jüngere Kinder zwar bereits ein begriffliches Verständnis über falsche Überzeugungen und verfügen somit auch über entsprechende metarepräsentationale Kompetenzen zur Lösung von ToM-Aufgaben, jedoch können sie diese nicht zum Ausdruck bringen, da ihnen die dafür benötigten inhibitorischen Fähigkeiten fehlen (Carlson & Moses, 2001; Sabbagh, Xu et al., 2006). Aus diesem Grund gelingt es ihnen beispielweise beim False-Belief-Task nicht, das Wissen über den realen Zustand (wahre Überzeugung) als vorherrschende Antworttendenz zu unterdrücken, um gemäß der falschen Überzeugung der Person zu antworten (Sodian & Hülken, 2005). Gegen die Hypothese, dass der Zusammenhang zwischen EF und ToM vorwiegend auf gemeinsamen inhibitorischen Aufgabenanforderungen beruht, sprechen laut Sodian und Thoermer (2006) jedoch Befunde, die zeigen, dass auch bei ToM-Aufgaben mit geringen exekutiven Anforderungen ein signifikanter Zusammenhang zwischen der EF- und ToM-Leistung besteht. Dazu wurde eine Variante der False-Belief-Aufgabe verwendet, bei welcher die Kinder nicht das Verhalten des Protagonisten vorhersagen sollten („Wo wird Max nach der Schokolade suchen?“), sondern aufgefordert wurden, dieses Verhalten zu erklären („Warum suchte Max im leeren Schrank nach der Schokolade?“). Die Schwierigkeiten der jüngeren Kinder bei der Lösung dieser Aufgabenversion lassen sich laut Perner und Lang (1999) nicht auf ein Inhibitionsdefizit zurückführen, da die Erklärung des überzeugungsbasierten Verhaltens nicht erfordert, dass eine falsche vorherrschende Antworttendenz unterdrückt werden muss. Aufgrund der hohen Korrelation der EF-Leistung sowohl mit der Leistung bei der Erklärung als auch bei der Vorhersage falscher Überzeugungen, ist es unwahrscheinlich, dass beide Konzepte allein auf gemeinsamen exekutiven Anforderungen basieren (Doherty, 2009; Perner, Lang et al., 2002; Sodian & Thoermer, 2006).

Die sogenannte *emergence theory* schreibt EF dagegen eine ursächliche Bedeutung bei der ToM-Entwicklung zu. Sie besagt, dass die Verbesserung von EF im Laufe der kognitiven Entwicklung eine Voraussetzung für die Entstehung einer ToM und für die Ausbildung mentaler Konzepte darstellt (Carlson & Moses, 2001). Mit zunehmender exekutiver Kontrolle verbessern sich das Monitoring eigener Handlungen sowie das Verständnis über die Intentionalität von Handlungen. Folglich ist ein grundlegendes Niveau von exekutiven Kompetenzen notwendig, um Einsicht in eigene und fremde Denk- und Handlungsweisen zu erhalten. Verstehen Kinder den intentionalen Charakter menschlichen Handelns und können sie intentionale Zustände mental repräsentieren, kann sich das

ToM-Konzept entwickeln (Russell, 1997; Sodian & Hülken, 2005; Sodian & Thoermer, 2006). Diese Sichtweise ist laut Sodian und Thoermer (2006) nicht nur mit dem parallelen Entwicklungsverlauf von ToM und EF bei gesunden Kinder konsistent, sondern steht auch im Einklang mit Befunden bei autistischen Kindern, die neben einem ToM-Defizit deutliche Beeinträchtigungen der exekutiven Funktionen aufweisen. Bestätigt wird diese Annahme auch von Studien, die bei Kindern mit der Diagnose ADHS nicht nur Beeinträchtigungen bei den exekutiven Funktionen, sondern auch bei der Lösung von ToM-Aufgaben zweiter Ordnung demonstrierten (Caillies, Bertot, Motte, Raynaud & Abely, 2014). Forschungsergebnisse, die auf eine weitgehende Dissoziation zwischen exekutiven Funktionen und ToM bei Kindern hindeuten, sprechen jedoch gegen die *emergence theory*. So zeigten beispielsweise Charman, Carroll und Sturge (2001), dass Kinder mit einer hyperkinetischen Störung zwar ein starkes EF-Defizit aufwiesen, aber dennoch ToM-Aufgaben lösen konnten (ähnliche Ergebnisse siehe Perner, Kain & Barchfeld, 2002). Ebenso scheiterten Kinder mit dem Williams-Syndrom an EF-Tasks, während sie False-Belief-Tasks erfolgreich bewältigten (Tager-Flusberg, Sullivan & Boshart, 1997).

Auf der anderen Seite existieren Ansätze, die von einem umgekehrten funktionalen Zusammenhang zwischen beiden Konzepten ausgehen, also die ToM-Fähigkeit als Vorläuferfunktion für die Entwicklung exekutiver Kontrolle sehen. Demzufolge sind Fortschritte bei inhibitorischen Mechanismen nicht Voraussetzung, sondern die Konsequenz der zunehmenden Ausdifferenzierung des ToM-Konzepts. So postuliert Perner (1998), dass der ToM-Erwerb eine bessere Selbstkontrolle nach sich zieht, da Kinder mit der Entwicklung fortgeschrittener, mentaler Konzepte eigene und fremde gedankliche Prozesse besser verstehen (zitiert nach Sodian & Hülken, 2005). Das zunehmende Verständnis über die Kausalität dieser Repräsentationen hat für inhibitorische Fähigkeiten demnach eine wichtige Bedeutung, da Kinder das eigene Verhalten nun zunehmend steuern können (Lang & Perner, 2002; Perner & Lang, 1999).

Zur Bewertung der verschiedenen theoretischen Überlegungen bezüglich einer funktionalen Abhängigkeit zwischen exekutiven Funktionen und der ToM-Fähigkeit schlussfolgert Hughes (2002), dass ein möglicher Zusammenhang vermutlich spezifischer ist als bisher angenommen und zwischen verschiedenen Bestandteilen der kognitiven Kontrolle differenziert werden muss. Darüber hinaus ist denkbar, dass die funktionale Abhängigkeit nicht direkt besteht, sondern durch übergeordnete kognitive Funktionen vermittelt wird.

Eine dritte Hypothese stellt die CCC (Cognitive Complexity and Control) - Theorie nach Frye, Zelazo und Palfai (1995) dar, die den Zusammenhang zwischen EF und ToM auf die komplexe logische Aufgabenstruktur zurückführt. Demnach erfordern klassische ToM-Aufgaben wie der False-Belief-Task nicht nur konditionales Schlussfolgern aufgrund eingebetteter Wenn-dann-Regeln, sondern auch die Fähigkeit zwischen verschiedenen mentalen Repräsentationen zu wechseln, womit jüngere Kinder große Schwierigkeiten haben. Vorhersagen der CCC-Theorie wurden vorwiegend mit dem DCCS-Task untersucht, der hohe Anforderungen an die kognitive Flexibilität stellt. Insgesamt konnten die theoretischen Annahmen jedoch empirisch nicht bestätigt werden (Perner, Stummer & Lang, 1999).

Im Hinblick auf die bisherigen Forschungsbefunde präsentiert sich vor allem eine neurokognitive Sichtweise als aussichtsreich, da sie nicht nur die beobachteten Korrelationen, sondern auch die empirische Dissoziation zwischen exekutiven Funktionen und der ToM-Fähigkeit am plausibelsten erklären kann (Perner, Lang et al., 2002). Demnach beruhen beide Konzepte auf gemeinsamen, eng benachbarten Hirnstrukturen, die im Rahmen der Gehirnentwicklung etwa zeitgleich entstehen und mit ähnlicher Geschwindigkeit reifen ohne zwingend voneinander funktional abhängig zu sein. Als Kandidat für dieses neuronale Korrelat gilt insbesondere der präfrontale Kortex (Ozonoff et al., 1991).

1.2.3 Befunde aus bildgebenden Studien

Zahlreiche behaviorale Studien mit Kindern und Erwachsenen geben Hinweise auf eine bedeutsame Verbindung zwischen ToM und EF, jedoch sind die spezifischen Prozesse, die diesem Zusammenhang zugrunde liegen, noch nicht ausreichend geklärt (Sodian & Hülshen, 2005). Als vielversprechend erweist sich die Annahme, dass die Attribution mentaler Zustände und exekutive Fertigkeiten auf gemeinsamen neuronalen Korrelaten basieren. Bildgebende Studien bieten die Möglichkeit, diesen Zusammenhang genauer zu analysieren, gemeinsame oder voneinander abgrenzbare neuronale Korrelate zu identifizieren und auf diese Weise Erkenntnisse über die zugrundeliegenden Mechanismen zu erhalten.

1.2.3.1 Neuronale Korrelate von ToM und inhibitorische Kontrolle

Betrachtet man die Ergebnisse von Studien, die mittels funktioneller Bildgebung die neuronalen Korrelate der ToM und EF identifizierten, so fällt auf, dass sich Überlappungen bei den aktivierten Hirnregionen ergeben, obwohl diese Studien unterschiedliche Versuchsparadigmen anwendeten. Mit inhibitorischen Kontrollmechanismen wird ein vorwiegend rechtslateralisiertes neuronales Netzwerk assoziiert, das den medialen Präfrontalkortex einschließlich den ACC (BA 6, 9, 32), den dorsolateralen Präfrontalkortex (BA 9, 46), den inferioren Parietalkortex (die temporal-parietale Übergangsregion, BA 39/40) und den ventrolateralen Präfrontalkortex (VLPFC) einschließlich des IFG mit Übergang zur Insula (BA 44, 45, 47) umfasst (Aron, 2007; Carter & Van Veen, 2007; Dodds, Morein-Zamir & Robbins, 2011; Simmonds, Pekar & Mostofsky, 2008; Watanabe et al., 2002). Auch bei der Untersuchung der neuronalen Aktivierungsmuster der ToM-Fähigkeit wurden unterschiedlichste Methoden angewandt, um die Attribution verschiedener mentaler Zustände einzuschätzen, jedoch mit einem deutlichen Überwiegen von Studien zur Überzeugungszuschreibung. Trotzdem lassen sich übereinstimmende neuronale Korrelate für die ToM-Fähigkeit feststellen, die sich auf den temporal-parietalen Kortex (TPJ, STS), den medialen präfrontalen Kortex, das posteriore Cingulum und die Temporalpole beziehen (Abraham et al., 2010; Frith & Frith, 2006; Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe & Powell, 2006; Sommer, Döhnell, Schuwerk et al., 2007; Van Overwalle, 2009). Die Wunschzuschreibung wird darüber hinaus mit Aktivierungen im inferioren frontalen Gyrus assoziiert (Abraham et al., 2010; Brunet et al., 2000; Osaka et al., 2012). Obwohl sich die Aktivierungsmuster der Wunsch- und Überzeugungsattribution nur teilweise überlappen, spiegeln die Befunde dennoch gemeinsame neuronale Mechanismen wieder. Vergleicht man die oben beschriebenen neuronalen Korrelate der ToM-Fähigkeit und der inhibitorischen Kontrolle, so kristallisieren sich der dorsale MPFC und der temporal-parietale Kortex als Schlüsselregionen heraus, die an beiden kognitiven Fähigkeiten wesentlich beteiligt sind.

Erste Hinweise auf eine neuronale Verbindung zwischen der Mentalisierungsfähigkeit und der inhibitorischen Kontrolle ergaben Läsionsstudien, die das Leistungsvermögen hirngeschädigter Patienten bei ToM- und EF-Aufgaben erfassten. Dabei gilt jedoch zu beachten, dass die Befunde aufgrund der geringen Probandenzahl und der unterschiedlichen Lokalisation der Gehirnläsionen nur begrenzt interpretierbar sind. Erwachsene mit

unilateralen Läsionen des Frontalkortex zeigten eine signifikant schlechtere Leistung bei ToM-Aufgaben und bedeutsame Defizite bei den exekutiven Funktionen im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe (Rowe, Bullock, Polkey & Morris, 2001). Auch Apperly, Samson, Chiavarino und Humphreys (2004) demonstrierten, welche Auswirkungen Hirnschädigungen auf die Leistung bei der Zuschreibung mentaler Zustände und bei EF-Aufgaben haben können. Vier Patienten mit Läsionen in Bereichen des Präfrontalkortex zeigten nicht nur Beeinträchtigungen bei der Lösung von FB-Aufgaben, sondern auch Schwierigkeiten bei der Unterdrückung unpassender Reaktionstendenzen. Drei weitere Patienten mit Schädigungen in der linken TPJ wiesen zwar Defizite bei der Überzeugungszuschreibung auf, jedoch hatten zwei von ihnen intakte exekutive Fertigkeiten. Die Autoren schlossen daraus, dass der MPFC eine wichtige Rolle sowohl für die ToM als auch für EF spielt, während temporal-parietale Kortextbereiche vorwiegend mit der Mentalisierungsfähigkeit im Zusammenhang stehen.

Die neuronalen Korrelate von ToM und IC wurden in der Vergangenheit meist separat voneinander analysiert. Eine der ersten Studien, die den Zusammenhang zwischen ToM und IC direkt innerhalb eines Versuchsparadigmas untersuchte, indem sowohl eine Aufgabe zur Erhebung der Inhibitionsfähigkeit als auch eine Aufgabe als Maß für die ToM-Fähigkeit realisiert wurde, stammt von Saxe, Schulz und Jiang (2006). In einem zweistufigen Vorgehen erhoben sie zunächst mittels einer textbasierten ToM-Aufgabe und einem Antwortselektions-Task die funktionalen Profile, um Gehirnregionen zu identifizieren, die für beide Aufgabentypen überschneidende neuronale Aktivierungen zeigten. Die signifikanten Mehraktivierungen durch die ToM-Aufgabe (posteriores Cingulum, TPJ, MPFC, STS, Amygdala) wiesen aus Sicht der Autoren keine anatomischen Überlappungen mit den neuronalen Aktivierungsmustern durch die EF-Aufgabe auf (intraparietaler Sulcus, pre-SMA, mittlerer Frontalkortex, mittlerer temporaler Gyrus; MTG). Jedoch basierte die vergleichende Analyse lediglich auf vier Probanden, deren Aktivierungen auf einem Template-Gehirn dargestellt wurden. Die Ergebnisse des ersten Experiments wurden anschließend als Referenz für die ROI-Analysen des Hauptexperiments verwendet, bei dem die funktionelle Gehirnaktivität der Probanden während zwei Bedingungen gemessen wurde, welche dasselbe Stimulusmaterial enthielten. In der ToM-Bedingung bearbeiteten sie eine animierte False-Belief-Aufgabe, in der Algorithmus-Bedingung dagegen wurde eine Antwortselektion verlangt. Die ROI-Analyse ergab für beide Aufgaben ähnliche neuronale Aktivierungsmuster u. a. im MPFC, in der linken TPJ, im ACC und

bilateral im parietalen Sulcus. Lediglich die rechte TPJ zeigte eine signifikant stärkere Aktivität während der ToM-Aufgabe im Vergleich zum Algorithmus-Task. Infolgedessen gehen die Autoren davon aus, dass der Mentalisierungsprozess von domänenübergreifenden wie domänenspezifischen Mechanismen unterstützt wird, wobei die rechte TPJ als spezialisiertes Areal für die Repräsentation mentaler Zustände angesehen wird. Mit den Ergebnissen dieser Studie lassen sich jedoch keine Hypothesen über den Einfluss inhibitorischer Mechanismen auf die Mentalisierungsfähigkeit ableiten, da die Aufgabe zur Antwortselektion keine Inhibition einer vorherrschenden Antworttendenz erfordert.

Die Annahme, dass es sich bei der rechten TPJ um ein Gehirnareal handelt, das für die ToM-Fähigkeit spezialisiert ist, lässt sich einer Debatte zuordnen, die sich mit der Rolle der TPJ im Kontext des Mentalisierungsprozess auseinandersetzt. Auf der einen Seite gibt es Autoren, die der TPJ eine domänenübergreifende Funktion wie die Bereitstellung und Reorientierung von Aufmerksamkeit zusprechen (Corbetta et al., 2008; Decety & Lamm, 2007), auf der anderen Seite stehen Befunde, die darauf hindeuten, dass die TPJ ein domänenspezifisches Areal für die Verarbeitung mentaler Repräsentationen darstellt (Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe et al., 2006). In einer Metaanalyse wurde für die ToM und Prozesse der Aufmerksamkeits-Reorientierung eine wesentliche Überlappung der funktionellen Aktivität in der rechten TPJ gefunden (Decety & Lamm, 2007).

Mit dem Ziel die Funktion der TPJ detaillierter zu entschlüsseln, führte Mitchell (2008) eine fMRT-Studie durch, in der den Probanden eine False-Belief-Aufgabe sowie der sogenannte Posner-cueing-Task zur Testung der Aufmerksamkeit-Reorientierung präsentiert wurde. Während die Zuschreibung falscher Überzeugungen mit Aktivierungen in der rechten TPJ, dem medialen Präfrontalkortex und dem Präcuneus einherging, fand sich für die Aufmerksamkeits-Reorientierung nur in der rechten TPJ eine erhöhte funktionelle Aktivität, dessen Aktivierungsmuster nahezu identisch erschien. Demzufolge scheint die rechte TPJ in beide Prozesse involviert zu sein, was gegen die Hypothese spricht, dass es sich bei dieser Region um ein für die ToM spezialisiertes Areal handelt. Die gleichen Aufgaben präsentierten Scholz, Triantafyllou, Whitfield-Gabrieli, Brown und Saxe (2009) ihren Probanden, um die Aktivierungsprofile innerhalb der rechten TPJ mittels einer ROI-Analyse differenzierter zu betrachten. Da hier die räumliche Überlappung zwischen den beiden Aufgaben sehr gering ausgeprägt war, schlussfolgerten die Autoren, dass die ToM und IC zwar benachbarte, aber unterscheidbare Areale innerhalb der rechten TPJ-Region rekrutieren.

Die Studie von Saxe et al. (2006) gab den Anstoß für weitere Untersuchungen, in welchen innerhalb eines Versuchsdesigns sowohl die ToM-Fähigkeit getestet, als auch Maße für exekutive Fertigkeiten erhoben wurden, um Zusammenhänge zwischen inhibitorischen Prozessen und der ToM auf neuronaler Ebene zu finden. Basierend auf dieser Fragestellung konstruierten erstmals Rothmayr et al. (2011) ein sorgfältig manipuliertes Versuchsparadigma, mit dem es möglich war, unter Verwendung von identischem Reizmaterial, gemeinsame neuronale Aktivierungsmuster von Überzeugungsattribution und inhibitorischer Kontrolle darzustellen. Dazu wurden den Probanden zum einem nonverbale False-Belief-Bildergeschichten präsentiert, die die Zuschreibung wahrer und falscher Überzeugungen erforderten. Zum anderen nahmen die Versuchspersonen an einem klassischen Go-NoGo-Task teil, in welchem ihnen Bilder aus der FB-Aufgabe präsentiert wurden mit der Instruktion, immer dann eine Taste zu drücken, wenn sich die Anzahl der auf dem Bild befindlichen Personen veränderte. blieb die Personenanzahl in zwei aufeinanderfolgenden Bildern dagegen gleich, waren sie dazu angehalten, den Tastendruck zu unterlassen. Eine separate Betrachtung der funktionellen Ergebnisse ergab für die FB-Aufgabe signifikante Mehraktivierungen bilateral in der TPJ, im MPFC, im MTG, im Präcuneus, im superioren und mittleren frontalen Kortex sowie im linken präzentralen Gyrus. Die Inhibitionsfähigkeit wurde mit einer erhöhten funktionellen Aktivität im rechten IFG, im rechten MTG und STS, im rechten MPFC, im rechten superioren und mittleren Frontalkortex sowie bilateral in der TPJ assoziiert. Eine Conjunction-Analyse ergab gemeinsame Aktivierungen für die Zuschreibung von falschen Überzeugungen und inhibitorischer Kontrolle im rechten dorsalen MPFC, in der rechten TPJ, in ventralen Bereichen der linken TPJ, im rechten MTG sowie in Teilen des lateralen Präfrontalkortex. Diese Befunde heben also erneut die bedeutende Rolle der TPJ und des dorsalen MPFC für die Zuschreibung mentaler Zustände in Verbindung mit Hemmungsmechanismen hervor. Rothmayr et al. (2011) gehen davon aus, dass der rechte dorsale MPFC inhibitorische Kontrollprozesse unterstützt, die nicht nur bei der Unterdrückung einer vorherrschenden motorischen Antwort erforderlich sind, sondern auch bei der Zuschreibung falscher Überzeugungen, da der Zustand der Realität (wahre Überzeugung) gehemmt werden muss, um gemäß der falschen Überzeugung antworten zu können. Außerdem lassen die Befunde dieser Studie darauf schließen, dass die funktionelle Aktivität der rechten TPJ nicht allein

mit der Attribution mentaler Zustände assoziiert wird, sondern auch mit kognitiven Prozessen wie der Bereitstellung und Reorientierung von Aufmerksamkeit, die beim Go-NoGo-Task rekrutiert werden.

Wie die oben dargestellten Befunde zeigen, fokussierte man sich auch bei der Erforschung der neuronalen Zusammenhänge zwischen EF und ToM auf die Zuschreibung von falschen Überzeugungen, während die Bedeutung inhibitorischer Prozesse für die Attribution von konfligierenden Wünschen bis heute weitgehend vernachlässigt wurde und deshalb keine vergleichbaren Studien existieren. Lediglich eine Untersuchung von Hartwright, Apperly und Hansen (2012) beschäftigte sich neben der Überzeugungsattribution auch mit der Zuschreibung vermeidender Wünsche (siehe Kap. 1.2.3.2). Diese Studie lässt sich einer wachsenden Zahl an neueren Forschungsarbeiten mit Fokus auf die Beteiligung inhibitorischer Prozesse bei der Inferenz mentaler Zustände zuordnen, die postulieren, dass sich der Zusammenhang zwischen der ToM und der IC auf einen spezifischen Inhibitionsprozess zurückführen lässt, die sogenannte *self-perspective-inhibition*. Mittlerweile verdichten sich die Hinweise darauf, dass neben den Kernregionen TPJ und dorsaler MPFC, ein anderes Gehirnareal in einem erweiterten neuronalen Netzwerk eine wichtige Rolle für die Verbindung zwischen ToM und inhibitorischer Kontrolle spielt: der VLPFC mit Übergang zum IFG. Welche Bedeutung die Hemmung der Eigenperspektive für die ToM-Fähigkeit hat und inwiefern dieser Prozess durch die Aktivierung des IFG unterstützt wird, wird im folgenden Kapitel ausführlich erläutert.

1.2.3.2 Neuronale Befunde zum Einfluss von *self-perspective-inhibition* auf die ToM

In den letzten zehn Jahren trugen neurowissenschaftliche Studien dazu bei, die Bedeutung von verschiedenen inhibitorischen Mechanismen für die Inferenz mentaler Repräsentationen differenzierter aufzuschlüsseln. In diesem Rahmen traten sowohl domänenübergreifende als auch domänenspezifische theoretische Annahmen in den Vordergrund, die unterschiedliche Erklärungen für die Funktion von inhibitorischen Prozessen bei der Zuschreibung mentaler Zustände bieten.

Friedman und Leslie (2004; 2005) beschreiben die Wunsch-Überzeugungs-Attribution als einen domänenübergreifenden Selektionsprozess, der durch Inhibitionsmechanismen unterstützt wird und dafür zuständig ist, die exekutiven Ressourcen zu steuern. Sie gehen davon aus, dass die Zuschreibung mentaler Zustände durch zwei neurokognitive Mechanismen ermöglicht wird: 1) einen Theory-of-Mind-Mechanismus (ToMM) und 2) einen

Selektionsprozessor (SP). Letzteres beschreibt einen inhibitorischen Prozess, der ermöglicht, unter verschiedenen mentalen Repräsentationen die richtige Alternative zu wählen und den unpassenden mentalen Zustand zu hemmen. Bei der Überzeugungsattribution beispielsweise muss demnach zunächst die vorherrschende Antwortalternative der wahren Überzeugung inhibiert werden, um gemäß der falschen Überzeugung zu handeln (für eine ähnliche Interpretation siehe auch Rothmayr et al., 2011).

Einer neueren Sichtweise zufolge nehmen inhibitorische Prozesse bei der Attribution mentaler Zustände dagegen eine spezifischere Funktion ein, wenn ein Perspektivenunterschied zwischen sich selbst und einer anderen Person entsteht (Fizke et al., 2014; Rakoczy, 2010; Rakoczy et al., 2007). Perspektivenkonflikte werden hierbei als kognitive Probleme definiert, die die Koordination von mentalen Repräsentationen erfordern, da deren propositionaler Inhalt nicht miteinander vereint werden kann, solange man nicht den repräsentationalen Standpunkt berücksichtigt (Fizke et al., 2014; Perner et al., 2005). Sowohl bei der Zuschreibung falscher Überzeugungen als auch beim Verstehen konfligierender Wünsche kann man nur dann richtig handeln, wenn die wahre Überzeugung bzw. der eigene Wunsch, der mit dem Wunsch des anderen im Konflikt steht, unterdrückt wird. Die Hemmung des eigenen Standpunkts ist folglich eine Voraussetzung für die korrekte Zuschreibung mentaler Zustände. Der Prozess der *self-perspective-inhibition* beschreibt diese Hemmung der Eigenperspektive beim Mentalisierungsvorgang, die auf neuronaler Ebene mit einer erhöhten funktionellen Aktivität des IFG in Verbindung gebracht wird (Ruby & Decety, 2003; Samson, Apperly, Kathirgamanathan & Humphreys, 2005; Van der Meer, Groenewold, Nolen, Pijnenborg & Aleman, 2011). Erste Hinweise auf die Bedeutung des ventrolateralen Präfrontalkortex für die ToM bei Involvierung der Eigenperspektive erbrachten Vogeley et al. (2001). Sie verglichen die neuronalen Aktivierungsmuster bei der Übernahme der Perspektive von anderen (TOM-Bedingung) mit der eigenen Perspektive (SELF-Bedingung) und beobachteten eine gemeinsame Mehraktivierung für beide Faktoren im rechten inferioren frontalen Kortex. Im Hinblick auf diesen Befund postulierten Samson et al. (2005), dass die Perspektivenübernahme ein Prozess mit zwei Komponenten ist: 1) die Fähigkeit, die eigene Perspektive zu hemmen und 2) die Fähigkeit, die Perspektive eines anderen abzuleiten. Diese Hypothese untersuchten sie in einer Fallstudie mit Patient WBA, der infolge eines Schlaganfalls eine Läsion in der interessierenden Region des rechten ventrolateralen Präfrontalkortex, einschließlich des rechten IFG, aufwies. Dazu entwickelten sie FB-Aufgaben, die sich in

Bezug auf das erforderliche Maß der *self-perspective-inhibition* voneinander unterschieden. Während eine Bedingung geringe inhibitorische Anforderungen stellte (low-inhibition-task), verlangte eine zweite Bedingung im hohen Maße die Fähigkeit, die Eigenperspektive zu hemmen (high-inhibition-task). Der Patient WBA konnte zwar den *low-inhibition-task* lösen, zeigte jedoch deutliche Schwierigkeiten bei der Aufgabe, die hohe Anforderungen an die Inhibition der Eigenperspektive stellte. Eine Läsion im IFG führt demzufolge zu einem selektiven Defizit die eigene Perspektive, nicht aber die Perspektive eines anderen, zu hemmen. Die beiden Komponenten – die Inhibition der eigenen Perspektive und die Fähigkeit, den Standpunkt eines anderen zu erschließen – basieren demnach auf unterschiedlichen neuronal-funktionellen Prozessen. Während der IFG als neuronales Korrelat für die *self-perspective-inhibition* gilt, wird die Fähigkeit, die Perspektive anderer einzunehmen und deren mentale Zustände zu repräsentieren, mit einer Mehraktivierung der TPJ assoziiert. Dies bestätigt eine Läsionsstudie mit Patienten, die Hirnschädigungen im Bereich der linken temporoparietalen Übergangsregion aufweisen und signifikante Beeinträchtigungen in einer text- sowie videobasierten FB-Aufgabe zeigten (Samson, Apperly, Chiavarino & Humphreys, 2004). Mit Hilfe von Kontrollbedingungen konnte ausgeschlossen werden, dass sich die Leistungsdefizite der Patienten auf implizite Anforderungen der Aufgabe, generelle Defizite beim Schlussfolgern oder das Unvermögen, die Eigenperspektive zu hemmen, zurückführen lassen.

Da Fallstudien nur begrenzte Interpretationsmöglichkeiten bieten, führten Van der Meer et al. (2011) eine fMRT-Studie an einer größeren, gesunden Stichprobe durch, um die Hypothese eines Zwei-Komponenten-Prozesses zu überprüfen sowie um gemeinsame neuronale Korrelate der motorischen Antwortinhibition und der *self-perspective-inhibition* zu untersuchen. Dazu wurde neben einem klassischem Stop-Signal-Task, eine videobasierte FB-Aufgabe nach Samson et al. (2004; 2005) angewandt. Die funktionellen Ergebnisse ergaben für die high-inhibition-Bedingung eine erhöhte neuronale Aktivität im dorsalen MPFC, in der TPJ, im IFG, in der Insula, im STS, im MTG und im Präcuneus. Im Vergleich dazu rekrutierte die motorische Antwortinhibition den IFG, die Insula, den MTG sowie den postzentralen Gyrus. Als gemeinsames neuronales Korrelat für beide Aufgaben zeigte sich eine überlappende Aktivität im bilateralen IFG (BA 47). Demnach konnten Van der Meer et al. (2011) auf neuronaler Ebene aufzeigen, dass der ToM-Prozess in zwei Komponenten unterteilt werden kann. Die Perspektivenübernahme und exekutive Funktionen scheinen funktionell voneinander abhängig zu sein, was sich in der

gemeinsamen Mehraktivierung des IFG widerspiegelt, dessen erhöhte Aktivität mit inhibitorischen Kontrollprozessen bei der Hemmung der Eigenperspektive assoziiert wird.

Dass inhibitorische Kontrolle multiple, unterschiedliche Rollen bei der *belief-desire-psychology* spielt, demonstrierten Hartwright et al. (2012) mittels sorgfältiger Manipulationen in einem Paradigma, in dem nicht nur die Valenz verschiedener mentaler Zustände variiert wurde, sondern auch die zugrundeliegenden neuronalen Mechanismen im direkten Vergleich mit inhibitorischen Komponenten untersucht werden konnten. Sie präsentierten den Probanden eine neue Aufgabe, die Überzeugungen (true vs. false bzw. B+ vs. B-) und Wünsche (approach vs. avoidance bzw. D+ vs. D-) beinhalteten und zu vier verschiedenen Bedingungen kombiniert wurden (B+D+; B+D-; B-D+; B-D-). Aufgabe der Probanden war es, wunsch- und überzeugungsbasiert vorherzusagen, welche von zwei verschiedenfarbigen Boxen eine Person öffnen würde (z. B. B-D-: die Person glaubt fälschlicherweise die Äpfel sind in der roten Box; da sie Äpfel nicht mag, öffnet sie folglich die blaue Box.). Während der ACC sowohl für die Valenz der Wünsche als auch der Überzeugungen eine erhöhte funktionelle Aktivität aufwies, aktivierte nur die Zuschreibung von Überzeugungen inferiore Bereiche des VLPFC mit Anteilen des IFG. Hartwright et al. (2012) ziehen deshalb die Schlussfolgerung, dass die Mehraktivierung des ACC die Rekrutierung von domänenübergreifenden exekutiven Prozessen bei der Verarbeitung falscher Überzeugungen und vermeidender Wünsche widerspiegelt, die bei der ToM-Fähigkeit in Form von Aufmerksamkeitskontrolle benötigt werden. Zudem ergeben sich fundierte Hinweise auf den Einfluss von *self-perspective-inhibition*, die mit einer erhöhten funktionellen Aktivität des ventrolateralen Präfrontalkortex assoziiert wird. Allerdings offenbart sich diese spezifische Inhibitionsform nur bei der Zuschreibung falscher Überzeugungen, da hierbei - im Gegensatz zur Verarbeitung vermeidender Wünsche - eine Differenz zwischen der eigenen Perspektive und der Sichtweise anderer entsteht. In einer Folgestudie konnten Hartwright, Apperly und Hansen (2015) zeigen, dass die funktionelle Aktivität des VLPFC in Abhängigkeit von der Salienz der Eigenperspektive nur bei konkurrierenden mentalen Repräsentationen, nicht aber bei nicht-mentalem Stimulusmaterial (z.B: false-photographs) variiert.

Bis heute wird diskutiert, ob inhibitorische Kontrolle eine domänenübergreifende Funktion übernimmt oder verschiedene domänenspezifische Inhibitionsmechanismen in unterschiedliche Perspektivenprobleme involviert sind. Zusammenfassend lässt sich fest-

halten, dass exekutive Fertigkeiten unterschiedliche Funktionen für die Mentalisierungsfähigkeit erfüllen und eine ausgereifte *belief-desire-psychology* die Kombination verschiedener inhibitorischer Mechanismen erfordert. Als konvergierende Erklärungstheorie schlagen Fiske et al. (2014) vor, dass sich die Debatte über die Rolle von EF für die ToM in Bezug auf die Koordination verschiedener Perspektiven vereinen lässt. Demzufolge benötigt die Fähigkeit verschiedene Repräsentationen bzw. Perspektiven miteinander zu koordinieren und sich selbst oder anderen zuzuschreiben, domänenübergreifende repräsentationale Kapazitäten und zwar insbesondere dann, wenn ein Konflikt zwischen der eigenen Repräsentation und der zu attribuierenden Perspektive von anderen besteht. Um diese These zu überprüfen, ist die Entwicklung eines Paradigmas sinnvoll, in dem der mentale Zustand und die einzunehmende Perspektive systematisch variiert werden sowie vergleichend ein EF-Experiment zur Messung der Inhibitionsfähigkeit realisiert wird, um die Rolle verschiedener Arten von inhibitorischer Mechanismen für die ToM auf neuronaler Ebene zu beleuchten.

1.2.4 Ziele und Hypothesen

Eine Vielzahl an Forschungsarbeiten der letzten Jahre stellte eine bedeutsame Korrelation zwischen der ToM und den exekutiven Funktionen auf behavioraler wie neuronaler Ebene dar. Die Beobachtung eines zeitlich parallelen Entwicklungsverlaufs von ToM und EF in der Kindheit war ein erster Hinweis auf den funktionalen Zusammenhang zwischen beiden Konzepten. Die Fähigkeit anderen Menschen mentale Zustände zuzuschreiben, ist besonders eng mit inhibitorischer Kontrolle verbunden, also der Kompetenz zielgerichtet zu handeln, indem dominante, aber unpassende Verhaltenstendenzen unterdrückt werden, die auf vorherrschenden mentalen Repräsentationen basieren. Inhibitorische Kontrolle gilt als stärkster Prädiktor für die spätere ToM-Leistung, unabhängig von anderen Faktoren wie den verbalen Fähigkeiten (Hughes, 1998), der Arbeitsgedächtniskapazität (Carlson et al., 2002) oder der mentalen Flexibilität (Carlson, Moses et al., 2004). Überwiegend in Studien zur Attribution falscher Überzeugungen wurde dieser Zusammenhang nicht nur in verschiedenen Altersbereichen von der frühen Kindheit (Carlson & Moses, 2001) bis zum hohen Erwachsenenalter (Chasiotis & Kiessling, 2004; Phillips et al., 2011), sondern auch über verschiedene Kulturen hinweg gefunden (Sabbagh, Xu et al., 2006). Ferner konnte mittlerweile auch für die Zuschreibung konfligierender Wünsche

eine signifikante Korrelation mit exekutiven Funktionen demonstriert werden (Fizke et al., 2014; Rakoczy, 2010; Rostad & Pexman, 2014).

Untersuchungen mit funktioneller Bildgebung untermauern den Zusammenhang zwischen IC und ToM auf neuronaler Ebene. Obwohl die neuronalen Korrelate von beiden Konzepten in der Vergangenheit meist separat analysiert wurden, kann man bei den Ergebnissen Überschneidungen der aktivierten Hirnregionen beobachten. Als Schlüsselregionen kristallisierten sich der mediale Präfrontalkortex und die temporal-parietale Übergangsregion heraus, die in beide Fähigkeiten wesentlich involviert sind. Eine Studie von Rothmayr et al. (2011) ist eine von wenigen Untersuchungen, die innerhalb eines sorgfältig manipulierten Versuchsdesigns mittels identischen Reizmaterials sowohl die Leistung der Probanden bei der Überzeugungsattribution als auch die inhibitorische Kontrollfähigkeit erhoben und auf diese Weise die gemeinsamen neuronalen Aktivierungsmuster von beiden Fertigkeiten erforschten. Eine Conjunction-Analyse hob erneut die TPJ und den dorsalen MPFC hervor, wobei beide Hirnregionen mit domänenübergreifenden Prozessen assoziiert wurden: der MPFC mit inhibitorischer Kontrolle und die TPJ mit Aufmerksamkeitsreorientierung.

Da bei der Erforschung der neuronalen Zusammenhänge zwischen ToM und EF überwiegend das False-Belief-Paradigma als Maß für die ToM-Fähigkeit zur Anwendung kam, wurde die Bedeutung inhibitorischer Prozesse für die Wunschattriution weitgehend vernachlässigt. Laut Ansicht mehrerer Autoren (Fizke et al., 2014; Rakoczy, 2010; Rakoczy et al., 2007) spielt die Inhibitionsfähigkeit aber auch bei konfligierenden Wünschen eine Rolle, wenn es sich um Perspektivenprobleme handelt, die die Koordination von miteinander unvereinbaren mentalen Repräsentationen erfordern. Demnach kann man sowohl bei der Zuschreibung falscher Überzeugungen als auch beim Verstehen inkompatibler Wünsche nur dann richtig handeln, wenn die wahre Überzeugung bzw. der eigene Wunsch, der mit der Sichtweise des anderen im Konflikt steht, unterdrückt wird. Mittlerweile gibt es zunehmend Hinweise darauf, dass der Mentalisierungsvorgang die Inhibition der Eigenperspektive (sog. *self-perspective-inhibition*) erfordert, ein spezifischer Hemmungsprozess, der auf neuronaler Ebene mit einer erhöhten funktionellen Aktivität im IFG in Verbindung gebracht wird (Samson et al., 2005; Van der Meer et al., 2011; Vogeley et al., 2001).

Ziel der vorliegenden Untersuchung war innerhalb eines within-subject-Versuchsdesigns und mit Hilfe von identischem Stimulusmaterial in Anlehnung an Rothmayr et al.

(2011) die Zuschreibung konkurrierender Wünsche und die Inhibitionsfähigkeit zu untersuchen. Aus diesem Grund wurden eine Verhaltens- und eine fMRT-Studie durchgeführt, um zugrundeliegende Prozesse des korrelativen Zusammenhangs zwischen EF und ToM sowie gemeinsame neuronale Korrelate zu entschlüsseln. Zur Erforschung der Wunschattriution wurde eine zweifaktorielle Versuchsaufgabe mit konfligierenden Wünschen entwickelt, in der sowohl der Status der Wünsche (kompatibel vs. inkompatibel), als auch die einzunehmende Perspektive beim Zuschreibungsprozess (1. Person vs. 3. Person) systematisch variiert werden konnte. Im Zentrum des Interesses lagen somit nicht nur die neuronalen Grundlagen bei der Zuschreibung inkompatibler Wünsche, sondern auch der Einfluss der Perspektive auf die ToM-Leistung. Die Inhibitionsfähigkeit der Probanden wurde mit einem klassischen Go-NoGo-Paradigma erhoben, welches das gleiche Reizmaterial wie die Wunschaufgabe enthielt, sodass es möglich war, die neuronalen Aktivierungen der beiden kognitiven Fähigkeiten miteinander zu vergleichen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung dienen zum einen dazu, die neuronalen Grundlagen der Wunschattriution zu bestimmen und dabei herauszufinden, ob die Zuschreibung von Wünschen dieselben Hirnregionen rekrutiert, die bisher mit der ToM-Fähigkeit, vor allem mit der Überzeugungszuschreibung, assoziiert wurden. Auf diese Weise wäre es möglich, Aussagen über die Schlüsselregionen der ToM zu treffen, d. h. insbesondere die Bedeutung des MPFC und des temporal-parietalen Kortex für konfligierende Wünsche genauer zu beleuchten. Überschneidungen von Hirnregionen der Wunschattriution mit den neuronalen Korrelaten der Überzeugungsattriution könnten dafür sprechen, dass das neuronale Netzwerk, auf dem die soziale Kognition basiert, von Gehirnregionen mit domänenübergreifender Funktion gebildet wird. Unterscheiden sich die neuronalen Korrelate der Wunsch- und der Überzeugungsattriution wäre dies ein Hinweis auf domänenspezifische Prozesse, d. h. unterschiedliche Gehirnregionen wären für die Zuschreibung verschiedener mentaler Zustände zuständig.

Zum anderen bietet die vorliegende Studie die Möglichkeit, die Beschaffenheit des Zusammenhangs zwischen IC und ToM bei Erwachsenen differenzierter zu betrachten und herauszufinden, welche Rolle inhibitorische Prozesse für die ToM-Leistung, insbesondere für die Wunschzuschreibung, spielen. Die zentrale Fragestellung bezieht sich darauf, ob die Wunschattriution und inhibitorische Kontrolle auf gemeinsamen oder distinkten neuronalen Mechanismen basieren. Eine Überschneidung von aktivierten Hirnregionen wäre ein Hinweis auf eine enge neuronale Verbindung zwischen ToM und EF.

Dagegen würde die selektive Aktivierung bestimmter Gehirnareale im Kontext der Wunschattribution auf ein für die ToM spezialisiertes Modul hindeuten. Darüber hinaus steht die Funktion des IFG im Zentrum des Interesses, um Befunde zu replizieren, die auf die Wichtigkeit dieses Areals für die Hemmung der Eigenperspektive beim Mentalisierungsprozess hindeuten.

Basierend auf dem aktuellen Forschungsstand werden mehrere Hypothesen angenommen, die im Folgenden näher ausgeführt werden. Für die Daten der Verhaltensstudie wird erwartet, dass die Verarbeitung inkompatibler Wünsche in der 1. Person-Bedingung mit längeren Reaktionszeiten und einer höheren Fehlerrate im Vergleich zu kompatiblen Wünschen einhergeht, da die Involvierung der Eigenperspektive höhere inhibitorische Anforderungen stellt. Muss der Proband die eigene mentale Repräsentation mit einer konfligierenden Sichtweise des anderen koordinieren, erzeugt dies Kosten, was sich in den Verhaltensdaten widerspiegeln sollte. Für die Ergebnisse der fMRT-Studie wird im Allgemeinen angenommen, dass bei der Verarbeitung und Zuschreibung konfligierender Wünsche die bereits bekannten neuronalen Korrelate des ToM-Netzwerks rekrutiert werden, da bei konkurrierenden Wünschen als mentale Perspektivenprobleme ähnliche Verarbeitungsprozesse stattfinden sollten wie bei der Attribution falscher Überzeugungen. Von besonderem Interesse ist der Vergleich von inkompatiblen mit kompatiblen Wünschen in Abhängigkeit von der Perspektive (3I > 3C bzw. 1I > 1C), wobei für diesen Kontrast eine erhöhte funktionelle Aktivität im MPFC und in der rechten TPJ erwartet wird. Nachdem der ventrolaterale Präfrontalkortex einschließlich des IFG als neuronales Korrelat für die *self-perspective-inhibition* gilt, wird davon ausgegangen, dass sich in diesem Gehirnbereich eine erhöhte funktionelle Aktivität während der Zuschreibung inkompatibler Wünsche bei Involvierung der Eigenperspektive (entspricht dem Kontrast 1I > 1C während der Zuschreibungsphase) zeigt. Ist die Mehraktivierung des IFG spezifisch auf den Prozess der *self-perspective-inhibition* zurück zu führen, dann sollte der IFG nur in der 1. Person-Perspektive in Kombination mit inkompatiblen Wünschen rekrutiert werden. In der 3. Person-Bedingung und im Zusammenhang mit kompatiblen Wünschen dagegen scheint dieser Inhibitionsprozess nicht notwendig zu sein, da sich der Proband lediglich in der Beobachterrolle befindet bzw. kein Konflikt zwischen verschiedenen Sichtweisen entsteht. Die neuronalen Aktivierungsmuster von inhibitorischer Kontrolle, die sich im Kontrast NoGo > Go widerspiegeln, sollten sich hingegen auf ein neuronales

Netzwerk bestehend aus dem IFG, ACC und MPFC beziehen. Als Kandidaten für gemeinsame neuronale Korrelate von inhibitorischer Kontrolle und Wunschattribution gelten basierend auf bisherigen Erkenntnissen der dorsale MPFC, der IFG sowie Bereiche der temporal-parietalen Übergangsregion. Überlappende neuronale Aktivierungsmuster wären ein Hinweis auf das Vorliegen von gemeinsamen, grundlegenden Prozessen, die beide Fähigkeiten unterstützen. Die Rolle des MPFC läge hierbei domänenübergreifend in der Konflikterkennung bzw. im Konfliktmonitoring, während die TPJ Prozesse der Aufmerksamkeitsbereitstellung bzw. Aufmerksamkeitsreorientierung unterstützen könnte. Die Mehraktivierung des IFG könnte wichtige domänenübergreifende oder auch domänenspezifische Inhibitionsprozesse widerspiegeln.

2 Methoden Verhaltensstudie – Verarbeitung und Zuschreibung konfligierender Wünsche

2.1 Pilotstudie

Vor Durchführung des eigentlichen Experiments fand eine Pilotstudie statt, an der sechs Probanden teilnahmen ($M = 22,8$ Jahre, Altersbereich von 22-24 Jahre, davon eine männliche Versuchsperson). Sie durchliefen in einem Verhaltensexperiment eine erste Version der unten beschriebenen Wunschaufgabe (siehe Kap. 2.4). Ziel dieser Vorläuferstudie war, das entwickelte Paradigma bezüglich der Konzeption des Reizmaterials einschließlich Präsentationsdauer und Anzahl der Stimuli zu testen. Darüber hinaus konnten die Strategien, die die Versuchspersonen zur Bewältigung der Aufgabe anwendeten, analysiert werden. Im Zuge der Durchführung der Pilotstudie wurden wichtige Erkenntnisse zur Modifikation des Paradigmas gewonnen. Zum einen zeigte sich die Verlängerung der Präsentationsdauer einzelner Stimuli als erforderlich, um zu gewährleisten, dass ausreichend Zeit für die Verarbeitung der visuellen und semantischen Information des Reizmaterials zur Verfügung stand. Außerdem wurde aufgrund der Rückmeldung der Probanden ein Bild aus der Reizabfolge genommen, da es im experimentellen Ablauf als störend erlebt wurde und nicht relevant für den Ablauf des Paradigmas war.

Bestandteile und Eigenschaften des experimentellen Designs werden in den nachfolgenden Kapiteln des Methodenteils ausführlich erläutert. Die Daten der Versuchspersonen, die an der Pilotstudie teilnahmen, sind nicht Teil der Analysen in den folgenden Kapiteln.

2.2 Stichprobe

Es nahmen insgesamt 30 Versuchspersonen (davon neun männliche Probanden) mit einem durchschnittlichen Alter von 28.9 Jahren ($SD = 8.75$) an der Studie teil. Die Versuchspersonen waren Studenten der Psychologie sowie anderer Studienrichtungen, die überwiegend an der Universität Regensburg über einen Aushang rekrutiert wurden. Als Aufwandsentschädigung für ihre freiwillige Teilnahme erhielten Psychologiestudierende Versuchspersonenstunden, die sie als Leistungsnachweis für ihr Studium benötigten. Zusätzlich konnte jede Versuchsperson bei der Wunschaufgabe vier bis fünf Euro gewinnen.

2.3 Versuchsdesign

Der Schwerpunkt der vorliegenden Studie lag auf der Untersuchung von Verhaltenskorrelaten der Wunschattribution, welche mittels einer Wunschaufgabe (konzipiert als ein Münzwurfspiel mit Wettbewerbscharakter) erhoben wurden. Als Maß für die Leistung der Probanden dienten die Anzahl richtiger Antworten und die Reaktionszeiten. Als statistisches Maß wurde hierzu eine Varianzanalyse mit Messwiederholung sowie post-hoc t-Tests verwendet.

Der Wunschaufgabe lag ein zweifaktorieller Versuchsplan zugrunde mit den zweistufigen Faktoren *Perspektive* (1. Person vs. 3. Person) und *Kompatibilität* (kompatibel vs. inkompatibel), die innerhalb der Versuchspersonen variiert wurden (within-subject-Design). In der 1. Person-Bedingung war die Versuchsperson direkt in das Münzwurfspiel involviert, in der 3. Person-Perspektive dagegen nahm sie die Rolle des Beobachters ein. Die Bedingung mit inkompatiblen Wünschen beinhaltete, dass sich die Wünsche der Spieler voneinander unterschieden, während sie in der kompatiblen Wunschbedingung die gleiche Präferenz zeigten. Die Wunschaufgabe wird im Folgenden detaillierter beschrieben.

2.4 Aufgabe und Stimulusmaterial

Das für die Wunschaufgabe verwendete Stimulusmaterial bestand aus einzelnen Bildern, die die Verarbeitung und Zuschreibung von Wünschen erforderten. Die Stimulussequenz wurde mit dem Programm Presentation (Neurobehavioral Systems Inc., Albany, CA; <http://www.neurobs.com>) erstellt und auf einem Computerbildschirm präsentiert. Die Aufgabe wurde als wettbewerbsorientiertes Münzwurfspiel entworfen, bei dem zwei Personen gegeneinander spielten. Insgesamt wurden vier verschiedene Bedingungen realisiert: zwei Bedingungen mit kompatiblen Wünschen, jeweils für die 1. Person-Perspektive (1C) und 3. Person-Perspektive (3C), sowie analog zwei Bedingungen mit inkompatiblen Wünschen für die 1. Person-Perspektive (1I) und 3. Person-Perspektive (3I). Während in Durchgängen mit kompatiblen Wünschen beide Spieler die gleiche Präferenz zeigten, hatten die Spieler bei der inkompatiblen Wunschbedingung unterschiedliche Wünsche. Insgesamt gab es vier Spieler, darunter drei fiktive Spielfiguren („Lea“, „Max“, „Paul“) und die Versuchsperson selbst („Ich“). Bei Durchgängen der 1. Person-Perspek-

tive spielten ausschließlich „Paul“ und die Versuchsperson („Ich“) gegeneinander, während in der 3. Person-Bedingung „Lea“ gegen „Max“ spielte. Demzufolge war die Versuchsperson nur in der 1. Person-Bedingung als Spieler aktiv in das Spielgeschehen involviert, während die Probanden in der 3. Person-Bedingung die Rolle des Beobachters einnahmen. Bei der Gestaltung des Reizmaterials wurde eine vergleichbare optische Komplexität in den verschiedenen Bedingungen berücksichtigt, um es zudem im Rahmen eines fMRT-Experiments mit Kontrastierungs-Methode verwenden zu können.

Das erste Bild (Spielfeld), das den Versuchspersonen präsentiert wurde, stellte das vorgegebene Spielfeld dar und variierte in Abhängigkeit von der Bedingung. Das Spielfeld war in zwei Bereiche unterteilt, die verschiedene Kombinationen aus vier roten und blauen Münzen enthielten. Im oberen Bildabschnitt befanden sich zwei Sterne mit je einem Spielernamen, wodurch jedem Spieler ein Bereich des Spielfelds zugeordnet wurde. Da in Durchgängen mit kompatiblen Wünschen beiden Spielern die gleiche Münzkombination zugewiesen wurde, befanden sich die Sterne mit den Spielernamen über dem gleichen Spielfeldbereich. In Durchgängen mit inkompatiblen Wünschen jedoch erhielten die Spielteilnehmer unterschiedliche Münzkombinationen, d. h. die Spielernamen wurden demnach auch unterschiedlichen Bereichen des Spielfelds zugeordnet (siehe Abbildung 2.1). Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, sich bei Präsentation des ersten Bildes einzuprägen, wie viele rote und blaue Münzen jeder Spieler benötigte. Die Probanden wurden während der Instruktionsphase darüber informiert, dass im weiteren Spielverlauf die Münze viermal „geworfen“ wurde und derjenige Spieler den Durchgang gewinnen wird, dessen Kombination aus roten und blauen Münzen schließlich erzielt wird.

Für das Spielfeld wurden insgesamt fünf verschiedene Kombinationen bestehend aus vier roten und blauen Münzen verwendet, welche wiederum zu vier verschiedenen Bildern für das Spielfeld zusammengesetzt wurden. Die Auswahl dieser Kombinationen erfolgte unter Berücksichtigung der Durchführbarkeit bzw. Logik des Münzwurfspiels, d. h. es wurden nur solche Musterkombinationen verwendet, bei denen nach Präsentation des zweiten Bildes für beide Spieler in der inkompatiblen Wunschbedingung weiterhin die Möglichkeit bestand, den Durchgang zu gewinnen. Die Anordnung der Muster und Platzierung der Spielernamen (rechts oder links) sowie die Zuteilung der Münzkombinationen wurde über alle Bedingungen und Durchgänge hinweg ausbalanciert.

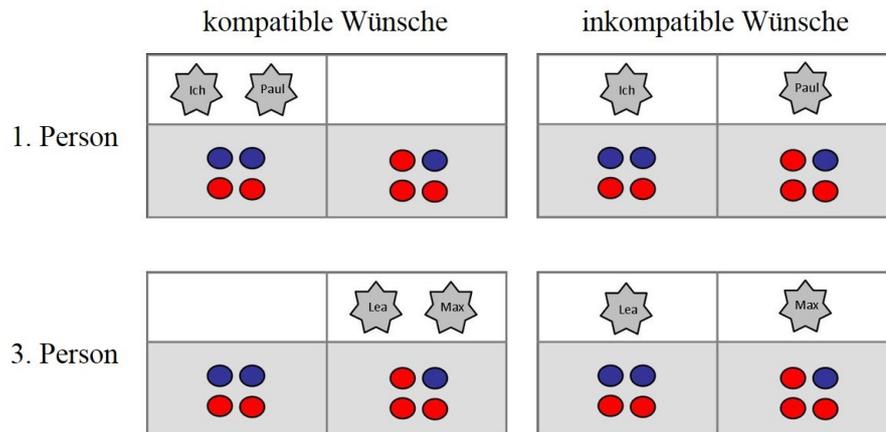


Abbildung 2.1

Exemplarische Darstellung des Spielfeldes für inkompatible und kompatible Wünsche in Abhängigkeit von der Perspektivenbedingung (1. Person bzw. 3. Person).

Nach Darbietung des Spielfelds präsentierte man den Probanden das zweite Bild (Wunschfrage), bei dem drei rote oder blaue Münzen in einer Reihe dargestellt wurden. Sie wurden instruiert, dass bereits drei Münzen geworfen worden waren und nun noch der vierte und letzte Wurf bevorstand (symbolisiert durch ein Fragezeichen). Dabei stellte man den Versuchspersonen die Frage, welche Farbe sich ein bestimmter Spieler beim vierten Münzwurf wünscht, um den Durchgang zu gewinnen. In Abbildung 2.2 ist beispielhaft ein Durchgang dargestellt bei dem die Versuchsperson jeweils zwei blaue und rote Münzen braucht, während Paul eine blaue und drei rote Münzen zum Sieg benötigt. Die richtige Antwort auf die Wunschfrage („Welche Farbe will Paul?“) wäre demzufolge „rot“, da vor dem letzten Münzwurf bereits eine blaue und zwei rote Münzen geworfen wurden.

Pro Durchgang wurde nach dem Wunsch eines Spielers gefragt und die Versuchspersonen sollten auf Grundlage des Spielfelds und der Wunschfrage entscheiden, welche Farbe für den entsprechenden Spieler zum Sieg führt. Wenn sie diese Entscheidung getroffen hatten, wurden sie dazu aufgefordert so schnell und so genau wie möglich per Tastendruck mit dem Zeige- bzw. Mittelfinger ihrer rechten Hand eine Antwort zu geben. Die Zuteilung des jeweiligen Fingers zur Taste (rot oder blau bzw. rechts oder links) wurde über alle Versuchspersonen hinweg ausbalanciert. Vor dem ersten und zweiten Bild, die als Targetstimuli dienten, wurde jeweils ein Fixationsbild bestehend aus einem schwarzen Fixationskreuz auf weißem Hintergrund gezeigt.

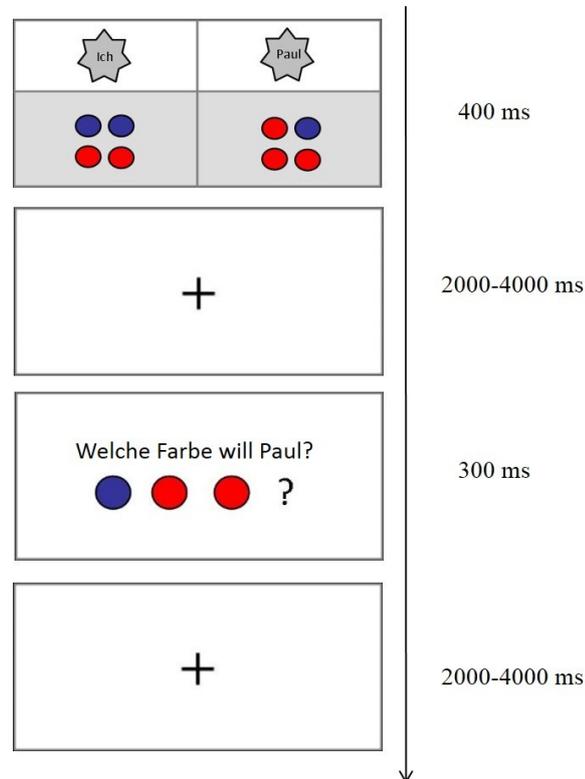


Abbildung 2.2

Exemplarische Abfolge der Präsentation des Stimulusmaterials für einen Durchgang mit inkompatiblen Wünschen in der 1. Person-Perspektive mit jeweiliger Präsentationsdauer der Stimuli.

Die Wunschaufgabe umfasste mit 32 Durchgängen pro Bedingung insgesamt 128 Durchgänge, die in randomisierter Reihenfolge dargeboten wurden. Alle Bilder wurden in Farbe auf weißem Hintergrund präsentiert. Dabei betrug die Präsentationsdauer des Spielfelds vier Sekunden, während die Wunschfrage drei Sekunden dargeboten wurde. Die Stimulusdauer des Fixationsbildes variierte zwischen zwei und vier Sekunden und wurde in 0.3 Sekunden-Schritten gejittert. Somit ergab sich eine Gesamtdauer der Wunschaufgabe von ca. 27 Minuten mit einer durchschnittlichen Trialdauer von 13 Sekunden. Die Präsentationsdauer der einzelnen Stimuli wurde so gewählt, dass ausreichend Zeit für die Verarbeitung der visuellen und semantischen Information des Münzwurfspiels und den Prozess der Wunschattribution zur Verfügung stand. Die Probanden sollten die Antworttaste während der Präsentation des zweiten Bildes drücken.

2.5 Versuchsablauf

Jede Versuchsperson wurde einzeln in einem ruhigen Raum des Bezirksklinikums Regensburg getestet. Vor Beginn der experimentellen Untersuchung unterzeichnete jeder Proband eine Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie und wurde darüber aufgeklärt, dass alle Daten anonym erhoben, vertraulich behandelt und nur für wissenschaftliche Zwecke verwendet wurden. Zur Erhebung soziodemografischer Daten (Alter, Geschlecht, Ausbildung, etc.) füllten die Probanden ein Stammdatenblatt aus (siehe Anhang B3). Anschließend erhielten die Probanden Informationen zum detaillierten Ablauf des Experiments. Diese Instruktion wurde mittels MS Powerpoint erstellt und diente dazu, den Probanden das Prinzip der Aufgabe und die verschiedenen Bedingungen zu verdeutlichen. Sobald sie das Spielprinzip verstanden hatten, durchliefen die Versuchspersonen ein Übungsexperiment am PC, das inhaltlich und bezüglich des Stimulusmaterials mit dem Original der Wunschaufgabe übereinstimmte. Jedoch wurde hierzu ein Teil der für die eigentliche Messung generierten Zufallsabfolge in umgekehrter Reihenfolge präsentiert. Die Probanden wurden instruiert bei Präsentation der Wunschfrage so schnell und so genau wie möglich ihre Antwort per Tastendruck auf einer handelsüblichen PC-Tastatur abzugeben.

Die experimentelle Untersuchung dauerte einschließlich der Instruktion und der Übung insgesamt ca. 40 Minuten, davon beanspruchte das eigentliche Experiment ca. 25 Minuten. Nach Ablauf der Testung wurde der Gewinnbetrag zwischen vier bis fünf Euro anhand eines Zufallgenerators am PC berechnet und ausgezahlt.

2.6 Auswertung

Die Verhaltensdaten wurden statistisch mit dem Programm IBM SPSS Statistics 22 (SPSS Inc., Chicago, IL) ausgewertet. Als Inner-Subjekt-Variablen wurde die Kompatibilität der Wünsche (inkompatibel vs. kompatibel) und Perspektive (1. vs. 3. Person) berücksichtigt. Ermittelt wurden die Anzahl richtiger Antworten in Prozent und die durchschnittlichen Reaktionszeiten in Millisekunden in den korrekt beantworteten Durchgängen der verschiedenen Bedingungen. Mittels einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung konnten Haupt- und Interaktionseffekte untersucht werden und mit Hilfe von post-hoc-t-Tests bei gepaarten Stichproben wurden die Bedingungen paarweise miteinander verglichen. Als Signifikanzniveau wurde ein p-Wert $\leq .05$ festgelegt.

3 Ergebnisse Verhaltensstudie – Verarbeitung und Zuschreibung konfligierender Wünsche

3.1 Verhaltensdaten unabhängig von der Perspektive bei der Wunschfrage

Um herauszufinden, welche Unterschiede sich bei der Wunschaufgabe in den vier verschiedenen Bedingungen zeigen, werden im Folgenden die Ergebnisse der Reaktionszeiten und Antwortgenauigkeiten dargestellt, jedoch ohne dass bei der Analyse berücksichtigt wurde, nach welchem Wunsch bzw. nach welchem Spieler zum Zeitpunkt der Präsentation des zweiten Bildes (*Wunschfrage*) gefragt wurde. Hierbei zeigte sich, dass die Versuchspersonen in der 1C-Bedingung 97.81 % (SD = 3.19 %) der Durchgänge, in der 3C-Bedingung 96.77 % (SD = 3.01 %), in der 1I-Bedingung 96.04 % (SD = 3.84 %) und in der 3I-Bedingung 94.47 % (SD = 3.64 %) der Durchgänge richtig beantworteten (siehe Abbildung 3.1). Sowohl der Faktor *Perspektive* als auch der Faktor *Kompatibilität* hatten einen signifikanten Einfluss auf die Leistung der Probanden [$F(1,29) = 4.945, p < .05$; $F(1,29) = 11.11, p < .01$]. Jedoch fand sich kein signifikanter Interaktionseffekt [$F(1,29) = 0.048, p = .49$]. Post-Hoc-T-Tests weisen darauf hin, dass die Probanden sowohl bei der 1. Person-Perspektive als auch bei der 3. Person-Perspektive eine bessere Leistung in Bedingungen mit kompatiblen Wünschen im Vergleich zu inkompatiblen Wünschen aufwiesen (1C vs. 1I: $t = 2.48, df = 29, p < .05$; 3C vs. 3I: $t = 3.19, df = 29, p < .01$). Insgesamt verzeichnen die Versuchspersonen sehr hohe Antwortgenauigkeiten (Deckeneffekt).

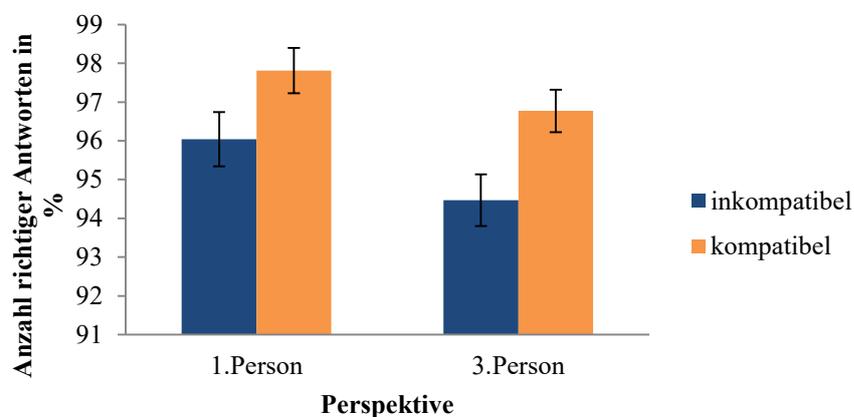


Abbildung 3.1

Mittlere Antwortgenauigkeit in Prozent ($M \pm SE$) in der 1C-, 1I-, 3C- und 3I-Bedingung ohne Berücksichtigung der Wunschfrage-Perspektive.

Bei den Reaktionszeiten ergab eine zweifaktorielle ANOVA, dass die Leistung der Probanden lediglich vom Faktor der *Kompatibilität* statistisch signifikant beeinflusst wurde [$F(1,29) = 99.14, p < .001$], wobei sich weder ein Haupteffekt der *Perspektive* noch ein Interaktionseffekt zeigte. Post-hoc-Vergleiche deuten darauf hin, dass die Probanden besser in der 1C-Bedingung gegenüber der 1I-Bedingung abschnitten ($t = -8.452, p < .001$) sowie schneller in der 3C-Bedingung als in der 3I-Bedingung ($t = -7.712, df = 29, p < .001$) reagierten (siehe Abbildung 3.2).

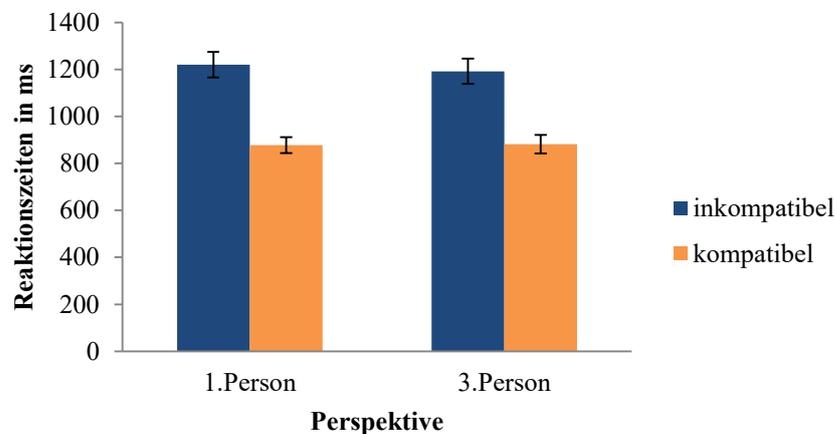


Abbildung 3.2

Durchschnittliche Reaktionszeiten ($M \pm SE$) in der 1C-, 1I-, 3C- und 3I-Bedingung ohne Berücksichtigung der Wunschfrage-Perspektive.

3.2 Verhaltensdaten in Abhängigkeit von der Perspektive bei der Wunschfrage

Da man aus den oben dargestellten Ergebnissen nicht schlussfolgern kann, ob und welchen Einfluss die Perspektive - die die Probanden zum Zeitpunkt der Wunschfrage einnehmen müssen - auf die Leistung bei der Wunschattribution hat, erfolgte eine detaillierte Analyse der 1. Person-Bedingung. Dazu wurden die Daten im Rahmen einer zweifaktoriellen ANOVA mit den Faktoren *Kompatibilität* und *Wunschfrage-Perspektive* analysiert. Sollten die Probanden bei inkompatiblen Wünschen sich selbst einen Wunsch zuschreiben (self-incompatible-Bedingung), erreichten sie eine Antwortgenauigkeit von

95.83 % (SD = 4.47). Bei der Zuschreibung kompatibler Wünsche aus der Eigenperspektive (self-compatible-Bedingung) wurden 98.33 % (SD = 3.26 %) der Durchgänge richtig beantwortet (siehe Abbildung 3.3). In der other-compatible-Bedingung zeigten sie eine Antwortgenauigkeit von 97.56 % (SD = 4.46 %) und in der other-incompatible-Bedingung wurden 96.25 % (SD = 5.09 %) der Durchgänge korrekt gelöst. Dabei wurde ein signifikanter Effekt der *Kompatibilität* offensichtlich [$F(1,29) = 6.37, p < .05$], die *Perspektive* bei der Wunschfrage dagegen beeinflusste die Leistung nicht signifikant. Mittels post-hoc-t-Tests konnte gezeigt werden, dass die Probanden bei der Zuschreibung kompatibler Wünsche in der Eigenperspektive (compatible-self) mehr Durchgänge richtig beantworteten als bei der Attribution eigener inkompatibler Wünsche (incompatible-self; $t = 3.25, p < .05, df = 29$).

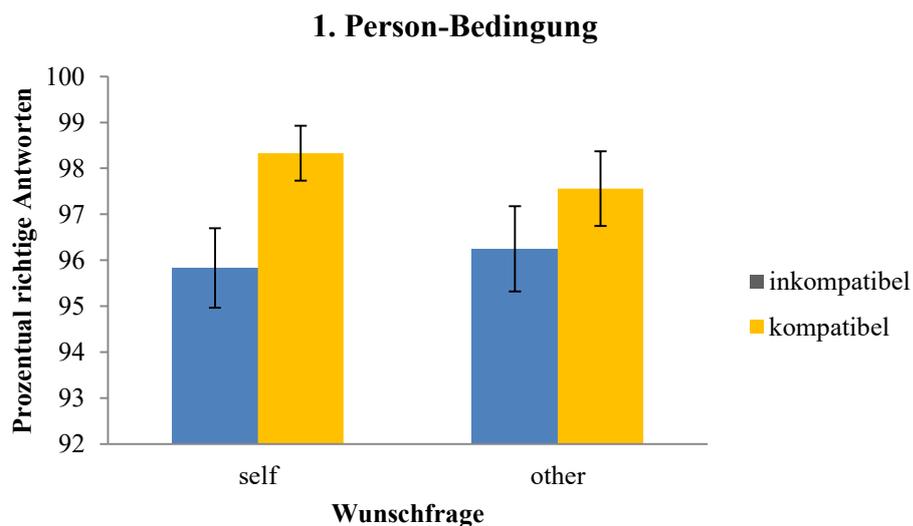


Abbildung 3.3

Mittlere Antwortgenauigkeit bei inkompatiblen und kompatiblen Wünschen für die 1. Person-Bedingung in Abhängigkeit von der Attributionsperspektive bei der Wunschfrage.

Betrachtet man die Leistung der Probanden hinsichtlich der Reaktionszeiten, so reagierten sie am schnellsten in der self-compatible-Bedingung mit einer mittleren Reaktionszeit von 722.95 ms (SD = 191.17 ms), gefolgt von 1034.72 ms (SD = 208.67 ms) in der other-compatible-Bedingung, 1205.53 ms (SD = 315.08 ms) in der self-incompatible-Bedingung sowie 1235.03 ms (SD = 314.13 ms) in der other-incompatible-Bedingung

(siehe Abbildung 3.4). Es gab sowohl signifikante Haupteffekte [Kompatibilität: $F(1,29) = 103.09$, $p < .001$; Perspektive-Wunschfrage: $F(1,29) = 54.63$, $p < .001$] als auch einen signifikanten Interaktionseffekt [$F(1,29) = 48.68$, $p < .001$]. Mittels t-Tests wurden die Unterschiede post-hoc genauer untersucht. Dabei wurde deutlich, dass die Probanden schneller in der Bedingung self-compatible reagierten verglichen mit self-incompatible ($t = -11.79$, $p < .001$, $df = 29$). Weitere signifikante Unterschiede zeigten sich im Vergleich other-compatible mit other-incompatible ($t = 5.35$, $p < .001$, $df = 29$) sowie self-compatible mit other-compatible ($t = -12.88$, $p < .001$, $df = 29$).

Zusammengefasst deuten diese Befunde darauf hin, dass die Probanden eine bessere Leistung bei kompatiblen Wünschen sowie schnellere Reaktionszeiten bei der Zuschreibung eigener Wünsche zeigen. Die eigene Perspektive scheint bei kompatiblen Wünschen einen hemmenden Einfluss zu haben, was sich durch längere Reaktionszeiten in der other-compatible-Bedingung bemerkbar macht.

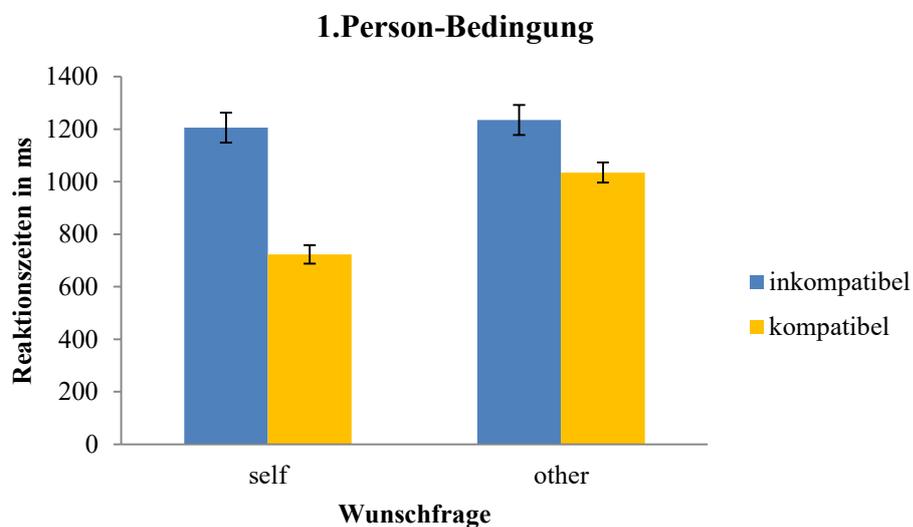


Abbildung 3.4

Mittlere Reaktionszeiten ($M \pm SE$) bei inkompatiblen und kompatiblen Wünschen für die 1. Person-Bedingung in Abhängigkeit von der Attributionperspektive bei der Wunschfrage (self vs. other).

4 Diskussion Verhaltensstudie – Verarbeitung und Zuschreibung konfligierender Wünsche

Der Fokus der behavioralen Studie lag auf dem Einfluss der Manipulation des Wunschstatus (kompatibel vs. inkompatibel) sowie der Perspektive, die bei der Wunschzuschreibung eingenommen wird. Im Folgenden sollen zunächst allgemein die Verhaltenskorrelate für die Verarbeitung von Wünschen in den vier verschiedenen Bedingungen der Wunschaufgabe diskutiert werden. Anschließend werden die Verhaltensdaten der 1. Person-Bedingung genauer interpretiert, welche nach der jeweiligen Perspektive differenziert wurden, die die Probanden zum Zeitpunkt der Wunschzuschreibung eingenommen haben.

4.1 Die Bedeutung der Verhaltensdaten der Wunschverarbeitung

Erwartungsgemäß zeigten sich bei der Verarbeitung von kompatiblen und inkompatiblen Wünschen signifikante Unterschiede in den Fehlerraten und Reaktionszeiten der Probanden. Die Probanden zeigten eine bessere Leistung bei kompatiblen Wünschen, d. h. es wurden längere Reaktionszeiten und höhere Fehlerraten in Bedingungen mit inkongruenten Wünschen gefunden. Zudem demonstrierten die Teilnehmer zwar eine höhere Antwortgenauigkeit, nicht aber schnellere Reaktionszeiten, wenn sie mit einem eigenen Wunsch in das Paradigma involviert waren (1. Person-Bedingung). Insgesamt erreichten die Probanden bezüglich der Antwortgenauigkeiten sehr hohe Werte, was aufgrund der Einfachheit der Aufgabenanforderungen erwartet wurde. Etwaige Unterschiede zwischen den einzelnen Bedingungen ließen sich aufgrund des Deckeneffekts nicht differenziert darstellen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Probanden über ein vollständig entwickeltes mentales Wunschkonzept verfügen und die Aufgabe dafür geeignet ist, um im zweiten Teil der vorliegenden Arbeit, die neuronalen Grundlagen dieses elaborierten Wunschverständnisses in einer fMRT-Untersuchung genauer zu beleuchten. Da es kaum Untersuchungen zu den Verhaltenskorrelaten der Wunschattriution bei Erwachsenen gibt, werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie vorwiegend im Hinblick auf die aktuelle entwicklungspsychologische Forschung der *belief-desire-psychology* diskutiert.

Betrachtet man die Ergebnisse, so bestätigte sich die Erwartung, dass Probanden bei der Verarbeitung von inkompatiblen Wünschen generell schlechter abschneiden als bei der Lösung von Aufgaben mit kompatiblen Wünschen. Dies steht im Einklang mit bisherigen Befunden zu konfligierenden Wünschen, die überwiegend aus entwicklungspsychologischen Studien mit Kindern stammen und zeigen, dass jüngere Kinder Schwierigkeiten damit haben, das Verhalten anderer vorherzusagen, wenn sie den Wunsch einer anderen Person ableiten müssen und dieser mit ihren eigenen Präferenzen im Konflikt steht (Cassidy et al., 2005; Moore et al., 1995; Rostad & Pexman, 2014). Aber auch in einer der wenigen Studien mit Erwachsenen zur Wunschattriution fand beispielsweise Abraham et al. (2010) heraus, dass Probanden für die Verarbeitung von inkongruenten Wünschen längere Reaktionszeiten und eine höhere Fehlerrate im Vergleich zu kongruenten Wünschen aufweisen. Jedoch gilt zu beachten, dass die Vergleichbarkeit der vorliegenden Studie mit den Ergebnissen von Abraham et al. (2010) nur bedingt möglich ist, da sich die Paradigmen der beiden Studien wesentlich voneinander unterscheiden. Im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung wurde bei Abraham et al. (2010) die Kongruenz der mentalen Zustände in Bezug auf die Erfüllung bzw. Nichterfüllung von Wünschen variiert, d. h. es wurde keine Divergenz im Sinne eines Perspektivenkonflikts zwischen den mentalen Repräsentationen verschiedener Personen erzeugt. Darüber hinaus lag der Fokus nicht auf dem Prozess der Zuschreibung von Wünschen, der mittels der Wunschfrage („Welche Farbe will X?“) induziert wurde, sondern auf den emotionalen Konsequenzen, die sich aus der korrekten Wunschattriution ergeben („Wird X das enttäuschen/gefallen?“).

Die längeren Reaktionszeiten und höheren Fehlerraten bei der Verarbeitung inkompatibler Wünsche deuten auf eine stärkere Beanspruchung kognitiver Ressourcen hin. Demnach können die Leistungsunterschiede in den vier Wunschbedingungen auf höhere exekutive Anforderungen bei inkompatiblen Wünschen zurückgeführt werden, die existieren, wenn zwei mentale Zustände miteinander konkurrieren. Das höhere Maß an exekutiven Funktionen bezieht sich dabei auf zwei Kernkomponenten der EF: die Inhibitionsfähigkeit und das Arbeitsgedächtnis. Auf der einen Seite erfordert die Verarbeitung inkompatibler Wünsche in der vorliegenden Versuchsaufgabe, dass gleichzeitig zwei mentale Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden müssen, bevor man sich in der darauffolgenden Testfrage für eines der beiden mentalen Modelle entscheidet. Auf der anderen Seite benötigt der anschließende Attributionsvorgang

inhibitorische Kontrolle, um unpassende mentale Repräsentationen zugunsten der richtigen Antwortalternative zu unterdrücken und auf diese Weise die Aufgabe korrekt zu lösen. Inhibitorische Kontrolle wird definiert als die Fähigkeit, die eigene Aufmerksamkeit, das Verhalten, die Gedanken oder Emotionen zielgerichtet zu steuern bzw. einer starken inneren Tendenz oder einem externen Anreiz zu widerstehen, um stattdessen das Verhalten zu zeigen, das in der momentanen Situation erforderlich ist (Diamond, 2013). Die Annahme, dass konfligierende Wünsche erhöhte inhibitorische Anforderungen stellen, ist konsistent mit den Erkenntnissen von entwicklungspsychologischen Studien, die signifikante Zusammenhänge zwischen EF und ToM zeigen. Die Mehrzahl dieser korrelativen Studien konzentrierte sich auf die Verbindung von exekutiven Funktionen mit der Attribution von falschen Überzeugungen (Carlson & Moses, 2001; Carlson, Moses et al., 2004; Chasiotis & Kiessling, 2004; Hala et al., 2003). Dabei wurde insbesondere die Korrelation zwischen der ToM und der inhibitorischen Kontrolle als bedeutend hervorgehoben, da diese stärker ausgeprägt und robuster zu sein scheint, als beispielweise der Zusammenhang zwischen ToM und der Arbeitsgedächtniskapazität, der nur moderate Korrelationen aufweist (Carlson et al., 2002; Kain & Perner, 2005). Mittlerweile existieren auch Untersuchungen, die einen positiven korrelativen Zusammenhang zwischen der Wunschattri-bution und den exekutiven Funktionen, u. a. der inhibitorischen Kontrolle bei Kindern zeigen (Rakoczy, 2010; Rostad & Pexman, 2014).

Tendenziell deuten die Verhaltensdaten der Wunschverarbeitung einen Unterschied zwischen der 1. Person- und 3. Person-Bedingung an. Dies ist als Hinweis darauf zu sehen, dass die Involvierung der Eigenperspektive im Vergleich zur Beobachterposition höhere exekutive Anforderungen stellt, was sich in den verlängerten Reaktionszeiten und der höheren Fehlerrate in der 1I –Bedingung widerspiegelt. Welchen Einfluss die Art der Perspektive (1. Person vs. 3. Person) – die die Probanden zum Zeitpunkt der Wunschzuschreibung einnehmen – auf den Zuschreibungsprozess bzw. auf die Leistung bei der Wunschattri-bution hat und welche Rolle inhibitorische Mechanismen in diesem Kontext spielen, wird im anschließenden Kapitel mittels einer differenzierten Analyse der Verhaltensdaten der 1. Person-Bedingung ausführlich diskutiert. Jedoch bietet die vorliegende Verhaltensstudie nur bedingt Interpretationsmöglichkeiten in Bezug auf die Involvierung inhibitorischer Prozesse bei der Zuschreibung von konfligierenden Wünschen, da die Verhaltenskorrelate isoliert für die Wunschattri-bution erhoben wurden und kein verglei-

chendes Verhaltensexperiment zu exekutiven Maßen durchgeführt wurde. Erst im Rahmen der Untersuchung von gemeinsamen neuronalen Korrelaten der Wunschattrition und der inhibitorischen Kontrolle wurde auch die Inhibitionsfähigkeit in einem Go-NoGo-Task gemessen (siehe Kap. 5.3.2). Die nachfolgende fMRT-Studie ermöglicht somit, differenzierte Aussagen über einen Zusammenhang zwischen beiden Konzepten zu machen. Aus diesem Grund wird auf die Bedeutung von EF für die Zuschreibung von konfligierenden Wünschen ausführlicher in Kapitel 7 im Rahmen der Diskussion der fMRT-Ergebnisse eingegangen.

4.2 Der Einfluss der Perspektive bei der Wunschzuschreibung

In einem zweiten Analyseschritt wurden die Ergebnisse der 1. Person - Bedingung differenzierter im Hinblick darauf betrachtet, welche Perspektive die Probanden bei der Wunschfrage einnehmen, d. h. ob sie sich selbst oder anderen einen mentalen Zustand zuschreiben sollten. Mit Hilfe dieser Analyse konnte der Einfluss der Perspektive (Eigen- vs. Fremdperspektive) im Zusammenspiel mit der Kompatibilität der Wünsche zum Zeitpunkt der Zuschreibung genauer untersucht werden. Gleichzeitig sollte überprüft werden, ob höhere Kosten bei inkompatiblen Wünschen zu beobachten sind, wenn der Proband einen eigenen Wunsch besitzt, der im Konflikt mit dem mentalen Zustand anderer steht. Sowohl die Ergebnisse der Reaktionszeiten als auch der Antwortgenauigkeiten weisen einen ähnlichen Trend auf. Die Probanden zeigten sowohl bei inkompatiblen Wünschen als auch bei der Zuschreibung von Wünschen anderer eine schlechtere Leistung. Bezüglich der Reaktionszeiten ergab sich zudem eine signifikante Interaktion zwischen der Wunschfrage-Perspektive und der Kompatibilität der Wünsche. Zwar unterschied sich die Leistung der Probanden bei inkompatiblen Wünschen zwischen den beiden Perspektivbedingungen nicht bedeutend voneinander, jedoch fiel die Leistung bei inkongruenten Wünschen sowohl in der *self*-Bedingung als auch in der *other*-Bedingung gegenüber kongruenten Wünschen ab. Das spricht dafür, dass sich die unterschiedlichen Perspektiven (*self* vs. *other*) bei der Zuschreibung von inkompatiblen Wünschen gegenseitig beeinflussten.

Belege für die gegenseitige Beeinflussung divergierender Perspektiven bei der Verarbeitung mentaler Repräsentationen erbrachten Studien zur visuellen Perspektivenübernahme, die sich mit Interferenzeffekten im Rahmen der Beurteilung von Informationen aus verschiedenen Perspektiven auseinandersetzen. In diesem Zusammenhang rückten

zwei Wirkmechanismen in den Vordergrund: die sogenannte egozentrische und allozentrische Intrusion. Nach Samson, Apperly, Braithwaite, Andrews und Bodley-Scott (2010) kann die Verarbeitung der eigenen Sichtweise einen interferierenden Einfluss auf die Einschätzung der Perspektive anderer haben (egozentrischer Intrusionseffekt), d. h. es zeigen sich langsamere Reaktionszeiten und mehr Fehler beim Vorliegen inkongruenter Sichtweisen im Vergleich zu kongruenten Bedingungen. Im Gegensatz dazu bezeichnet die allozentrische Intrusion einen störenden Prozess infolge der automatischen Verarbeitung der Perspektive von anderen, wenn die eigene Sichtweise wiedergegeben werden soll. Die Folge ist eine schlechtere Leistung beim Vorhandensein von widersprüchlichen Sichtweisen, da die Beurteilung der eigenen Perspektive durch die Sichtweise des anderen gestört wird. Die Ergebnisse der 1. Person – Bedingung stehen im Einklang mit den Befunden von Samson et al. (2010), da sie Hinweise auf eine gegenseitige Beeinflussung der Perspektiven in Form von egozentrischer und allozentrischer Intrusion geben. Zum einen zeigten die Probanden bei inkompatiblen Wünschen längere Reaktionszeiten, wenn sie die Wünsche anderer zuschreiben sollten (egozentrische Intrusion), zum anderen traten verlängerte Reaktionszeiten auf, wenn die Teilnehmer eigene Wünsche attribuieren mussten (allozentrische Intrusion). Dass im Zuge der Bewältigung der Wunschaufgabe eine gegenseitige Beeinflussung der eigenen und der fremden Perspektive stattfand, scheint plausibel. Die II-Bedingung der hier verwendeten Aufgabe verlangte von den Probanden, dass sie gleichzeitig den eigenen und den fremden Wunsch im Arbeitsgedächtnis präsent halten. Erst als die Wunschfrage gestellt und somit der Zuschreibungsprozess in Gang gesetzt wurde, war deutlich, welche mentale Repräsentation (der eigene vs. der fremde Wunsch) relevant für die Lösung der Aufgabe war.

Darüber hinaus deuten die Verhaltensdaten an, dass die Zuschreibung von konfligierenden Wünschen mit höheren Kosten in Form von verlängerten Reaktionszeiten einhergeht. Sowohl bei der Zuschreibung von fremden (*other*-Bedingung) als auch von eigenen Wünschen (*self*-Bedingung) zeigten die Probanden eine schlechtere Leistung, wenn die Wünsche miteinander im Widerspruch standen (inkompatible Bedingung). Dieser Befund ist ein Hinweis darauf, dass bei konfligierenden Wünschen zusätzliche Prozesse in Gang gesetzt werden, die für eine erfolgreiche Bewältigung der Aufgabe benötigt werden, aber zu Kosten führen. Beispielsweise wäre es möglich, dass bei konfligierenden Wünschen eine größere Interferenz zwischen verschiedenen Perspektiven besteht, die nur mit Hilfe

von inhibitorischen Mechanismen gelöst werden kann. Der Leistungsunterschied zwischen kompatiblen und inkompatiblen Wünschen in der *other*-Bedingung kann folglich als Anzeichen für das Inkrafttreten der *self-perspective-inhibition* gewertet werden. Demzufolge muss bei inkompatiblen Durchgängen der eigene Wunsch gehemmt werden, um die Sichtweise des anderen einnehmen zu können und entsprechend seines mentalen Zustands zu agieren, was mit längeren Reaktionszeiten einhergeht. Jedoch gilt auch hier zu beachten, dass konkrete Aussagen über die Involvierung von Inhibitionsmechanismen im Rahmen der Interpretation der Verhaltensdaten nur begrenzt möglich sind. Aus diesem Grund erscheint die Untersuchung der Wunschattriution mit Hilfe des vorliegenden Paradigmas im Zuge einer fMRT-Studie als unerlässlich, um ergänzend zu den Verhaltenskorrelaten, fundierte Erkenntnisse über zugrundeliegende neuronale Mechanismen zu erhalten. Hierfür wurde die Zuschreibung konfligierender Wünsche im fMRT-Scanner untersucht sowie deren neuronalen Aktivierungen mit den funktionalen Aktivierungsprofilen der inhibitorischen Kontrolle (erhoben mittels eines Go-NoGo-Tasks) verglichen. Im folgenden Teil der Arbeit erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Untersuchungsmethoden der durchgeführten fMRT-Studie, bevor anschließend die Ergebnisse dargestellt und diskutiert werden.

5 Methoden fMRT-Studie – Neuronale Korrelate von Wunschattri- bution und inhibitorischer Kontrolle

5.1 Stichprobe

Es nahmen insgesamt 27 Versuchspersonen an der fMRT- Studie teil. Von diesen konnten drei Probanden aufgrund von Platzangst, technischer Probleme während der Scanner-Messung oder sehr hohen Fehlerraten bei einer Aufgabe nicht in die Auswertung mit einbezogen werden. Letztendlich gingen die Daten von 24 Probanden (darunter zwei Männer) im Alter von 18 bis 44 Jahren mit einem Durchschnittsalter von 23.17 Jahren in die Analyse mit ein. Die Versuchspersonen wurden an der Universität Regensburg über einen Aushang rekrutiert und waren überwiegend Psychologiestudenten. Als Entlohnung für ihre freiwillige Teilnahme erhielten sie einen Geldbetrag von 12 Euro. Zusätzlich konnte jede Versuchsperson bei der Wunschaufgabe vier bis fünf Euro gewinnen sowie eine MRT-Aufnahme seines Gehirns bekommen. Die Psychologiestudenten unter den Probanden erhielten für die Teilnahme anstatt des Geldes Versuchspersonen- bzw. Forschungsstunden. Einschlusskriterien waren ein Altersbereich von 18 bis 55 Jahren und Rechtshändigkeit. Als Ausschlusskriterien wurden das Vorliegen einer psychiatrischen oder neurologischen Krankheit, einer Schwangerschaft, metallischer Implantate oder andere nicht zu entfernende metallische Gegenstände (z. B. Retainer, Zahnspangen) insbesondere im Kopfbereich der Probanden festgelegt. Direkt vor der Messung im fMRT-Scanner wurden alle weiteren relevanten Kontraindikationen sorgfältig abgeklärt, wozu z. B. Operationen an Herz oder Kopf oder das Vorliegen von Medikamentenpumpen zählten (siehe Anhang B2).

5.2 Versuchsdesign

Das Experiment umfasste zwei Blöcke bestehend aus der Wunschaufgabe und der Aufgabe zur inhibitorischen Kontrolle. Zwischen den Aufgaben wurde eine Pause von einer Minute eingehalten, in der den Probanden ein grauer Bildschirm mit einer Instruktion als Hinweis auf den Beginn der nachfolgenden Aufgabe präsentiert wurde. Während dieser Pause wurde die fMRT-Messung nicht unterbrochen, um eine Homogenität des Magnetfelds zu gewährleisten. Jede Versuchsperson durchlief nacheinander beide Aufgaben im

Rahmen einer fMRT-Messung, wobei bei der einen Hälfte der Versuchspersonen zuerst die Wunschaufgabe und beim anderen Teil der Versuchspersonen zuerst die Inhibitionsaufgabe realisiert wurde. Der zugrundeliegende Versuchsplan der Wunschaufgabe ist in Kapitel 2.3 ausführlich beschrieben. Die Aufgabe zur inhibitorischen Kontrolle bestand aus Go- und NoGo-Durchgängen, die randomisiert präsentiert wurden.

Der Schwerpunkt dieser Studie lag auf der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen inhibitorischer Kontrolle und Wunschattribution auf der Ebene des Verhaltens sowie auf neuronaler Ebene. Als statistisches Maß wurden hierzu eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung und t-Tests verwendet. Auf Verhaltensebene wurde die Leistung der Probanden mittels der Anzahl richtiger Antworten und der Reaktionszeiten bei beiden Aufgaben gemessen. Während der Go-NoGo-Aufgabe wurde die Anzahl korrekter motorischer Reaktionen in Go-Durchgängen („Hits“) und Zurückhalten der motorischen Antwort in NoGo-Durchgängen („Correct Rejections“) sowie die Reaktionszeiten in der Go-Bedingung aufgezeichnet. Fehler in Go-Durchgängen („Miss“) und NoGo-Durchgängen („false alarm“) gingen nicht in die Analyse mit ein. Auf neuronaler Ebene erfasste man die Aktivierung von Gehirnarealen, die durch Veränderungen im zerebralen Blutfluss (BOLD-Signal) des Gehirns operationalisiert wurden. Während bei der Wunschaufgabe der Fokus auf Prozessen der Wunschattribution (1. und 2. Bild) lag, wurde bei der Aufgabe zur inhibitorischen Kontrolle die Verarbeitung entsprechender Stimuli zum Zeitpunkt des Inhibitionsprozesses (NoGo-Durchgänge) untersucht. Beide Aufgaben werden im Folgenden detailliert beschrieben.

5.3 Aufgabe und Stimulusmaterial

5.3.1 Aufgabe zur Wunschattribution

Die in der fMRT-Studie verwendete Wunschaufgabe ist bis auf geringfügige Abweichungen identisch mit der Aufgabe und dem Reizmaterial, das auch in der Verhaltensstudie (siehe Kap. 2.4) verwendet wurde. Es wurden wieder die vier Bedingungen 1C (1. Person, kompatible Wünsche), 3C (3. Person-Perspektive, kompatible Wünsche), 1I (1. Person-Perspektive, inkompatible Wünsche) und 3I (3. Person-Perspektive, inkompatible Wünsche) realisiert. Ein wichtiger Unterschied bezieht sich jedoch auf die Anzahl der präsentierten Bilder. Während die Probanden beim Verhaltensexperiment bereits zum Zeitpunkt der Präsentation des zweiten Bildes ihre Antwort so schnell wie möglich geben sollten,

wurden sie in der fMRT-Studie instruiert, zunächst zu überlegen, wie sie die Wunschfrage beantworten würden, ohne eine Taste zu drücken. Erst bei Darbietung eines dritten Bildes (Antwortbild), bestehend aus einer roten und einer blauen Münze, sollten sie ihre Antwort per Tastendruck abgeben. Demzufolge wurden die Versuchsteilnehmer erst zu diesem Zeitpunkt dazu aufgefordert, auf Grundlage des Spielfelds und der Wunschfrage zu entscheiden, welche Farbe für den jeweiligen Spieler zum Sieg führt. Wenn sie diese Entscheidung getroffen hatten, sollten sie so schnell und so sorgfältig wie möglich eine von zwei Tasten einer fMRT-kompatiblen Tastatur mit dem Zeige- bzw. Mittelfinger ihrer rechten Hand drücken. Die Zuteilung des jeweiligen Fingers zur Antwort (rot oder blau) wurde über alle Versuchspersonen hinweg ausbalanciert.

Vor dem ersten und zweiten Bild, die als Targetstimuli dienten, wurde jeweils ein Fixationsbild mit einem schwarzen Kreuz auf weißem Hintergrund gezeigt. Damit sollte verhindert werden, dass das BOLD-Signal der vorhergehenden Stimuli die BOLD-Antworten des interessierenden Prozesses im ersten und zweiten Bild (= Mentalisierungsbedingung; ToM-Prozess der Wunschzuschreibung) überlagerten. Der experimentelle Ablauf der Wunschaufgabe ist beispielhaft für die vier verschiedenen Bedingungen in Abbildung 5.1 dargestellt.

Die Präsentationsdauer des Spielfelds betrug vier Sekunden, die Wunschfrage wurde drei Sekunden und das Antwortbild eineinhalb Sekunden dargeboten. Die Stimulusdauer des Fixationsbildes variierte zwischen zwei und vier Sekunden und wurde in 0.3 Sekunden-Schritten gejittert. Somit ergab sich eine Gesamtdauer der Wunschaufgabe von 31.37 Minuten bei einer durchschnittlichen Trialdauer von 14.5 Sekunden. Die Präsentationsdauer der einzelnen Stimuli wurde so gewählt, dass ausreichend Zeit für die Verarbeitung der visuellen und semantischen Information des Münzwurfspiels und den Mentalisierungsprozess zur Verfügung stand. Die Probanden sollten die Antworttaste während des dritten Bildes drücken, wobei die Antworten auch noch während der ersten 2000 Millisekunden des nachfolgenden Fixationsbildes aufgezeichnet und ausgewertet wurden.

Die Wunschaufgabe umfasste insgesamt 128 Durchgänge (je 32 pro Bedingung), die in randomisierter Reihenfolge dargeboten wurden. Alle Bilder wurden in Farbe auf weißem Hintergrund präsentiert.

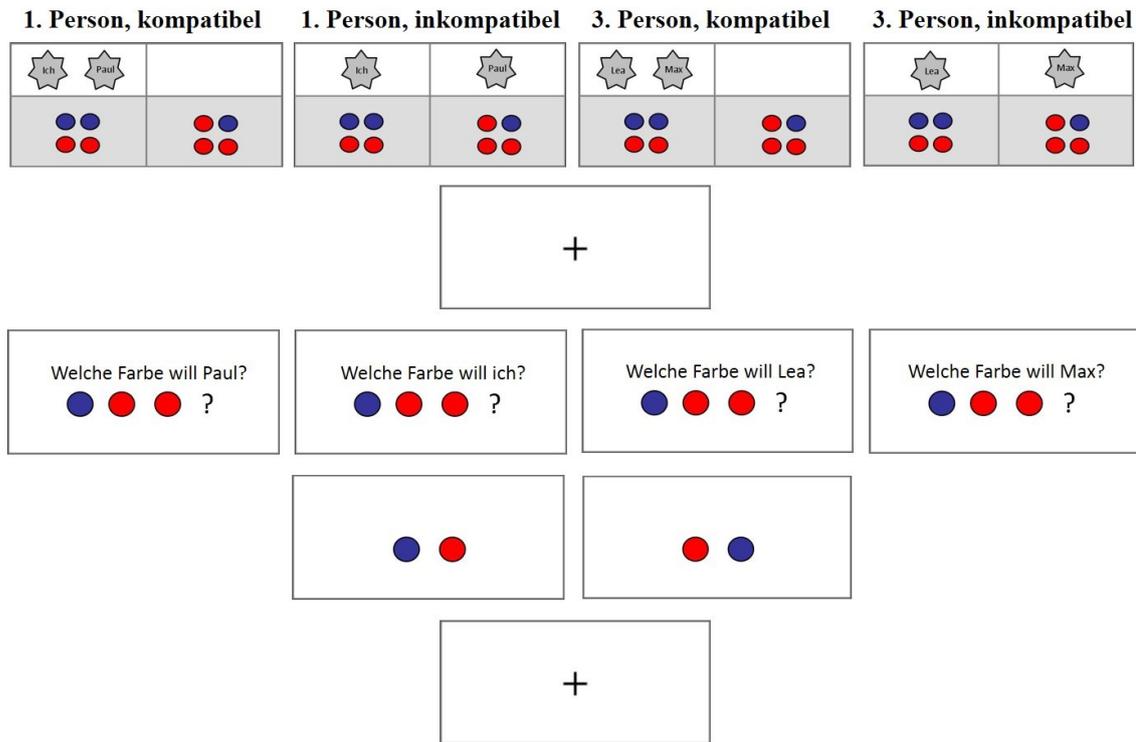


Abbildung 5.1

Abfolge der Präsentation des Stimulusmaterials der Wunschaufgabe im Kernspintomograph für die Bedingung 1C (kompatible Wünsche, 1. Person), 1I (inkompatible Wünsche, 1. Person), 3C (kompatible Wünsche, 3. Person), 3I (inkompatible Wünsche, 3. Person).

5.3.2 Aufgabe zur inhibitorischen Kontrolle

Für die Aufgabe zur Erfassung der inhibitorischen Kontrolle wurde ein klassisches Go-NoGo-Paradigma in Anlehnung an Rothmayr et al. (2011) realisiert. Als Stimulusmaterial wurden fünf einzelne Muster aus der Wunschaufgabe verwendet, die bezüglich der Anzahl an roten und blauen Münzen differierten. Diese Muster wurden nacheinander in randomisierter Reihenfolge auf einem weißen Hintergrund präsentiert, wobei die Darbietung der Stimuli alternierend durch das Erscheinen eines schwarzen Fixationskreuzes unterbrochen wurde (siehe Abb. 5.2). Die Aufgabe umfasste zwei Bedingungen. In der Go-Bedingung wurden die Versuchspersonen dazu aufgefordert, so schnell und so genau wie möglich mit dem Zeigefinger der rechten Hand eine Taste zu drücken, wenn sich das Muster des aktuellen Bildes von der Münzkombination des vorherigen Bildes unterschied. Blieben die Muster in aufeinanderfolgenden Durchgängen jedoch gleich, sollte keine Taste gedrückt werden (NoGo-Bedingung). Insgesamt bestand das Paradigma aus 200 Durchgängen mit 160 Go- und 40 NoGo-Durchgängen. Dieses Go-NoGo-Verhältnis von 1:4 sollte gewährleisten, dass die Versuchspersonen eine vorherrschende Antworttendenz entwickelten und auf diese Weise auch in NoGo-Durchgängen zum Tastendruck tendierten. Die Bilder der Münzkombinationen wurden jeweils 1000 Millisekunden präsentiert. Die Stimulusdauer des Fixationsbildes dagegen variierte zwischen 2000 bis 4000 Millisekunden und wurde mittels 300 Millisekunden-Abständen gejittert. So ergab sich eine durchschnittliche Triallänge von 4000 Millisekunden, was zur Gesamtdauer des Paradigmas von 13.3 Minuten beitrug.

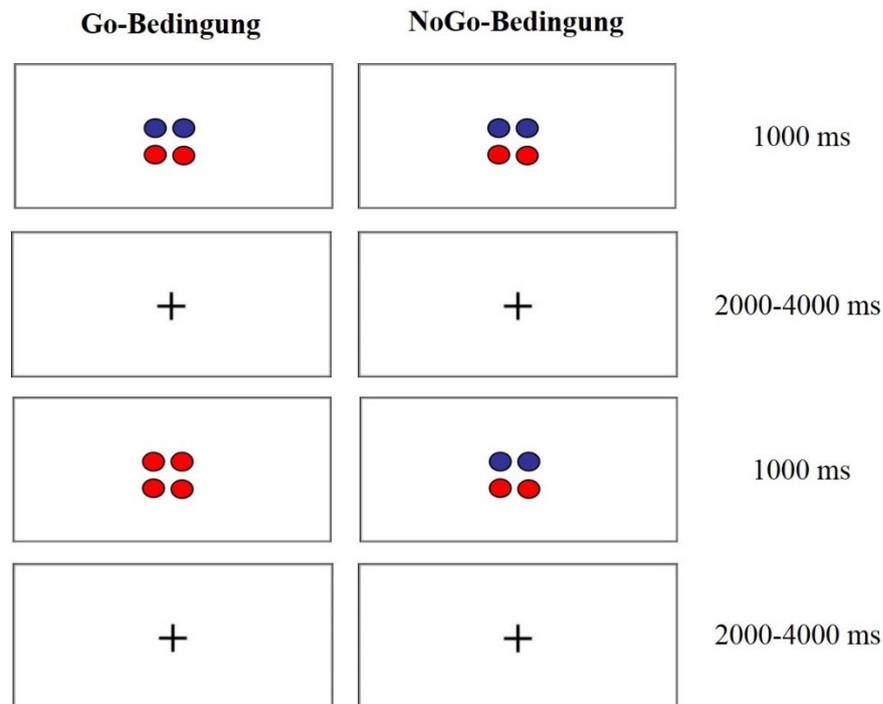


Abbildung 5.2

Exemplarische Präsentationsabfolge des Stimulusmaterials der Go-NoGo-Aufgabe für die Go- und NoGo-Bedingung im Kernspintomograph mit jeweiliger Stimuluspräsentationsdauer.

5.4 Versuchsablauf

Jede Versuchsperson nahm einmalig an einer Untersuchung im fMRT-Scanner teil. Vor Beginn der Scanning-Session erhielten alle Probanden ein Informationsblatt (siehe Anhang B2), das die generelle Funktions- und Vorgehensweise einer Kernspinnmessung erläuterte und speziell auf den Ablauf dieses Experiments einging. In diesem Rahmen wurden potenzielle Kontraindikationen für die fMRT-Messung abgefragt. Darüber hinaus unterzeichnete jeder Proband eine Einverständniserklärung zur freiwilligen Teilnahme an der Studie und wurde darüber aufgeklärt, dass alle Daten anonym erhoben, vertraulich behandelt und nur für wissenschaftliche Zwecke verwendet wurden (siehe Anhang B1). Zur Erhebung soziodemografischer Daten wie Alter, Geschlecht, Ausbildung, etc. füllten die Probanden ein Stammdatenblatt aus (siehe Anhang B3).

Anschließend wurde den Probanden der genaue Ablauf der fMRT-Messung erklärt und anhand einer einführenden Instruktion erhielten sie Informationen zum detaillierten Ablauf des Experiments. Diese Instruktion wurde mittels MS Powerpoint erstellt und diente dazu, den Probanden das Prinzip der zwei Aufgaben und die verschiedenen Bedingungen zu verdeutlichen. Vor Beginn der eigentlichen Messung durchliefen die Versuchspersonen ein Übungsexperiment, das inhaltlich und bezüglich des Stimulusmaterials mit dem Originalexperiment übereinstimmte, jedoch nur einen Teil der Durchgänge in umgekehrter Reihenfolge enthielt. Zu Übungszwecken wurden für die Wunschaufgabe 10 Durchgänge der vier Bedingungen randomisiert präsentiert, während die Übung der Aufgabe zur inhibitorischen Kontrolle 25 Go- und NoGo-Durchgänge umfasste. Nach dem Übungsdurchlauf und der Unterzeichnung der Einverständniserklärung begann die Messung im Kernspintomographen. Die Versuchsteilnehmer wurden in Rückenlage mit dem Kopf nach vorn auf der Liege des 3-Tesla-Geräts positioniert und dazu aufgefordert, sich während der gesamten fMRT-Messung so ruhig wie möglich zu halten. In der rechten Hand hielten sie die Reaktionsbox mit einer fMRT-kompatiblen Tastatur und in der linken Hand eine Notfallklingel, mit der sie sich bei Schwierigkeiten während der Messung bemerkbar machen konnten. Über dem Kopf wurde eine Spule mit integriertem Spiegel befestigt, über den die Versuchspersonen die Stimuli einsehen konnten.

Die experimentelle Scanning-Session dauerte ca. 45 Minuten (Wunschaufgabe: ca. 32 Minuten; Aufgabe zur inhibitorischen Kontrolle: ca. 10 Minuten), gefolgt von einer siebenminütigen strukturellen Aufnahme des Gehirns, während der die Versuchspersonen ruhig liegen bleiben sollten.

5.5 Technik und Scannerparameter

Die Stimulussequenz für die fMRT-Messung und die Vorübungen wurde mit dem Programm Presentation (Neurobehavioral Systems Inc., Albany, CA; <http://www.neurobs.com>) erstellt. Das Stimulusmaterial wurde mit Hilfe eines Stimulusrechners und Video-Beamers auf eine Leinwand projiziert, welche von den Probanden über einen an der Kopfspule befestigten Spiegel betrachtet werden konnte. Die Antworten der Probanden wurden über die Betätigung der Tasten einer fMRT-kompatiblen Tastatur der Firma LUMItouch (Photon Control Inc., Burnaby, Canada) aufgezeichnet.

Die fMRT-Untersuchung erfolgte an einem 3-Tesla-MR-Gerät (Siemens Allegra, Erlangen, Deutschland) am Bezirksklinikum der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und

Psychotherapie der Universität Regensburg. Neben der funktionellen Messung wurde am Anfang ein Circle-Localizer durchgeführt. Die funktionellen Bilder entstanden mittels „Blood-Oxygen-Level-Dependent“- (BOLD)- Kontraste, die durch eine T2*-gewichtete Echo-Planar-Imaging-Sequenz (EPI-Sequenz) aufgenommen wurden [TR = 2000 ms, TE = 30 ms, flip angle = 90° in einer ebenen Matrix von 64 mm x 64 mm, FoV (Field of View) = 192 mm]. Diese EPI-Sequenz bestand aus 32 axialen Schichten mit einer Schichtstärke von 3 mm und Voxelgröße von 3 x 3 x 3 mm³. Insgesamt wurden während der fMRT-Messung 1357 Volumina aufgezeichnet, wobei die ersten vier Messungen der EPI-Sequenzen automatisch verworfen wurden. Für eine strukturelle Aufnahme des gesamten Gehirns der Versuchsperson erfolgte nach der Erhebung der EPI-Sequenzen eine hochauflösende T1-gewichtete isotrope 3D-Gradienten-Echo-Sequenz, eine sogenannte MPAGE (Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo) mit entsprechenden Parametern (TR = 2250 ms, TE = 2,6 ms, flip angle = 9°, FoV = 256 mm², Voxelgröße = 1x1x1 mm³, 160 axiale Schichten).

5.6 Auswertung

5.6.1 Verhaltensdaten

Die während des fMRT-Experiments erhobenen Verhaltensdaten wurden statistisch mit dem Programm IBM SPSS Statistics 22 (SPSS Inc., Chicago, IL) ausgewertet. Für die Wunschaufgabe wurden die Inner-Subjekt-Variablen bezüglich der Kompatibilität der Wünsche (inkompatibel vs. kompatibel) und Perspektive (1. vs. 3. Person) berücksichtigt. Ermittelt wurden die Anzahl richtiger Antworten in Prozent und die durchschnittlichen Reaktionszeiten in Millisekunden in den richtig beantworteten Durchgängen der verschiedenen Bedingungen beider Aufgaben. Mittels einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung wurden Haupt- und Interaktionseffekte untersucht. Mit Hilfe von post-hoc-t-Tests bei gepaarten Stichproben wurden die Bedingungen paarweise miteinander verglichen. Als Signifikanzniveau wurde ein p-Wert $\leq .05$ festgelegt. Aufgrund technischer Probleme während der Messung gingen die Verhaltensdaten einer Versuchsperson nicht in die Auswertung mit ein.

5.6.2 fMRT-Daten

Vorverarbeitung

Die statistische Auswertung der fMRT-Daten erfolgte in SPM8 (Statistical Parametric Mapping; Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London, UK), einer Software, die auf dem Programm MATLAB 7 (The MathWorks Inc., Natick, MA) basiert. Die im Scanner erhobenen funktionellen und strukturellen Bilder, die im DICOM-Format (Digital Imaging and Communications in Medicine) aufgezeichnet wurden, wurden zur Datenanalyse in SPM8 zunächst umgewandelt (Neuroimaging Informatics Technology Initiative, NIfTI - Format). Im ersten Schritt der Vorverarbeitung der Daten wurde die Korrektur der Scanzzeiten (Slicetime Correction) aller Volumen der EPI-Sequenz durchgeführt, um eine zeitgleiche Aufnahme aller Schichten eines Volumen sicherzustellen, wobei als Referenz die mittlere Schicht verwendet wurde. Mittels der 3D-Bewegungskorrektur (Realignment) wurden Artefakte durch Kopfbewegungen der Probanden herausgerechnet. Als Referenzwert diente das erste der 1357 Volumen. Nach der Berechnung der Volumen einer Versuchsperson zu einem funktionellen mittleren Bild wurde dieses gemittelte Bild im nächsten Schritt (Coregistration) über das jeweilige strukturelle T1*-gewichtete Bild des Probanden gelegt. Anschließend fand die Normalisierung des funktionellen mittleren Bildes auf das Montreal Neurological Institute (MNI) - Referenzgehirn mit einer Voxelgröße von 2x2x2 mm statt. Im letzten Schritt der Vorverarbeitung wurde zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses eine räumliche Glättung (Smoothing) mit einem Full-Width Half-Maximum (FWHM) Gaussschen Filter von 8 mm durchgeführt.

First-Level-Analyse

Bei der vorliegenden Studie handelte es sich um ein event-related Design, bei dem sich die statistischen Analysen auf die funktionelle Aktivität des gesamten Gehirns bezogen (whole-brain analysis). Im Gegensatz zu Blockdesigns können hierbei Bold-Signalveränderungen in kürzeren Zeitabständen untersucht werden.

In der First-Level-Analyse erfolgte für jeden Probanden eine Fixed-Effects-Analyse basierend auf dem Allgemeinen Linearen Modell (General Linear Model; GLM). Als Grundmodell diente die Box-Car-Waveform (Friston et al., 1998), wodurch zeitliche und

räumliche Verschiebungen in der hämodynamischen Antwortfunktion (HRF) auf die Stimuli berücksichtigt wurden. Hierzu wurden zunächst interessierende Zeitintervalle (Regressoren) spezifiziert. Bei der Wunschaufgabe bezogen sich die Analysen auf Amplitudenveränderungen in der HRF während der Präsentation der Targetstimuli (1. und 2. Bild) im gesamten Gehirn. Zur Berechnung der Kontraste wurden nur die Signale während der Präsentationsdauer der Targetstimuli (4 sec beim 1. Bild, 3 sec beim 2. Bild) in den vier Bedingungen herangezogen, während andere Stimuli nicht als Regressoren in die Designmatrix mit einbezogen wurden. Die verschiedenen Bedingungen der Wunschaufgabe (1C, 1I, 3C, 3I) wurden separat und jeweils getrennt für die Kalkulationsphase (Spielfeld) sowie Selektionsphase (Wunschfrage) statistisch modelliert. Die Fixationsperioden dienten als Interstimulus-Baseline. Zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses gingen auch nicht interessierende Zeitintervalle (3. Bild) des Experiments in die Designmatrix mit ein, ohne dass sie eine Bedeutung für spätere Analysen haben.

Beim Go-NoGo-Experiment wurden Veränderungen der HRF während der Präsentation der Targetstimuli (Dauer: 1 sec) analysiert, wobei Go- und NoGo-Durchgänge jeweils separat modelliert wurden. Die Fehler („miss“ bei Go-Trials, „false alarm“ bei NoGo-Trials) wurden als nicht interessierende Ereignisse (events of no interest) in die Designmatrix aufgenommen. Die Regressoren der Wunsch- und Inhibitionsaufgabe wurden in das gleiche statistische Modell aufgenommen und bildeten die Designmatrix. Dabei gingen in die statistische Analyse nur richtig beantwortete Durchgänge der Wunsch- und Inhibitionsaufgabe ein. Zur Berücksichtigung von Bewegungsartefakten wurden sechs Kovariablen und eine Fehlerkonstante über alle Scans in die Analyse mit einbezogen. Ein Hochfrequenzfilter mit einem Cut-Off bei 128 s diente der zeitlichen Filterung der Daten.

Um zu untersuchen, welche Gehirnareale allgemein mit der Verarbeitung inkompatibler Wünsche im Zusammenhang stehen, unabhängig davon, ob die Versuchsperson persönlich in das Szenario involviert ist, d. h. selbst einen Wunsch besitzt, oder ob sie lediglich die Wünsche anderer Spieler verarbeitet, wurde der Kontrast $Incomp > Comp$ ($1I+3I > 1C+3C$) berechnet. Da das Versuchsdesign eine Differenzierung zwischen Prozessen der Verarbeitung (*Spielfeld*) und Selektion (*Wunschfrage*) ermöglicht, wurden die Aktivierungen dieses Kontrasts jeweils getrennt für diese zwei Phasen betrachtet.

Zur Untersuchung des Haupteffekts der Perspektive wurde der Kontrast *1. Person > 3. Person* bzw. *3. Person > 1. Person* [$(3I+3C)$ vs. $(1I+1C)$] sowohl für die Verarbeitungs- als auch Selektionsphase berechnet.

Um Gehirnareale zu identifizieren, die mit der Verarbeitung inkompatibler Wünsche in Abhängigkeit von der Perspektive (1. Person vs. 3. Person) assoziiert werden, wurde die 3I-Bedingung mit der 3C-Bedingung ($3I > 3C$) bzw. die 1I-Bedingung mit der 1C-Bedingung ($1I > 1C$) während der *Spielfeld*-Phase kontrastiert. Um darüber hinaus zu analysieren, ob und welche Gehirnregionen eine spezifische Funktion bei der Verarbeitung inkompatibler Wünsche haben und um differenziertere Aussagen über diese Aktivierungsmuster treffen zu können, wurde im zweiten Schritt bei den oben genannten Vergleichen zusätzlich eine maskierte Kontrastierung durchgeführt (*3I > 3C exklusiv maskiert mit 3C > 3I* bzw. *1I > 1C exklusiv maskiert mit 1C > 1I*).

Mit dem Ziel Gehirnareale zu spezifizieren, die mit der Inhibitionsfähigkeit in Verbindung stehen, wurde der Kontrast *NoGo > Go* berechnet.

Die oben definierten Regressoren bzw. Kontraste der Wunschaufgabe beziehen sich auf Verarbeitungs- und Selektionsprozesse der Wunschattribution. Dabei gingen in die Analyse alle Durchgänge der verschiedenen Bedingungen mit ein, ohne dass eine Unterscheidung vorgenommen wurde, ob der Proband in der Selektionsphase sich selbst oder einem anderen Spieler einen Wunsch zuschreiben sollte. Dieses statistische Modell erlaubt demnach keine Differenzierung der Aktivierungsmuster im Hinblick darauf, nach welchem Wunsch (eigener vs. fremder) in der Selektionsphase gefragt wurde. Um diese Fragestellung genauer zu erforschen, wurde ein weiteres statistisches Modell gerechnet, in das neben den bereits beschriebenen Regressoren zusätzlich die Perspektivenübernahme in der Selektionsphase modelliert wurde. Dazu wurden die Bedingungen 1C und 1I entsprechend der Wunschfrage nach der Eigen- oder Fremdperspektive unterteilt und somit vier weitere Regressoren (1I_self, 1C_self, 1I_other, 1C_other) in die Designmatrix aufgenommen. Von Interesse waren insbesondere die Aktivierungen von Gehirnarealen, die mit der Zuschreibung von inkompatiblen Wünschen aus der Eigenperspektive (self) bzw. aus der Fremdperspektive (other) assoziiert werden. Hierzu wurden die Kontraste *self > other* [$(1I_self+1C_self) > (1I_other + 1C_other)$] und *1I_self > 1C_self* sowie *1I_other > 1C_other* berechnet.

Second-Level-Analyse

Die oben genannten First-Level-Kontraste wurden für jede Versuchsperson einzeln berechnet und gingen im Zuge der Second-Level-Analyse in eine Random-Effects-Analyse über alle Probanden mit ein. Dazu wurden für die interessierenden Kontraste t-Tests für gepaarte Stichproben über alle 24 Probanden gerechnet mit dem Ziel, Aktivierungsmuster im Gruppenvergleich zu analysieren. Für jeden Kontrast ergab sich so eine SPM-Map mit signifikanten Aktivierungen, wobei ein voxelbasierter T-Wert von 3.48 ($p = .001$, unkorrigiert) festgesetzt und als Signifikanzniveau ein p-Wert von 0.05 (FWE-korrigiert, *family wise error rate*) auf Clusterlevel bestimmt wurde. Für die maskierten Kontraste diente dagegen ein voxelbasierter t-Wert von 6.38 bzw. 6.39 ($p < .05$, FWE-korrigiert). Beim Kontrast *self* > *other* wurde als statistische Schwelle ein liberaler T-Wert von 1.71 (entspricht $p < .05$, unkorrigiert) festgelegt, da in die Regressoren insgesamt weniger Durchgänge einfließen. Die SPM-Maps mit den signifikanten Voxelwerten wurden auf das MNI-Template gelegt und mittels der MNI-Koordinaten bezeichnet.

Um herauszufinden, ob und welche gemeinsamen Gehirnregionen eine Rolle für die Attribution inkompatibler Wünsche in der Verarbeitungsphase und für die motorische Antwortinhibition spielen, wurden Conjunction-Analysen mit den Kontrasten *NoGo* > *Go* und *3I* > *3C* bzw. *NoGo* > *Go* und *II* > *IC* durchgeführt. Ferner lag das Interesse auf überlappenden Gehirnaktivierungen bei der Zuschreibung inkompatibler Wünsche in Abhängigkeit von der Involvierung der Versuchsperson in das Szenario (1. Person vs. 3. Person) während der Verarbeitungsphase. Dazu wurde ebenso eine Conjunction-Analyse durchgeführt und gemeinsame Aktivierungen der Kontraste *3I* > *3C* und *II* > *1C* analysiert. Bei der Durchführung der Conjunction-Analysen wurde als statistische Schwelle ein T-Wert von 3.28 ($p < .001$) definiert.

6 Ergebnisse fMRT-Studie – Neuronale Korrelate von Wunschattri- bution und inhibitorischer Kontrolle

6.1 Verhaltensdaten

Betrachtet man die während der fMRT-Messung aufgezeichneten Reaktionen der Probanden bei der Wunschaufgabe, zeigt sich eine mittlere Antwortgenauigkeit von 98.37 % (SD = 2.47 %) in der 1C-Bedingung, 97.42 % (SD = 3.48 %) in der 3C-Bedingung, 97.01 % (SD = 4.57 %) in der 1I-Bedingung und 96.06 % (SD = 4.92 %) in der 3I-Bedingung (siehe Abbildung 6.1). Eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren *Perspektive* und *Kompatibilität* erbrachte weder signifikante Haupteffekte noch einen signifikanten Interaktionseffekt. Demzufolge unterscheiden sich die mittleren Antwortgenauigkeiten in den verschiedenen Wunschbedingungen statistisch nicht voneinander.

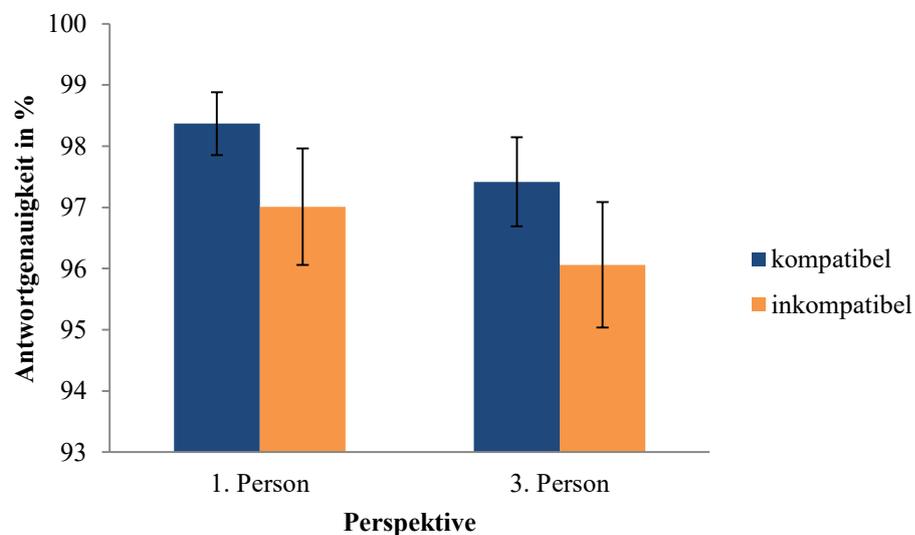


Abbildung 6.1

Durchschnittliche Antwortgenauigkeiten (M ± SE) in den verschiedenen Bedingungen der Wunschaufgabe (1C, 1I, 3C, 3I).

Bezüglich der Reaktionszeiten ist festzuhalten, dass Probanden im Mittel am schnellsten in der 1I-Bedingung ($M = 635.79$ ms, $SD = 102.19$ ms) abschnitten, gefolgt von einer mittleren Reaktionszeit von 644.57 ms ($SD = 110.70$ ms) in der 1C-Bedingung, 653.63 ms ($SD = 115.17$ ms) in der 3C-Bedingung sowie 655.46 ms ($SD = 123.67$ ms) in der 3I-Bedingung (siehe Abbildung 6.2). Hier ergab eine zweifaktorielle Varianzanalyse einen signifikanten Einfluss des Faktors *Perspektive* [$F(1,22) = 8.799$, $p < .01$], während der Faktor *Kompatibilität* keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten hatte [$F(1, 22) < 1$, $p = .544$]. Zudem konnte kein signifikanter Interaktionseffekt beobachtet werden. Post-hoc T-Tests ergaben, dass sich nur die Reaktionszeiten in der 1I-Bedingung signifikant von der 3I-Bedingung unterschieden ($T = -2.685$, $df = 22$, $p < .05$), alle anderen T-Vergleiche waren statistisch nicht bedeutsam. Bei der Interpretation der Verhaltensdaten, die im Rahmen der fMRT-Studie erhoben wurden, ist zu berücksichtigen, dass diese nur eine begrenzte Aussagekraft haben, da die motorische Antwort (Tastendruck) vom Prozess der Wunschzuschreibung zeitlich getrennt wurde. Die Versuchspersonen wurden instruiert, erst dann eine Antwort zu geben, wenn das entsprechende Antwortbild präsentiert wurde, was sich folglich auf die Reaktionszeiten auswirkt.

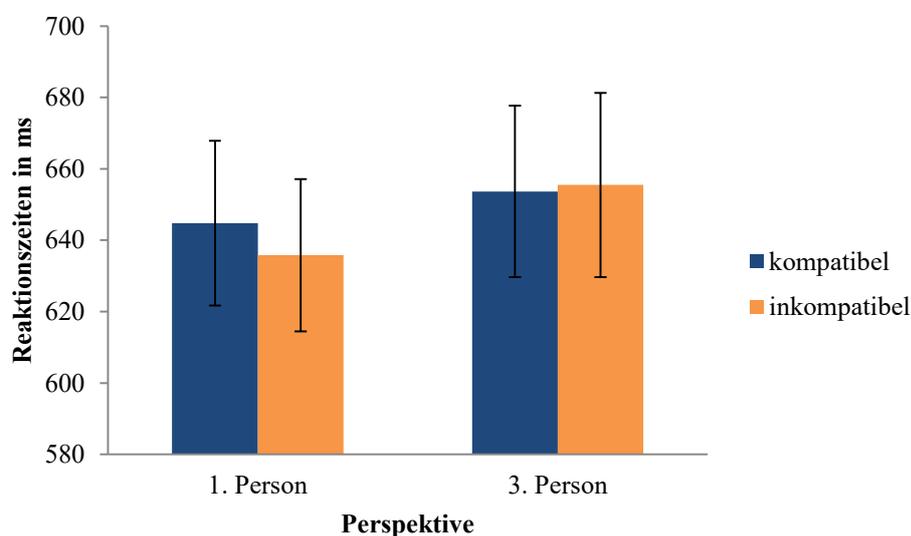


Abbildung 6.2

Mittlere Reaktionszeiten ($M \pm SE$) in den verschiedenen Bedingungen der Wunschaufgabe (1C, 1I, 3C, 3I).

Bei der Inhibitionsaufgabe erreichten die Probanden im Mittel eine Antwortgenauigkeit von 98.64 % (SD = 1.33 %) bei Go-Durchgängen bzw. 90.33 % (SD = 7.55 %) bei NoGo-Durchgängen (siehe Abbildung 6.3). Ein T-Test mit gepaarten Stichproben belegte einen signifikanten Unterschied zwischen der Anzahl richtiger Antworten in diesen beiden Bedingungen ($t = 5.507$, $df = 22$, $p < .001$). Die mittlere Reaktionszeit bei korrekt beantworteten Go-Durchgängen lag bei 626.93 ms (SD = 58.84 ms). Da die Probanden instruiert wurden in NoGo-Trials keine Taste zu drücken, wurden für diese Durchgänge auch keine Reaktionszeiten erhoben.

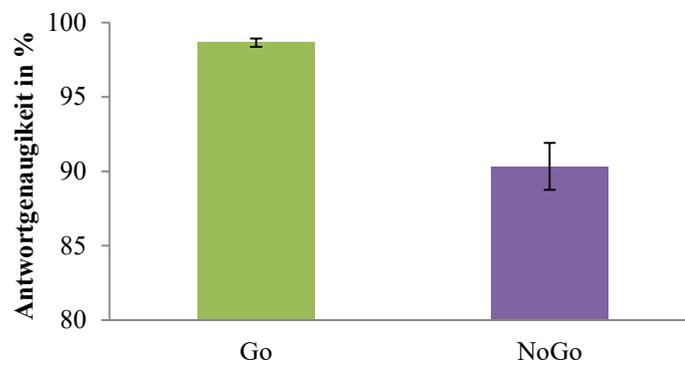


Abbildung 6.3

Durchschnittliche Antwortgenauigkeit in der Go- und NoGo-Bedingung.

6.2 fMRT-Daten

6.2.1 Neuronale Korrelate der Verarbeitung und Selektion inkompatibler Wünsche

Die mittels der Wunschaufgabe erhobenen fMRT-Daten wurden separat für die Verarbeitungsphase und die Selektionsphase analysiert. Bei Präsentation des Spielfelds wurde für die Probanden zwar deutlich, ob die Wünsche der Spieler sich unterschieden oder übereinstimmten. Zu diesem Zeitpunkt wussten die Versuchspersonen jedoch noch nicht, ob sie in der darauf folgenden Selektionsphase nach ihrem eigenen Wunsch oder nach dem Wunsch eines anderen Spielers gefragt werden.

Verarbeitungsphase

3. Person Perspektive

Bei der Verarbeitung inkompatibler Wünsche in der 3. Person-Perspektive zeigten sich im Kontrast zu Bedingungen mit kompatiblen Wünschen signifikante Mehraktivierungen im bilateralen lingualen Gyrus des Okzipitalkortex (BA 17) und im linken supplementär-motorischen Areal (SMA) mit Teilen des dorsalen medialen Präfrontalkortex (dMPFC) sowie des dorsalen anterioren cingulären Kortex (dACC). Bei Verwendung eines liberaleren Signifikanzniveaus auf Clusterebene von $p < .05$ (unkorrigiert) wurde darüber hinaus eine Mehraktivierung im linken STS in temporal-parietalen Kortexregionen und im linken posterioren cingulären Kortex (BA 23) gefunden (dargestellt in Abb. 6.4 bzw. Tab. 6.1).

Um die Aktivierungsmuster bei der Verarbeitung inkongruenter Wünsche aus der 3. Person-Perspektive genauer zu betrachten, wurden in einem maskierten Kontrast alle Aktivierungen exkludiert, die mit dem inversen Kontrast (3C > 3I) im Zusammenhang stehen. Dazu wurde eine strengere Schwelle für signifikante Aktivierungen festgelegt ($p < .05$, FWE-korrigiert, entspricht einem voxelbasierten T-Wert von 6.39). Auch hierbei ergaben sich signifikante Mehraktivierungen im bilateralen lingualen Kortex (BA 17) und im linken SMA angrenzend an den dMPFC bzw. an das anteriore Cingulum (dACC). Zudem zeigten sich in der linken Hemisphäre signifikante Aktivierungsunterschiede im präzentralen Gyrus (BA 6) und in der Insula (BA 13), die sich in Bereiche des VLPFC sowie in inferiore Regionen des Frontalkortex (BA 44/45) erstreckten. Darüber hinaus

fanden sich in der linken Gehirnhälfte signifikant aktivierte Cluster im superioren parietalen Kortex (BA 7) und im dorsolateralen Präfrontalkortex (DLPFC) mit Übergang in das SMA (siehe Tabelle 6.1 bzw. Abb. 6.5).

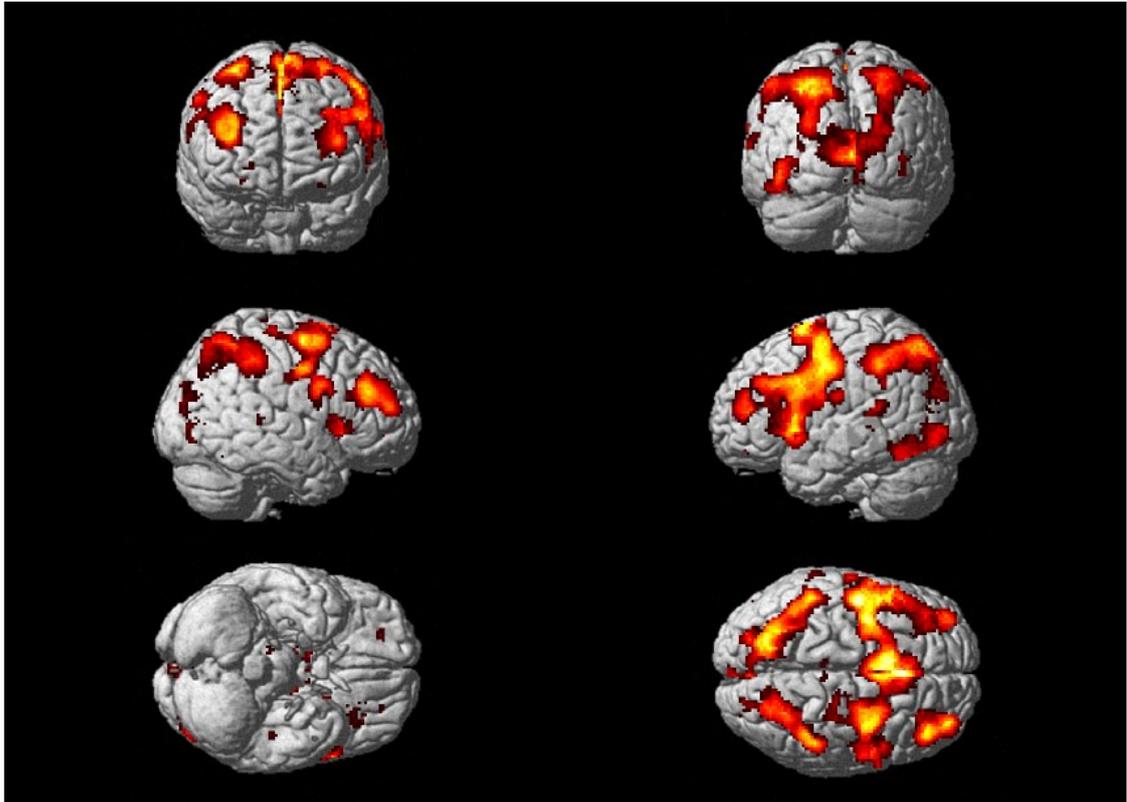


Abbildung 6.4

Signifikante Mehraktivierungen während der Verarbeitungsphase (Spielfeld) in der 3I-Bedingung (rot-gelb) im Vergleich zur 3C-Bedingung bei einem voxelbasierten T-Wert von $T > 3.48$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene. Für eine detaillierte Beschreibung der aktivierten Hirnregionen siehe Tab. 6.1.

Tabelle 6.1

Areale mit signifikanter Mehraktivierung der Kontraste 3I > 3C bzw. 3I > 3C exkl. maskiert mit 3C > 3I während der Verarbeitungsphase. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.

Kontrast/Gehirnregion	BA	Clustergröße ^a	T-Wert ^b	MNI-Koordinaten		
				x	y	z
3I > 3C						
L ^c lingualer Gyrus	17	11464	11.24	-6	-86	2
R ^d lingualer Gyrus			9.05	16	-74	4
			8.41	-16	-74	6
L supplementär-motorisches-Areal (SMA)/dMPFC/ anteriores Cingulum/ dACC	6/8/32	17504	11.00	-4	18	46
			9.47	-8	10	62
			8.51	-46	-10	42
L posteriores Cingulum ^e	23	109	5.40	-2	-26	28
L STS/TPJ ^f	22/40	77	5.39	-42	-44	14
3I > 3C exkl. 3C > 3I						
L lingualer Gyrus	17	456	11.24	-6	-86	2
			8.41	-16	-74	6
L supplementär-motorisches Areal (SMA)/dMPFC/ anteriores Cingulum/dACC	8/6	582	11.00	-4	18	46
			9.47	-8	10	62
			7.59	0	2	72
R lingualer Gyrus	17	357	9.05	16	-74	4
			7.51	16	-78	12
			7.30	24	-64	2
L präzentraler Gyrus	6	137	8.51	-46	-10	42
L Insula/ VLPFC/IFG	13/44/45	169	8.27	-40	14	8
			7.60	-34	22	6
			6.74	-46	16	-4
L superiorer Parietalkortex	7	236	8.21	-26	-62	48
			7.74	-22	-70	50
L DLPFC/ supplementär-motorischer Areal (SMA)	6/9	95	7.54	-48	8	34

Anmerkungen: Die angegebenen Brodman-Areale (BAs) sind geschätzt. ^a Anzahl der aktivierten Voxel je Cluster, ^b höchster T-Wert im aktivierten Cluster, ^c L=links, ^d R = rechts, ^e $p_{uncorr} = 0.016$, Clusterebene, ^f $p_{uncorr} = 0.037$, Clusterebene.

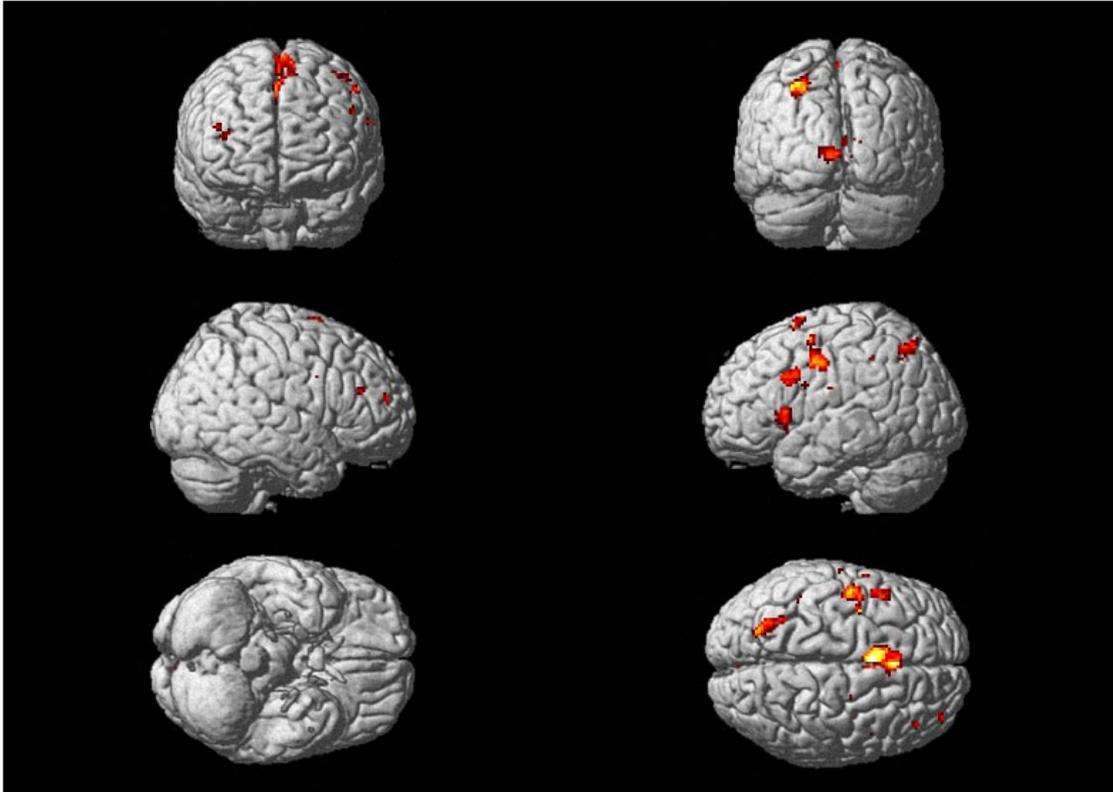


Abbildung 6.5

Signifikante Mehraktivierungen während der Verarbeitungsphase (Spielfeld) in der 3I-Bedingung (rot-gelb) im Vergleich zur 3C-Bedingung exklusiv maskiert mit dem inversen Kontrast 3C > 3I bei einem voxelbasierten T-Wert von $T > 6.39$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene. Für eine detaillierte Beschreibung der aktivierten Hirnregionen siehe Tab. 6.1.

1. Person Perspektive

Bei der Verarbeitung inkompatibler Wünsche im Kontext der 1. Person-Perspektive zeigten sich signifikante Mehraktivierungen im bilateralen lingualen Gyrus, im rechten inferioren und superioren Parietalkortex mit Übergang zum supramarginalen Gyrus, im rechten Pallidum und im rechten DLPFC übergehend in die Insula. In der linken Gehirnhälfte fand sich im anterioren lateralen Präfrontalkortex eine signifikante Aktivierung. Bei Festlegung des Signifikanzniveaus auf Clusterebene auf $p < .01$ (FWE-korrigiert) ergab sich zudem eine Mehraktivierung im rechten superioren und mittleren Temporalkortex (STS bzw. MTG, siehe Tab. 6.2 sowie Abb. 6.6).

Tabelle 6.2

Signifikant aktivierte Gehirnregionen des Kontrasts II > IC während der Verarbeitungsphase. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.

Kontrast/Gehirnregion	BA	Clustergröße ^a	T-Wert ^b	MNI-Koordinaten		
				x	y	z
<i>II > IC</i>						
L lingualer Gyrus	18/19	26806	12.36	-8	-68	-4
			10.80	-10	-76	-2
R lingualer Gyrus			10.57	14	-74	-12
R inferiorer und superiorer parietaler Kortex/ supramarginaler Gyrus	40/7	5794	8.95	50	-40	50
			8.73	40	-44	58
			8.21	42	-42	48
R Pallidum		3323	7.42	18	-4	4
R DLPFC	9		7.06	46	38	34
R Insula	13		6.34	32	22	8
L anteriorer lateraler Präfrontalkortex ^c	10	317	6.83	-36	50	14
			5.31	-32	52	26
R STS/MTG ^f	22	260	5.53	54	-34	4
			3.98	48	-24	-6

Anmerkungen: Die angegebenen Brodman-Areale (BAs) sind geschätzt. ^a Anzahl der aktivierten Voxel je Cluster, Schwelle k=50, ^b höchster T-Wert im aktivierten Cluster, ^c L=links, ^d R = rechts, ^e $p_{FWE-corr} = 0.003$, ^f $p_{FWE-corr} = 0.007$

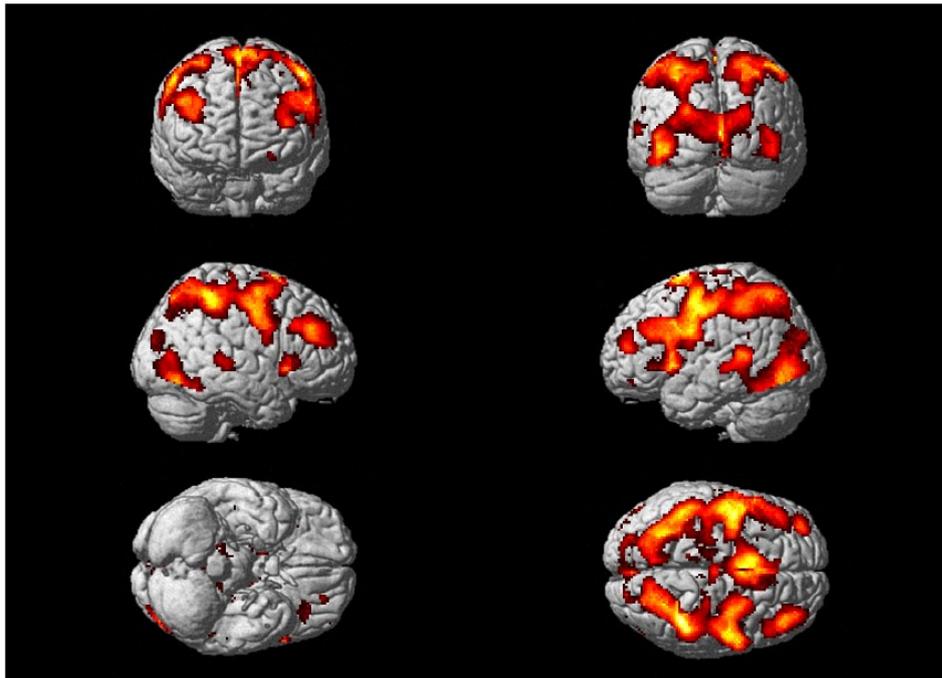


Abbildung 6.6

Signifikante Mehraktivierungen während der Verarbeitungsphase (Spielfeld) in der II-Bedingung (rot-gelb) im Vergleich zur 1C-Bedingung bei einem voxelbasierten T-Wert von $T > 3.48$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene.

In einem weiteren Analyseschritt wurde der inverse Kontrast $1C > 1I$ exklusiv vom interessierenden Kontrast $1I > 1C$ maskiert ($p < .05$, FWE-korrigiert, entspricht einem voxelbasierten T-Wert von 6.38). Dabei blieben Mehraktivierungen im bilateralen lingu-
alen Gyrus, im bilateralen prä- und postzentralen Gyrus sowie im inferioren und superi-
oren Parietalkortex (rechts mit Übergang zum supramarginalen Gyrus) bestehen. In der
linken Hemisphäre konnten darüber hinaus signifikante Aktivierungsunterschiede im
DLPFC angrenzend an den prämotorischen Kortex sowie im SMA übergehend in den
dMPFC gefunden werden (siehe Tabelle 6.3 sowie Abb. 6.7).

Tabelle 6.3

Signifikant aktivierte Gehirnregionen des Kontrasts II > IC excl. IC > II während der Verarbeitungsphase. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.

Kontrast/Gehirnregion	BA	Clustergröße ^a	T-Wert ^b	MNI-Koordinaten		
				x	y	z
<i>II > IC excl. IC > II</i>						
L lingualer Gyrus	18/19	2480	12.36	-8	-68	-4
			10.80	-10	-76	-2
			10.57	14	-74	-12
R lingualer Gyrus						
L ^c DLPFC/ prämotorischer Kortex	6/8/9	213	9.65	-50	0	28
			8.18	-42	10	28
			7.03	-42	2	32
R ^d inferiorer und superiorer parietaler Kortex/ supra-marginaler Gyrus	40/7	273	8.95	50	-40	50
			8.73	40	-44	58
			8.21	42	-42	48
L prä- und postzentraler Gyrus	6/4	368	8.92	-46	-2	56
			8.33	-50	-10	46
			8.32	-44	-2	48
L SMA/ dMPFC	6/8	311	8.40	-8	10	60
			8.15	-2	6	68
			6.98	-4	16	48
R prä- und postzentraler Gyrus	6/4	77	7.77	54	-8	42
			6.83	52	-14	50
L inferiorer und superiorer Parietalkortex	7	118	7.56	-30	-58	52

Anmerkungen: Die angegebenen Brodmann-Areale (BAs) sind geschätzt. ^a Anzahl der aktivierten Voxel je Cluster, Schwelle k=50, ^b höchster T-Wert im aktivierten Cluster, ^c L=links, ^d R = rechts.

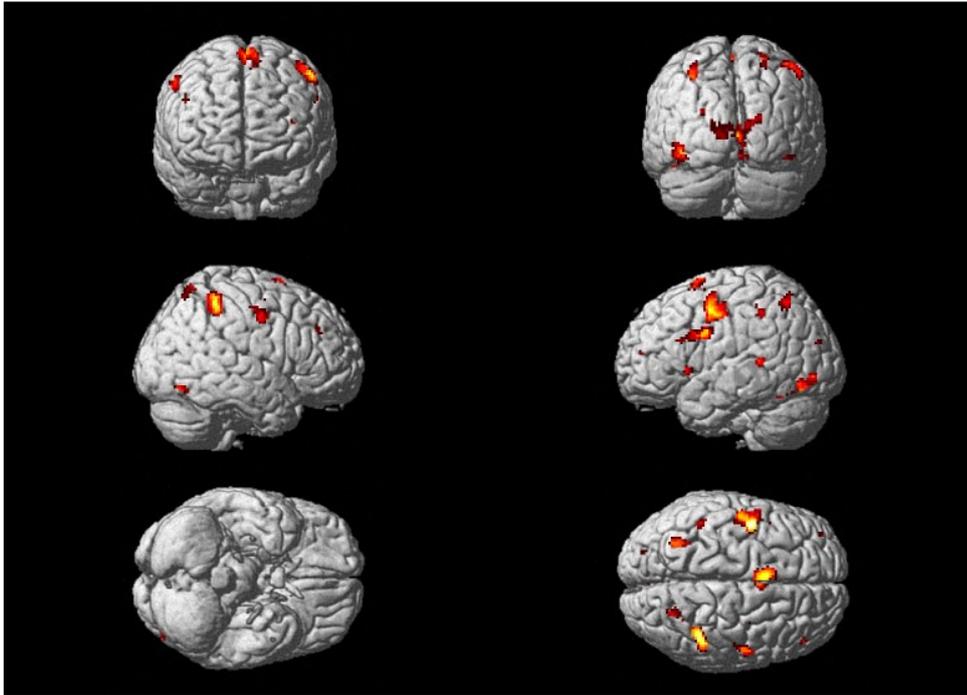


Abbildung 6.7

Signifikante Mehraktivierungen während der Verarbeitungsphase (Spielfeld) in der II-Bedingung (rot-gelb) im Vergleich zur IC-Bedingung exklusiv maskiert mit dem inversen Kontrast IC > II bei einem voxelbasierten T-Wert von $T > 6.38$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Cluster-ebene.

Überlappungen der 1. Person und 3. Person Perspektive

Für einen direkten Vergleich der Aktivierungsmuster in den verschiedenen Perspektivbedingungen, die mit der Wunschattriution assoziiert werden, sind in Abbildung 6.8 die maskierten Kontraste einschließlich überlappender Gehirnareale (gelb) dargestellt. Andere berechnete Kontraste (1. Person > 3. Person, 3. Person > 1. Person) zeigten keine signifikanten Mehraktivierungen. Für Ergebnisse des Kontrasts Incomp > Comp siehe Tabelle A1 und A2 im Anhang.

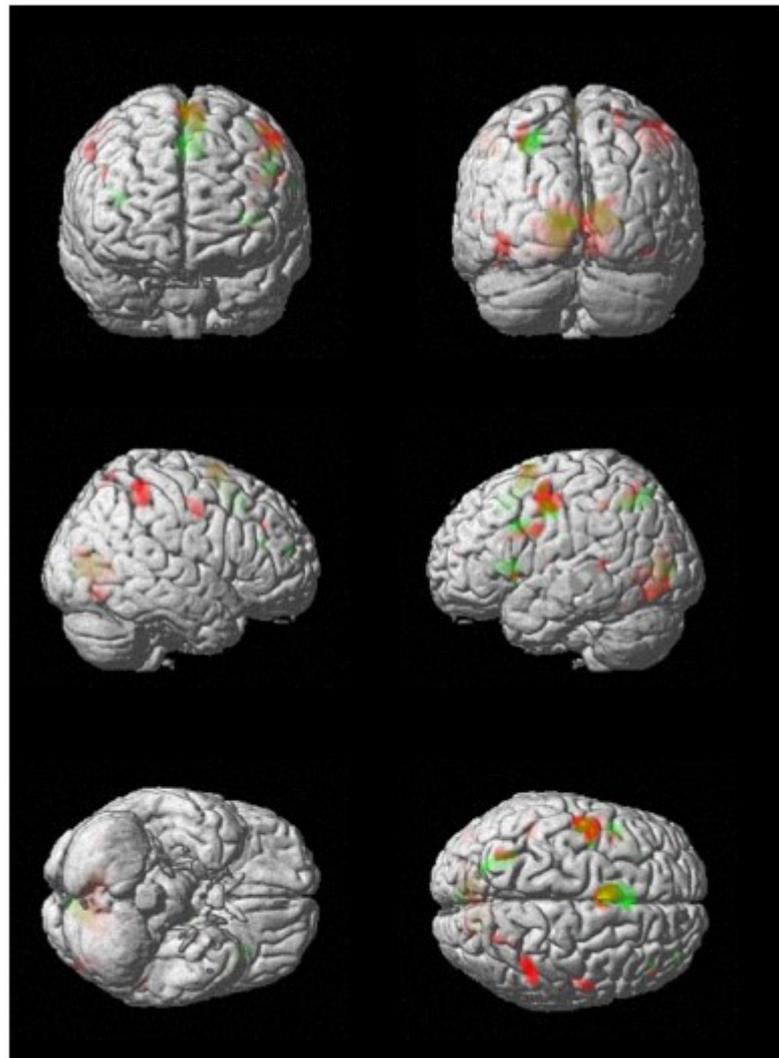


Abbildung 6.8

Signifikante Mehraktivierungen während der Verarbeitungsphase (Spielfeld) des Kontrasts $1I > 1C$ exklusiv maskiert mit $1C > 1I$ (rot) und $3I > 3C$ exklusiv maskiert mit $3C > 3I$ (grün) sowie überlappende Aktivierungen beider Kontraste (gelb).

ROI-Analyse

Insbesondere die rechte TPJ zeigte in zahlreichen ToM-Studien mittels False-Belief-Aufgaben eine erhöhte funktionelle Aktivität, während dieses Gehirnareal mit der Verarbeitung und Attribution von Wünschen nur vereinzelt in Verbindung gebracht werden konnte. Zwar ergaben die vorliegenden neuronalen Befunde für die Verarbeitungsphase

signifikante Aktivierungen in Bereichen des temporal-parietalen Kortex (im supramarginalen Gyrus, STS, MTG, superioren und inferioren Parietalkortex), jedoch scheinen sich diese Aktivierungen nicht auf das klassische TPJ-Areal (BA 39) zu beziehen, wie es in bisherigen False-Belief-Studien gefunden wurde. Um die Rolle der temporo-parietalen Übergangsregion für die Repräsentation konfligierender Wünsche differenzierter zu betrachten und eine fundierte Aussage über deren Funktion für die Wunschattription zu treffen, wurde eine ROI (Region- of- Interest)- Analyse durchgeführt. Die ROI-Koordinaten ($x = 56, y = -56, z = 18$) wurden hierfür basierend auf einer Metaanalyse über ToM-Studien von Schurz, Radua, Aichhorn, Richlan und Perner (2014) ausgewählt. Für die Verarbeitung von inkompatiblen Wünschen ergab die ROI-Analyse keine differenzierte funktionelle Aktivität in der rechten TPJ. Die geschätzte Hirnaktivität unterschied sich nicht signifikant in den vier verschiedenen Wunschbedingungen, d.h. die TPJ-Aktivität wurde nicht durch die Faktoren *Perspektive* und *Kompatibilität* moduliert (siehe Abbildung 6.9).

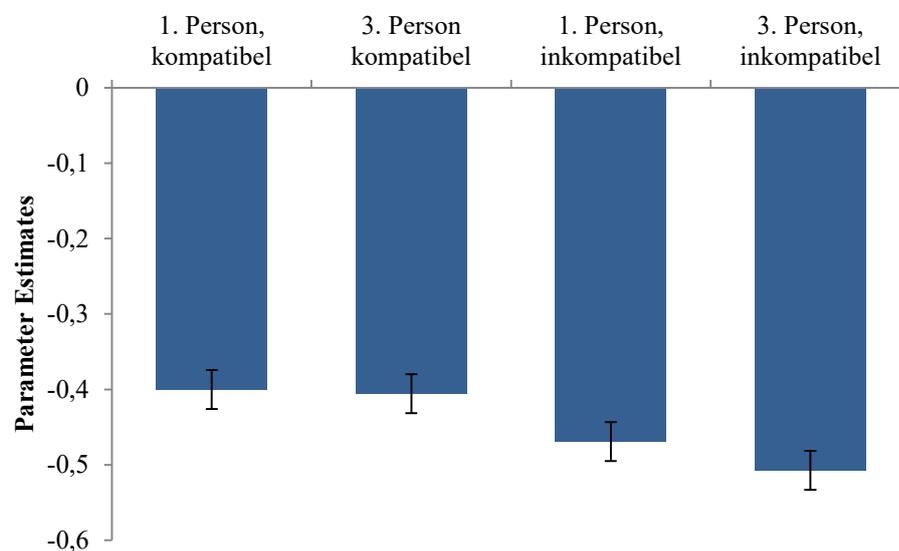


Abbildung 6.9

Funktionelle Aktivität der rechten TPJ (MNI-Koordinaten $x = 56, y = -56, z = 18$; basierend auf einer Metaanalyse von Schurz et al., 2014) für die vier Wunschbedingungen. Die Balken stellen die geschätzte Hirnaktivität dar (Mittelwerte, Standardfehler).

Selektionsphase

Die für die Verarbeitungsphase analysierten Kontraste wurden anschließend für die Phase der Antwortselektion berechnet. Lediglich für den Kontrast 1. Person > 3. Person ergaben sich signifikante Ergebnisse in Form einer Mehraktivierung in der linken Hemisphäre im DLPFC (BA 8/9), die sich in den prämotorischen Kortex bzw. in das SMA (BA 6/8) erstreckt. Bei Verwendung eines liberalen Signifikanzniveaus mit $p < .05$ (unkorrigiert, Clusterlevel) zeigten sich darüber hinaus eine signifikant erhöhte funktionelle Aktivität im linken mittleren temporalen Gyrus (MTG) sowie im linken Precuneus (BA 7; siehe Tabelle 6.4 bzw. Abb. 6.10). Alle anderen Kontraste ergaben keine signifikanten Unterschiede in der funktionellen Aktivität. Es gilt zu beachten, dass die in diesem Rahmen durchgeführte Analyse nicht berücksichtigte, ob in der Selektionsphase nach dem Wunsch des Probanden oder dem eines anderen Spielers gefragt wurde. Für eine differenzierte Auswertung der Selektionsphase im Kontext der 1. Person-Bedingung siehe Kapitel 6.2.2.

Tabelle 6.4

Signifikant aktivierte Gehirnregionen für den Kontrast 1. Person > 3. Person. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.

Gehirnregion	BA	Clustergröße ^a	T-Wert ^b	MNI-Koordinaten		
				x	y	z
L ^c DLPFC/ prämotorischer Kortex/ SMA	6/8/9	333	5.18	-34	22	50
			4.74	-20	28	56
			4.50	-44	12	38
L MTG ^c	21	109	5.25	-62	-42	-6
L Precuneus ^f	7	63	4.58	-4	-68	40

Anmerkungen: Die angegebenen Brodmann-Areale (BAs) sind geschätzt. ^a Anzahl der aktivierten Voxel je Cluster, ^b höchster T-Wert im aktivierten Cluster, ^c L=links, ^d R = rechts, ^e $p_{unkorr} = 0.006$, Clusterebene, ^f $p_{unkorr} = 0.029$, Clusterebene.

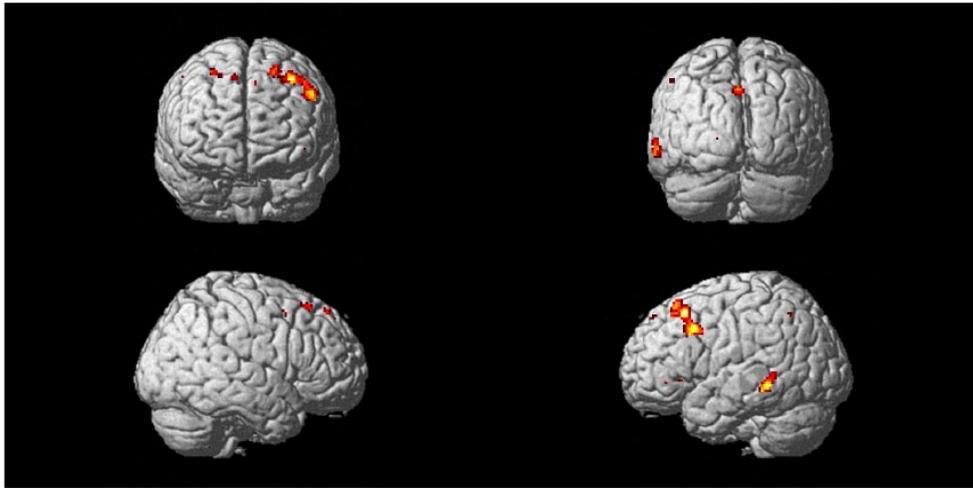


Abbildung 6.10

Signifikante Mehraktivierungen während der Selektionsphase (Wunschfrage) des Kontrasts 1. Person > 3. Person bei einem voxelbasierten T-Wert von $T > 3.48$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene.

6.2.2 Neuronale Korrelate der Antwortselektion in Abhängigkeit von der Attributionsperspektive

Um den Prozess der Wunschattriution in Abhängigkeit der Perspektive noch genauer zu untersuchen, wurde der Kontrast self > other berechnet, d.h. es wurde unterschieden, ob nach dem eigenen Wunsch oder nach dem der anderen Person gefragt wurde. Hierbei zeigte sich lediglich bei Verwendung einer liberalen statistischen Schwelle ($p < .05$, unkorrigiert) eine erhöhte funktionelle Aktivität im linken superioren Okzipitalkortex mit Übergang zum Cuneus. Zudem ergab sich eine Mehraktivierung im rechten supramarginalen Gyrus, die überging in das rechte inferiore Parietalläppchen, einschließlich der rechten temporal-parietalen Übergangsregion (rTPJ). Bei der Zuschreibung eigener Wünsche, die mit dem Wunsch anderer konkurrierten (1I_self > 1C_self), fand sich bei einer statistischen Schwelle von $p < .001$ (unkorrigiert) eine Mehraktivierung im linken inferioren Frontalkortex (IFG) im Übergang zur Insula sowie zum STS (siehe Tab. 6.5 und Abb. 6.11).

Tabelle 6.5

Signifikant aktivierte Gehirnregionen für interessierende Kontraste der Selektionsphase in der 1. Person-Perspektive. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.

Gehirnregion	BA	Clustergröße ^a	T-Wert ^b	MNI-Koordinaten		
				x	y	z
<i>Self > other</i>						
L ^c superiorer Okzipitalkortex/Cuneus	19	13877	4.03	-14	-90	36
R ^d supramarginaler Gyrus/ inferiorer parietal lobule (inkl. TPJ)	40		3.89	34	-30	30
			3.85	56	-44	32
<i>II_self > IC_self</i>						
L IFG/ Insula / STS	47/13	227	4.95	-52	18	-8
			4.83	-42	16	-4
			3.94	-34	24	2

Anmerkungen: Die angegebenen Brodmann-Areale (BAs) sind geschätzt. ^a Anzahl der aktivierten Voxel je Cluster, ^b höchster T-Wert im aktivierten Cluster, ^c L=links, ^d R = rechts.

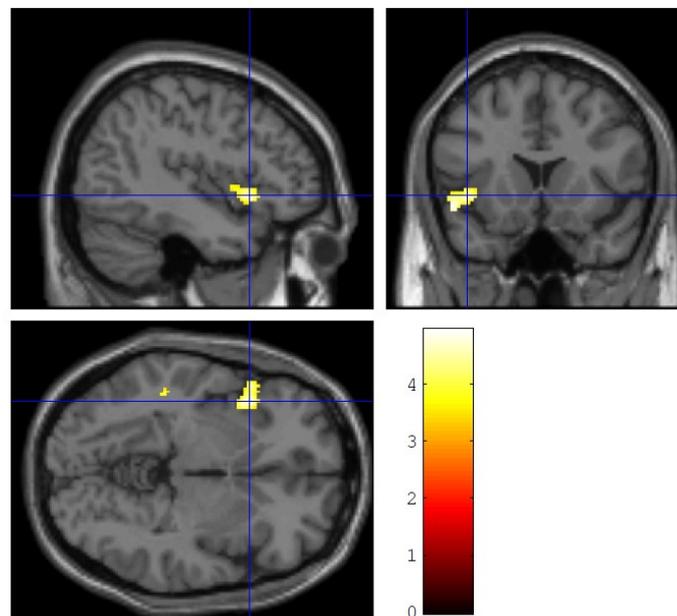


Abbildung 6.11

Grafische Darstellung der signifikanten Mehraktivierung des Kontrasts *II_self > IC_self* mit den MNI-Koordinaten $x = -42$, $y = 16$, $z = -4$ bei einem voxelbasierten T-Wert von $T > 3.48$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene.

6.2.3 Neuronale Aktivierungsmuster der Go-NoGo-Aufgabe

Mit dem Ziel Gehirnregionen zu erfassen, die mit inhibitorischer Kontrolle im Zusammenhang stehen, wurde der Kontrast NoGo > Go berechnet. Dazu wurde die Gehirnaktivität, die mit der Go-Bedingung assoziiert wird, von den neuronalen Aktivierungen der NoGo-Bedingung subtrahiert. Bei den Analysen wurde ein voxelbasierter T-Wert von 3.48 (entspricht $p \leq .001$, unkorrigiert) verwendet und das Signifikanzniveau auf Cluster-Ebene auf $p \leq .05$ (*FWE*-korrigiert) festgelegt. Für diesen Kontrast ergaben sich signifikante Aktivierungsunterschiede im linken und rechten IFG, beidseits angrenzend an die Insula. In der linken Hemisphäre konnte zudem eine erhöhte funktionelle Aktivität im dACC festgestellt werden, die in den dMPFC überging. In der rechten Hemisphäre fand sich ebenso ein signifikantes Aktivierungsmuster im anterioren Cingulum, das sich in Bereiche des DLPFC erstreckte. In Tabelle 6.6 und Abbildung 6.12 sind die signifikant aktivierten Gehirnregionen für den Kontrast NoGo > Go dargestellt.

Tabelle 6.6

Signifikant aktivierte Gehirnregionen für den Kontrast NoGo > Go. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.

Gehirnregion	BA	Clustergröße ^a	T-Wert ^b	MNI-Koordinaten		
				x	y	z
L ^c anteriores Cingulum/ dACC/ dMPFC	8/32	1888	6.55	-2	30	34
			5.96	-6	30	22
			5.59	10	36	26
R ^d anteriores Cingulum/ dACC/ DLPFC	9		5.59	10	36	26
R IFG/ Insula ^e	47/13	309	5.49	34	22	-10
			4.87	42	18	-12
			4.42	48	18	-4
L IFG/ Insula	47/13	613	5.11	-44	16	-4
			4.70	-54	18	-4
			4.54	-50	20	-12

Anmerkungen: Die angegebenen Brodmann-Areale (BAs) und benannten Hirnregionen sind geschätzt ^a Anzahl der aktivierten Voxel je Cluster, ^b höchster T-Wert im aktivierten Cluster, ^c L=links, ^d R = rechts, ^e $p_{FWE-corr} = 0.007$, Clusterebene.

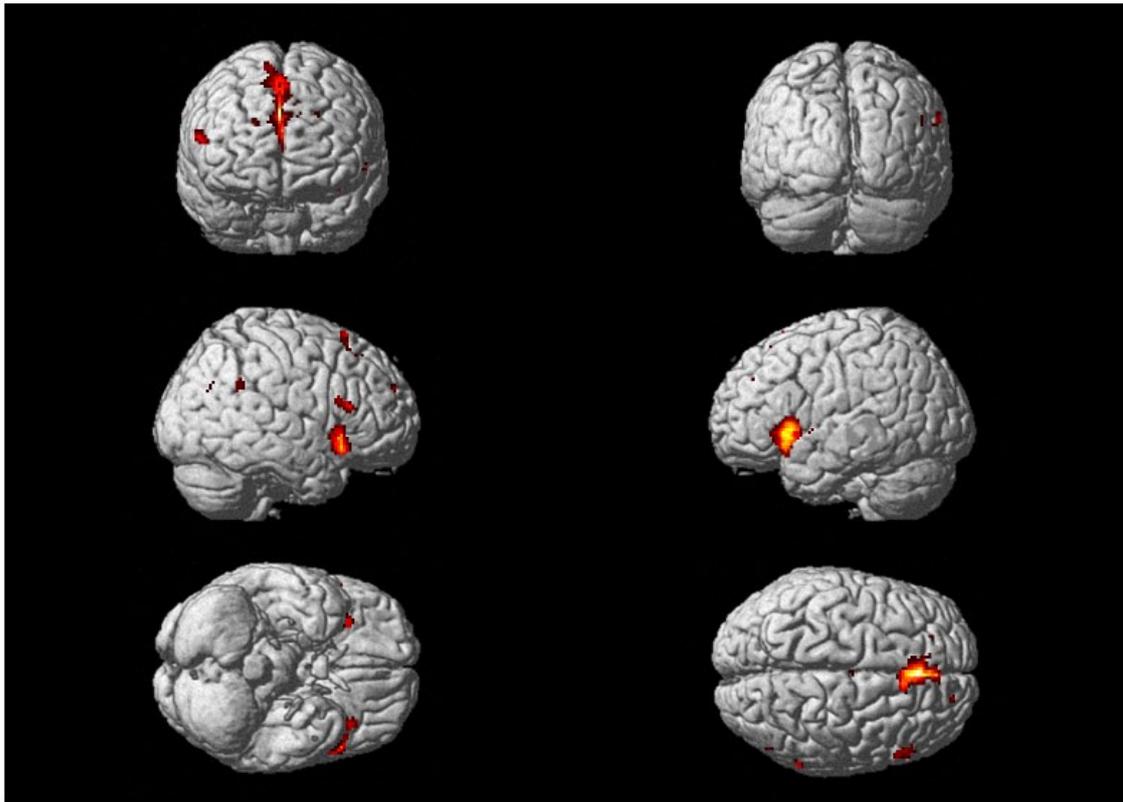


Abbildung 6.12

Signifikante Mehraktivierungen in der NoGo-Bedingung (rot-gelb) im Vergleich zur Go-Bedingung bei einem voxelbasierten T -Wert von $T > 3.48$ und korrigiertem p -Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene.

6.2.4 Gemeinsame neuronale Korrelate von Wunschverarbeitung und Inhibition

Um Gehirnareale zu identifizieren, die sowohl bei der Verarbeitung inkompatibler Wünsche als auch bei inhibitorischen Kontrollprozessen rekrutiert werden, wurde eine Conjunction-Analyse des Kontrasts NoGo > Go jeweils für der 1. Person-Perspektive (1I > 1C) und die 3. Person-Perspektive (3I > 3C) durchgeführt. In der linken Gehirnhälfte zeigten sich Überlappungen der funktionellen Aktivität bei beiden Perspektive-Bedingungen im IFG (BA 47) angrenzend an die Insula (BA13) sowie im dorsalen MPFC angrenzend an das dACC (BA 8/32). Diese Aktivierung erstreckte sich in der 1. Person-Perspektive zudem bis ins supplementär-motorische Areal.

In der 1. Person-Bedingung ergab sich bei einem liberaleren Signifikanzniveau auf Cluster-Ebene ($p_{\text{uncorr}} < .05$) zusätzlich ein Aktivierungsunterschied im rechten IFG mit Übergang zu Bereichen der Insula (siehe Tabelle 6.7 sowie Abb. 6.13 bzw. 6.14).

Tabelle 6.7

Signifikant aktivierte gemeinsame Gehirnregionen der Kontraste 3I > 3C bzw. II > IC und NoGo > Go. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.

Kontrast/Gehirnregion	BA	Clustergröße ^a	T-Wert ^b	MNI-Koordinaten		
				x	y	z
<i>NoGo > Go AND 3I > 3C</i>						
L ^c dMPFC/ anteriores Cingulum/dACC	8/32	857	5.54	-2	30	38
			5.18	-8	28	30
			4.63	0	24	54
L IFG/ Insula ^e	47/13	438	5.43	-46	16	-4
			4.35	-56	16	-2
<i>NoGo > Go AND II > IC</i>						
L IFG/ Insula ^f	47/13	380	5.55	-44	16	-2
			3.87	-34	28	-4
L dMPFC/ anteriores Cingulum/dACC SMA	8/32	573	4.74	-8	26	36
			4.36	0	28	48
			3.49	-8	20	56
R ^d IFG/ Insula ^g	44/13	96	4.49	48	16	-2
			3.60	40	18	-6
			3.37	32	26	-6

Anmerkungen: Die angegebenen Brodmann-Areale (BAs) sind geschätzt. ^a Anzahl der aktivierten Voxel je Cluster, ^b höchster T-Wert im aktivierten Cluster, ^c L=links, ^d R = rechts, ^e $p_{\text{FWE-corr}} = 0.001$, ^f $p_{\text{FWE-corr}} = 0.003$, ^g $p_{\text{uncorr}} = 0.041$, Clusterebene.

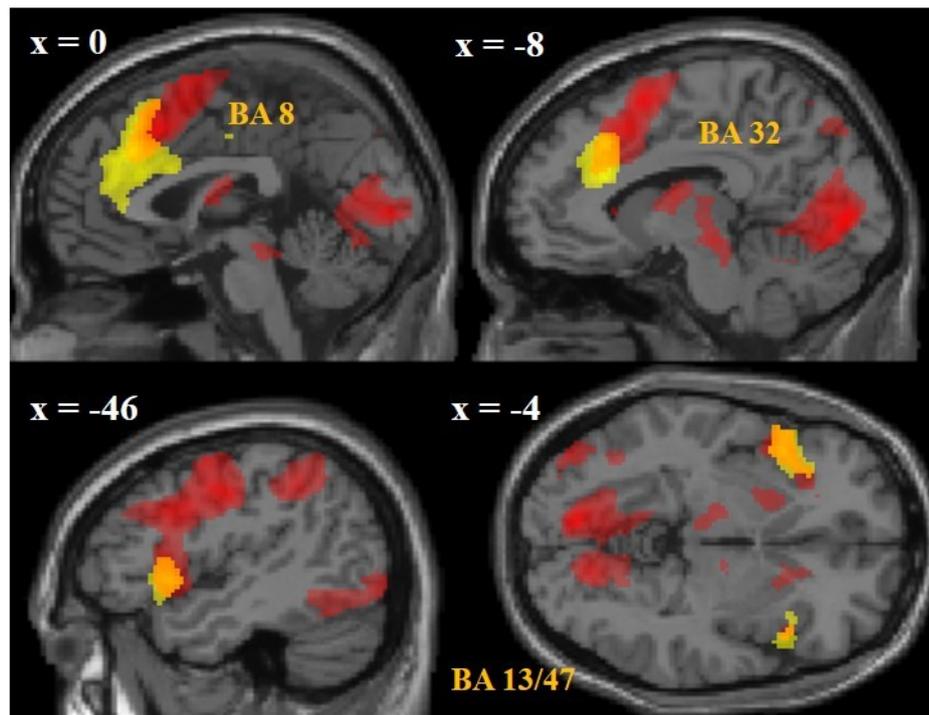


Abbildung 6.13

Grafische Darstellung der signifikanten Mehraktivierung der Kontraste NoGo > Go (gelb) und 3I > 3C in der Verarbeitungsphase (rot) sowie Überlappungen der funktionellen Gehirnaktivität (orange).

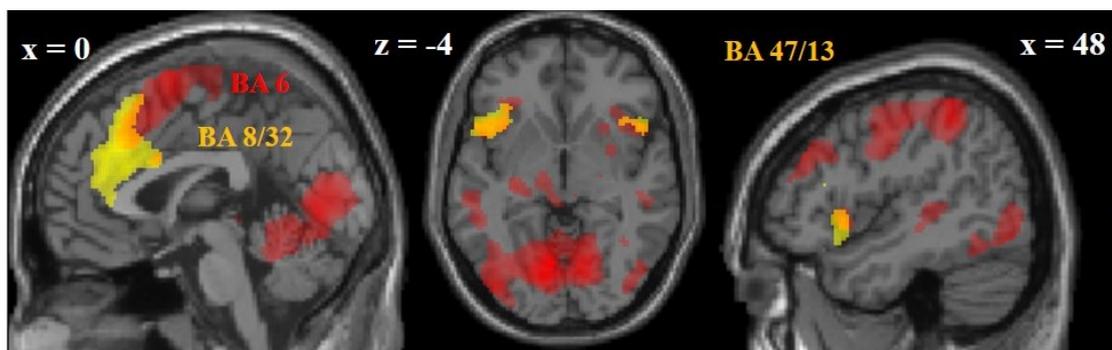


Abbildung 6.14

Grafische Darstellung der signifikanten Mehraktivierung der Kontraste NoGo > Go (gelb) und II > IC (rot) in der Verarbeitungsphase sowie Überlappungen der funktionellen Gehirnaktivität (orange).

Zum Vergleich von Gehirnregionen, die sowohl bei der motorischen Antwortinhibition als auch bei der Antwortselektion in Abhängigkeit von der Perspektive rekrutiert werden, wurde die funktionelle Aktivität der Kontraste NoGo > Go und II_self > IC_self in einem Template-Gehirn übereinander gelegt. Dabei gilt zu beachten, dass dies keinen statistischen Vergleich darstellt, sondern die Bilder mit entsprechender Gehirnaktivität lediglich grafisch miteinander verglichen wurden. Eine statistische Analyse ist aufgrund der Verwendung unterschiedlicher statistischer Modelle und somit differierender Parameter nicht sinnvoll. In Abbildung 6.15 ist zu erkennen, dass der linke IFG (MNI-Koordinaten: $x = -42$, $y = 16$, $z = -4$) als gemeinsam rekrutiertes Areal bei der Zuschreibung inkompatibler Wünsche aus der Eigenperspektive und bei der Involvierung inhibitorischer Kontrollmechanismen betrachtet werden kann.

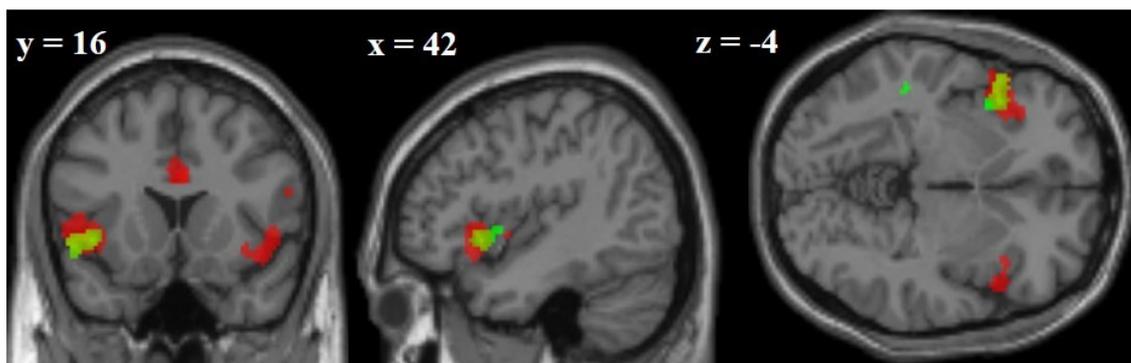


Abbildung 6.15

Grafische Darstellung der signifikanten Mehraktivierung der Kontraste NoGo > Go (rot) und II_self > IC_self (grün) sowie Überlappungen der funktionellen Gehirnaktivität (gelb) im inferioren Frontalkortex (MNI-Koordinaten $x = -42$, $y = 16$, $z = -4$).

7 Diskussion fMRT-Studie – Neuronale Korrelate von Wunschattri- bution und inhibitorischer Kontrolle

Das Ziel der vorliegenden fMRT-Studie war, die neuronalen Korrelate der Wunschattri-
bution zu untersuchen und herauszufinden, ob diese Gemeinsamkeiten mit den neurona-
len Grundlagen der inhibitorischen Kontrolle aufweisen. Dazu wurde ein Versuchspara-
digma angewandt, das ermöglichte die Wunschzuschreibung getrennt für die Phase der
Verarbeitung und der Selektion der mentalen Repräsentationen zu analysieren. In einem
zweiten Schritt konnten die daraus resultierenden Gehirnaktivierungen mit der neurona-
len Aktivität der Inhibitionsfähigkeit verglichen werden, die mittels eines Go-NoGo-Ex-
periments getestet wurde, um gemeinsame neuronale Korrelate der beiden Konzepte zu
erheben. Der Fokus lag hierbei auf der funktionellen Aktivität von Hirnregionen, die in
vergangenen Studien mit dem ToM-Netzwerk in Verbindung gebracht wurden, insbeson-
dere der mediale Präfrontalkortex sowie temporal-parietale Kortextbereiche.

Insgesamt zeigte sich hauptsächlich während der Verarbeitungsphase eine signifikante
Gehirnaktivität bei interessierenden Hirnregionen, wohingegen bei der Beantwortung der
Wunschfrage nur teilweise bedeutsame Aktivierungsunterschiede beobachtet werden
konnten. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass wesentliche Prozesse im Rahmen der
Zuschreibung von Wünschen bereits während der Verarbeitung der mentalen Repräsen-
tationen stattfanden und zum Zeitpunkt der Wunschzuschreibung lediglich die Auswahl
der richtigen Antwortalternative erforderlich war. Für letzteren Vorgang schien jedoch
die Aktivierung von Arealen des Mentalisierungsnetzwerks nicht notwendig zu sein. Von
besonderem Interesse war der Kontrast $3I > 3C$, der berechnet wurde, um signifikante
Mehraktivierungen während der Verarbeitung von inkompatiblen Wünschen von anderen
zu erhalten und um somit ein Konstrukt zur Verfügung zu haben, das vergleichbar mit
der Zuschreibung von falschen Überzeugungen anderer ist. Zusätzlich wurde die gleiche
Kontrastierung in der 1. Person-Bedingung durchgeführt ($1I > 1C$), um neuronale Korre-
late für die Verarbeitung inkongruenter Wünsche bei Involvierung der eigenen Person zu
erfassen.

Zusammengefasst zeigten sich bei der Verarbeitung inkompatibler Wünsche in der 3.
Person-Perspektive u. a. signifikante Mehraktivierungen im Präfrontalkortex, insbeson-
dere im dorsalen MPFC mit Anteilen des ACC bzw. SMA und im DLPFC, sowie in tem-
poral-parietalen Kortextbereichen. Zusätzlich ergab ein feinerer maskierter Kontrast eine

erhöhte funktionelle Aktivität im VLPFC mit Anteilen des inferioren Frontalkortex sowie im superioren Parietalkortex. Auch die Verarbeitung inkompatibler Wünsche in der 1. Person-Perspektive rekrutierte temporal-parietale Kortexregionen (STS/MTG), den (dorso)lateralen Präfrontalkortex (BA 9/10) sowie Bereiche des dorsalen MPFC, jedoch war das Aktivierungscluster im MPFC in der 3. Person-Bedingung größer als in der 1. Person-Bedingung. Darüber hinaus ließ sich für die Zuschreibung von eigenen Wünschen gegenüber fremden Wünschen eine erhöhte funktionelle Aktivität im rechten supramarginalen Gyrus inklusive der TPJ beobachten. Die Attribution eigener Wünsche, die mit dem Wunsch einer anderen Person im Konflikt stehen ($1I_self > 1C_self$), ergab eine Mehraktivierung im linken IFG mit Übergang in die Insula und in den STS. Im Folgenden werden die Aktivierungen der interessierenden Gehirnareale sowie ihre funktionale Bedeutung genauer erläutert und im Detail diskutiert.

7.1 Medialer Präfrontalkortex und ACC

Die Verarbeitung von inkompatiblen Wünschen führte sowohl in der 3. Person-Perspektive als auch in der 1. Person-Perspektive zu einer signifikanten Mehraktivierung des dorsalen MPFC, die sich in Bereiche des anterioren cingulären Kortex und in das SMA erstreckte. Die erhöhte funktionelle Aktivität des dorsalen MPFC steht im Einklang mit Studien, welche die Beteiligung dieser Hirnregion für ToM-Aufgaben demonstrierten, die die Attribution von Wünschen und Intentionen erforderten (Abraham et al., 2010; Brunet et al., 2000; Gallagher et al., 2002; Tavares et al., 2008). Gobbini et al. (2007) assoziierten insbesondere posteriore Bereiche des dorsalen MPFC mit Prozessen der Intentionsattribution, während der rostrale MPFC eher mit der Zuschreibung von falschen Überzeugungen im Zusammenhang stand. Übereinstimmend mit der vorliegenden Arbeit zeigten auch Abraham et al. (2010) bei inkongruenten gegenüber kongruenten Bedingungen eine erhöhte funktionelle Aktivität des linken dorsalen und ventralen MPFC. Im Gegensatz zur vorliegenden Studie ergab die Untersuchung von Abraham et al. (2010) jedoch nur in der Beurteilungsphase eine signifikante Mehraktivierung im linken dorsalen MPFC einschließlich des cingulären Kortex, während dieses Gehirnareal bei der Verarbeitung der Wunschszenarien nicht signifikant aktiviert wurde. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu den vorliegenden Befunden, wonach der MPFC lediglich in der Bearbeitungsphase, nicht aber in der Beurteilungsphase rekrutiert wurde. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass die bloße Präsentation der Szenarien von Abraham et al. (2010) in

Form von Aussagesätzen (z.B. „Thomas will, dass viel Zucker im Schokoladenpudding ist.“) noch keine Mentalisierungsprozesse induzierte, da erst zum Zeitpunkt der Testfrage (z. B. „Der Schokoladenpudding schmeckt nicht süß. Wird das Thomas gefallen/enttäuschen?“) eine entsprechende Verarbeitung angestoßen wurde. In der hier verwendeten Wunschaufgabe dagegen konnten die Probanden bereits zum Zeitpunkt der Präsentation der Wünsche (Spielfelder mit verschiedenfarbigen Münzenkombinationen, die Personen zugeordnet wurden) mentale Zuschreibungen vornehmen, was die im zeitlichen Ablauf frühe Rekrutierung des MPFC erklären könnte. Dass der posteriore MPFC/dACC primär Prozesse unterstützt, die sich in der Verarbeitungsphase von mentalen Zuständen widerspiegeln, demonstrierten auch Schuwerk et al. (2013). Demnach zeigte sich eine erhöhte funktionelle Aktivität des posterioren MPFC für die Verarbeitung von inkongruenten Überzeugungen, während die Selektion der richtigen Antwortalternative keinen signifikanten Aktivierungsunterschied in dieser Hirnregion verzeichnete. Den Probanden wurde bei Präsentation der Geschichte in der Verarbeitungsphase zwar deutlich, dass ihre eigene Überzeugung im Widerspruch zu der einer anderen Person stand, sie wussten jedoch noch nicht, ob sie zum späteren Zeitpunkt nach ihrer eigenen oder der fremden Überzeugung gefragt werden würden. Aus diesem Grund kann die erhöhte funktionelle MPFC-Aktivität nicht die Selektion der richtigen Antwort widerspiegeln. Übereinstimmend mit den Befunden von Schuwerk et al. (2013) trat auch in der vorliegenden Studie nur in der Verarbeitungsphase und nicht in der Selektionsphase eine erhöhte funktionelle Aktivität des MPFC auf. Dies spricht dafür, dass die primäre Funktion des posterioren MPFC in der Verarbeitung divergierender mentaler Repräsentationen anzusiedeln ist und dieses Gehirnareal nicht wesentlich an der Lösung des Antwortkonflikts im Zuge der Selektion einer korrekten mentalen Repräsentation beteiligt ist. Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit grundlegenden Mechanismen und Basisprozessen, die mit der neuronalen Aktivität des MPFC assoziiert werden.

7.1.1 Basisfunktionen des MPFC

Verschiedene Autoren teilen die Annahme, dass die erhöhte funktionelle Aktivität des MPFC kognitive Basisprozesse widerspiegelt (Amodio & Frith, 2006; Botvinick, Braver, Barch, Carter & Cohen, 2008). Demzufolge wird der MPFC mit exekutiven Fähigkeiten assoziiert, indem er domänenübergreifende Mechanismen zur Lösung von ToM-Aufga-

ben unterstützt wie z. B. Konflikterkennung, Arbeitsgedächtnis oder inhibitorische Kontrolle. Van der Meer et al. (2011) führten die signifikante Aktivierung des dorsalen MPFC auf das Inkrafttreten von Konfliktüberwachung aufgrund des Perspektivenunterschieds zwischen der eigenen Sichtweise und der Perspektive einer anderen Person zurück. Auch Van Overwalle (2009) listet in seiner Metaanalyse verschiedene domänenübergreifende Funktionen auf, die mit dem MPFC in Verbindung gebracht wurden. Hierzu zählt auch die Überwachung des eigenen Verhaltens (Amodio & Frith, 2006), insbesondere die Inhibition irrelevanter Reize, um den eigenen mentalen Zustand auszublenden und die Einstellung anderer in Erwägung zu ziehen. Zudem erwähnt er das Arbeitsgedächtnis, das die Repräsentation verschiedener (fremder und eigener) Perspektiven sowie die Abkoppelung mentaler Zustände von der Realität ermöglicht.

Darüber hinaus ist die signifikante Mehraktivierung des dorsalen MPFC in der vorliegenden Studie mit den Befunden von Hartwright, Apperly und Hansen (2014) konsistent, die die wichtige Rolle des dorsalen MPFC für kognitive Kontrolle im Rahmen von ToM-Aufgaben betonen. Mit dem Ziel, die unterschiedlichen Funktionen verschiedener Bereiche des MPFC genauer zu entschlüsseln, zogen Hartwright et al. (2014) drei kognitive Prozesse in Betracht, die bei ToM-Aufgaben in unterschiedlichem Ausmaß erforderlich sind: mentale Repräsentation, kognitive Kontrolle und schlussfolgerndes Denken (*reasoning*). Sie demonstrierten, dass verschiedene Regionen des MPFC domänenübergreifende Funktionen erfüllen und eine räumlich-funktionelle Trennung zwischen dem dorsalen und rostralen MPFC existiert. Während der Aktivierungsanstieg in dorsalen Bereichen des MPFC vom Ausmaß kognitiver Kontrollanforderungen moduliert wurde, zeigte der rostrale MPFC insbesondere in Abhängigkeit von Schlussfolgerungsprozessen eine erhöhte funktionelle Aktivität. Die Repräsentation verschiedener mentaler Zustände, kognitive Kontrolle in Form von Arbeitsgedächtnis- bzw. inhibitorischen Mechanismen sowie schlussfolgerndes Denken werden auch in der inkompatiblen Wunschbedingung der hier verwendeten Aufgabe benötigt. So kann die Wunschzuschreibung nur dann korrekt erfolgen, wenn es dem Probanden gelingt, während der Verarbeitungsphase zwei konkurrierende mentale Zustände (inkompatible Wünsche) kognitiv zu repräsentieren, diese im Arbeitsgedächtnis aufrechtzuhalten und in der Selektionsphase mittels mentaler Schlussfolgerung die richtige Antwortalternative wiederzugeben, indem gleichzeitig die irrelevante Sichtweise inhibiert wird.

Studien zur Überzeugungsattribution zeigten, dass der dorsale MPFC mit kognitiven Basisprozessen assoziiert werden kann (Döhnelt et al., 2012; Frith & Frith, 2003; Saxe & Powell, 2006; Schuwerk et al., 2013; Sommer, Döhnelt, Sodian et al., 2007; Van der Meer et al., 2011). So zeigte sich beispielsweise eine signifikante Mehraktivierung im MPFC bei der Attribution von falschen gegenüber wahren Überzeugungen (Döhnelt et al., 2012; Grèzes, Frith & Passingham, 2004; Sommer, Döhnelt, Sodian et al., 2007). Bei der Zuschreibung falscher Überzeugungen ist es erforderlich den mentalen Zustand einer anderen Person unabhängig von der Realität zu verarbeiten, was als Decoupling-Prozess bezeichnet wird (Gallagher & Frith, 2003; Leslie, 1987). Studien deuten darauf hin, dass posteriore und anteriore Bereiche des MPFC am Decoupling-Mechanismus im Rahmen der Zuschreibung von falschen Überzeugungen beteiligt sind. Döhnelt et al. (2012) gehen davon aus, dass die erhöhte Aktivität des posterioren MPFC bzw. dACC einen grundlegenden kognitiven Kontrollprozess in Form von Konfliktüberwachung widerspiegelt, der dem Decoupling-Mechanismus zugrunde liegt. Diese Annahme basiert auf dem sogenannten PRO (*predicted response-outcome*) – Modell von Alexander und Brown (2011), das sich auf Basisprozesse des MPFC bezieht. Laut den Annahmen des PRO-Modells können inkompatible Reize, aufgrund der höheren Anzahl an Antwortalternativen im Vergleich zu kompatiblen Stimuli, einen Konflikt induzieren, der vom posterioren MPFC bzw. dACC verarbeitet wird. Döhnelt et al. (2012) argumentieren, dass bei der Verarbeitung von falschen Überzeugungen diese Art von Konfliktüberwachung nötig ist, da der Proband zwei verschiedene mentale Repräsentationen berechnet, die zueinander im Widerspruch stehen. Folglich wird von den Versuchspersonen in den FB-Durchgängen verlangt, einen Konflikt zwischen der eigenen (wahren) und der fremden (falschen) Überzeugung durch die Abkopplung mentaler Vorgänge von der Realität zu lösen. Dagegen wird bei wahren Überzeugungen nur ein und derselbe mentale Zustand in Betracht gezogen, was keine unterschiedlichen Antwortalternativen impliziert und somit auch kein Konfliktmonitoring erfordert.

Die Annahme, dass inkompatible mentale Repräsentationen ein höheres Maß an Konfliktkontrolle erfordern und dies durch den posterioren MPFC bzw. dACC unterstützt wird, ist konsistent mit dem Ergebnis der vorliegenden Studie. Die Wunschaufgabe induzierte in der Bedingung mit inkompatiblen Wünschen einen Konflikt zwischen zwei mentalen Repräsentationen: zwischen dem eigenen Wunsch des Probanden über den Ausgang

des Münzwurfspiels und dem davon abweichenden Wunsch des Gegenspielers. In Bedingungen mit kompatiblen Wünschen hingegen sind die Überwachung eines Konflikts und die Verarbeitung von zwei unterschiedlichen mentalen Zuständen nicht notwendig, da Versuchsteilnehmer und Gegenspieler hier den gleichen Wunsch besitzen. Nach den Vorhersagen des PRO-Modells erfordert die inkompatible Wunschbedingung die Verarbeitung von zwei möglichen Antworten, während die Bedingung mit kompatiblen Wünschen lediglich die Kalkulation einer Antwort zur Folge hat und somit kein Konfliktmonitoring induziert. Döhnelt et al. (2012) postulieren, dass Konfliktmonitoring einen Basisprozess darstellt, der vom posterioren MPFC vermittelt wird und den Decoupling-Mechanismus unterstützt, d. h. die Abkopplung falscher Überzeugungen vom wahren Zustand der Realität. Die vorliegenden Daten sprechen jedoch dafür, dass der posteriore MPFC nicht nur für den Decoupling-Prozess im Kontext der Überzeugungsattribution eine Rolle spielt, sondern generell die Überwachung von Konflikten steuert, unabhängig von der Art der mentalen Repräsentation. Demnach scheint dieser Mechanismus immer dann zu greifen, wenn divergierende mentale Zustände, wie falsche Überzeugungen oder konkurrierende Wünsche, verarbeitet werden müssen. Da beim FB-Task infolge der Veränderung der realen Gegebenheiten eine falsche Überzeugung im Hinblick auf die Realität entsteht, ist eine Abkopplung des mentalen Zustands von der Wirklichkeit erforderlich, um die Aufgabe korrekt zu lösen. Nachdem Wünsche jedoch keine Repräsentationen der Realität darstellen und im vorliegenden Paradigma keine Veränderung des realen Zustands geschieht, ist bei konfligierenden Wünschen das Einsetzen eines Decoupling-Mechanismus im Sinne der Abkopplung mentaler Zustände von der Realität nicht sinnvoll. Die Mehraktivierung des posterioren MPFC kann demnach nicht per se auf den Decoupling-Mechanismus, wie er bisher definiert wurde (Gallagher & Frith, 2003; Leslie, 1987), zurückgeführt werden. Möglicherweise ist dieser Begriff breiter aufzufassen, wonach der entscheidende Mechanismus sich nicht primär auf die Abkopplung mentaler Zustände von der Realität bezieht, sondern generell auf die Entkoppelung von zwei konkurrierenden und inkompatiblen mentalen Repräsentationen. Somit deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der Decoupling-Mechanismus einen Basisprozess darstellt, der zwar vom posterioren MPFC unterstützt wird, aber grundlegender ist als bisher angenommen und nicht spezifisch in Verbindung mit der Abkopplung mentaler Zustände von der Realität bei der Überzeugungsattribution greift. Dahingegen scheint dieser Mechanismus generell benötigt zu

werden, wenn zwei mentale Repräsentationen, die miteinander im Konflikt stehen, aufrechterhalten und verarbeitet werden müssen, wofür kognitive Kontrollprozesse erforderlich sind.

Die oben beschriebenen Annahmen über die Rolle des dorsalen MPFC für die ToM-Fähigkeit wurden in der vorliegenden Arbeit durch eine Conjunction-Analyse zur Untersuchung gemeinsamer, neuronaler Korrelate für die Zuschreibung konfligierender Wünsche und die Inhibitionsfähigkeit bestätigt. Für beide Perspektivenbedingungen zeigten sich überlappende, neuronale Aktivierungen im linken dorsalen MPFC mit Anteilen des dorsalen ACC (BA 32/8). Dieser Befund lässt darauf schließen, dass der dorsale MPFC die Attribution konfligierender Wünsche mittels exekutiver Prozesse unterstützt, die auch im Rahmen des Go-NoGo-Task benötigt werden. Die Inhibitionsaufgabe verlangte von den Probanden, verschiedene Stimuli im Arbeitsgedächtnis aufrechtzuerhalten, um so schnell wie möglich die richtige Antwort zu geben. Zusätzlich erforderten die NoGo-Durchgänge eine motorische Antwortinhibition, d. h. es musste die vorherrschende Antworttendenz (d. h. der Tastendruck) unterdrückt werden. Auch bei der Wunschaufgabe sollten die Probanden dazu in der Lage sein, sich verschiedene Stimuli zu merken, indem sie eine mentale Repräsentation über die jeweiligen Wünsche der Spieler bildeten, die entweder miteinander übereinstimmten (kompatible Bedingung) oder miteinander unvereinbar waren (inkompatible Bedingung). Während in der Verarbeitungsphase eine kognitive Aufrechterhaltung der mentalen Zustände und in inkompatiblen Durchgängen zudem die Entdeckung eines Konflikts erforderlich ist, werden in der darauffolgenden Selektionsphase die Erkennung des Antwortkonflikts sowie Prozesse zur Hemmung der irrelevanten Antwort benötigt. Somit kommen drei wesentliche exekutive Mechanismen in Frage, die für beide Aufgaben gleichermaßen eine Rolle spielen und möglicherweise durch den MPFC unterstützt werden: die kognitive Aufrechterhaltung von mentalen Repräsentationen, die Erkennung eines Antwortkonflikts bzw. eines Konflikts aufgrund des Vorhandenseins von inkompatiblen mentalen Zuständen und die Inhibition einer irrelevanten Antwort. In der vorliegenden Wunschaufgabe zeigte sich nur in der Verarbeitungsphase, d. h. zum Zeitpunkt der Präsentation der konfligierenden Wünsche, nicht aber in der Selektionsphase, eine erhöhte funktionelle Aktivität im dorsalen MPFC. Da während der Verarbeitungsphase noch nicht deutlich wurde, nach welchem Wunsch in der darauffolgenden Antwortphase gefragt wird, mussten die Probanden beide Antwortmöglichkeiten kognitiv weiterhin aktiv halten, d. h. es konnte noch kein Inhibitionsprozess

zur Unterdrückung der unpassenden Antwort einsetzen. Demnach kann man den Aktivierungsanstieg im dorsalen MPFC nicht per se auf Inhibitionsmechanismen zurückführen, die während des Selektionsprozesses einsetzen. Dahingegen scheint die MPFC-Aktivität eher mit kognitiven Kontrollprozessen des Arbeitsgedächtnisses bzw. der Aufrechterhaltung von divergierenden mentalen Repräsentationen sowie mit der Konflikterkennung bei ToM-Aufgaben im Zusammenhang zu stehen. Auch im Hinblick auf die oben berichteten Forschungsevidenzen scheint es wahrscheinlicher, dass der dorsale MPFC eine zentrale Funktion für die Verarbeitung von inkompatiblen Wünschen besitzt und entscheidend dazu beiträgt, dass zwei konkurrierende, miteinander unvereinbare mentale Zustände im Arbeitsgedächtnis voneinander entkoppelt repräsentiert werden können. Dennoch ist es unwahrscheinlich, dass die erhöhte MPFC-Aktivität ausschließlich Prozesse der Arbeitsgedächtniskapazität zur Aufrechterhaltung von Informationen widerspiegelt, die nicht spezifisch mit der ToM-Fähigkeit verbunden sind. Als Maß für die Fähigkeit der Zuschreibung konfligierender Wünsche diente in der vorliegenden Studie der Kontrast von inkompatiblen Durchgängen und kompatiblen Durchgängen (3I > 3C bzw. 1I > 1C). Sowohl in Bedingungen, in welchen die Wünsche der Spieler übereinstimmten, als auch in Bedingungen, die unvereinbare Wünsche beinhalteten, mussten die Probanden die Wünsche der Spielteilnehmer bzw. ihren eigenen Wunsch im Gedächtnis aktiv halten. Zwar ist es möglich, dass die exekutiven Anforderungen bei inkompatiblen mentalen Zuständen etwas höher sind als bei kompatiblen Wünschen, jedoch rechnen sich mittels der hier verwendeten Kontrastierung neuronale Aktivierungen heraus, die bloße Arbeitsgedächtnisanforderungen widerspiegeln. Demzufolge kann davon ausgegangen werden, dass die MPFC-Aktivität nicht per se auf Arbeitsgedächtnisprozesse zurückzuführen ist, sondern die ToM-Komponente eine entscheidende Rolle spielt. Diese Interpretation erhält Unterstützung von einer Studie von Hartwright et al. (2012), die zeigte, dass die bloße Notwendigkeit einen mentalen Zustand zu repräsentieren nicht hinreichend für die Rekrutierung des MPFC ist, sondern zudem die Inferenz mentaler Zustände basierend auf kontextuellen sozialen Informationen erforderlich ist.

Auch eine Metaanalyse von Van Overwalle (2011) belegt, dass sich die signifikante Mehraktivierung des MPFC bei der Verarbeitung inkompatibler Wünsche nicht ausschließlich auf die erhöhten kognitiven Anforderungen in Form von kognitiver Kontrolle, Inhibition oder die Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses durch die Aufrechterhaltung

divergierender mentaler Repräsentationen zurückführen lässt. Vielmehr scheint die Rekrutierung des MPFC speziell bei Schlussfolgerungsprozessen notwendig zu sein, die die Verarbeitung sozialer Informationen erfordern. Entgegen der Annahmen anderer Autoren, die eine domänenübergreifende Funktion des MPFC für die allgemeine Informationsverarbeitung und komplexes Schlussfolgerung sehen (Botvinick et al., 2008; Legrand & Ruby, 2009), demonstrierten Van Overwalle (2011) eine räumlich-funktionelle Dissoziation innerhalb medial-präfrontaler Kortextbereiche zwischen sozialem Mentalisieren und allgemeinem schlussfolgernden Denken. Demnach war der MPFC vorwiegend dann aktiviert, wenn es sich um Schlussfolgerungsprozesse mit ToM-Komponente handelte, während Stimulusmaterial, das zwar allgemeines Schlussfolgern aber kein soziales Mentalisieren erforderte, den MPFC in geringerem Ausmaß rekrutierte. Generelles schlussfolgerndes Denken hingegen wird mit einer erhöhten funktionellen Aktivität des posterioren MPFC einschließlich des ACC assoziiert, der für die Überwachung und das Erkennen von Konflikten bzw. Fehlern zuständig ist und darüber hinaus häufiger bei der Schlussfolgerung mit sozialen Komponenten rekrutiert wird (Van Overwalle, 2011). Somit erbrachten die Autoren Hinweise darauf, dass es wesentliche Unterschiede zwischen der mentalen Schlussfolgerung basierend auf sozialen Informationen und dem allgemeinen schlussfolgernden Denken gibt und diese Prozesse von unterschiedlichen Regionen des medialen Frontalkortex unterstützt werden. Dabei wird der MPFC im Rahmen der sozialen Mentalisierung rekrutiert, während der posteriore mediale Frontalkortex eher für Basisfunktionen des *reasoning* oder andere exekutive Fähigkeiten eine Rolle spielt. Dieser Befund ist konsistent mit den Ergebnissen der vorliegenden Wunschaufgabe, die in inkompatiblen Bedingungen neben der Verarbeitung sozialrelevanter Informationen auch allgemeine Fähigkeiten des schlussfolgernden Denkens erfordert. Zur Lösung der Aufgabe muss man dazu in der Lage sein, die Wünsche einer anderen Person oder sich selbst Wünsche korrekt zuzuschreiben, wozu der Proband basierend auf der vorgegebenen Münzenkombination ableiten muss, welche Münze noch benötigt wird und somit die Fähigkeit zur logischen Schlussfolgerung greift.

7.1.2 *Der Einfluss des Perspektivenunterschieds*

Die Aktivierung medial-frontaler Kortextbereiche in der vorliegenden Studie war in der 3. Person-Bedingung stärker ausgeprägt und umfasste ein größeres Aktivierungscluster als in der 1. Person-Bedingung, was Hinweise auf den Einfluss der unterschiedlichen Perspektiven gibt. Überschneidungen zeigten sich zwar im posterioren dorsalen MPFC, jedoch erstreckte sich die MPFC-Aktivierung in der 3. Person-Bedingung darüber hinaus in ventral-anteriore Bereiche des dorsalen MPFC, während sich die 1. Person-Bedingung auf den posterioren dorsalen MPFC beschränkte. Demnach scheint die Verarbeitung inkompatibler Wünsche aus der Beobachterperspektive den medialen Frontalkortex im größeren Ausmaß zu beteiligen als dies der Fall ist, wenn die Versuchspersonen mit in das Paradigma involviert sind.

Auch andere Studien assoziierten Beurteilungen des eigenen mentalen Zustands und des mentalen Zustand anderer Personen mit einer erhöhten funktionellen Aktivität im MPFC. In einer Metaanalyse stellten Denny, Kober, Wager und Ochsner (2012) fest, dass selbstbezogene Urteile häufiger den ventralen MPFC aktivieren, während Zuschreibungen, die sich auf eine andere Person beziehen, öfter mit Aktivierungen des dorsalen MPFC einhergehen. Eine ähnliche Dissoziation von abgrenzbaren Regionen innerhalb des MPFC demonstrierte eine Studie von D'Argembeau et al. (2007). Während der ventrale und dorsale anteriore MPFC mit der Verarbeitung selbst-referentieller Informationen assoziiert wurde, schien der posteriore dorsale MPFC eher mentale Zuschreibungen zu unterstützen, die das Einnehmen der Perspektive einer anderen Person erforderten. Eine gemeinsame Überlappung beider Dimensionen ergab sich im linken dorsalen MPFC, was von den Autoren mit der Entkopplung der eigenen Perspektive von der Perspektive einer anderen Person erklärt wird. Konsistent mit den oben genannten Studien ergaben die Verarbeitung selbstbezogener Informationen in der 1. Person-Bedingung und die Einnahme der Perspektive einer anderen Person in der 3. Person-Bedingung in der vorliegenden Studie einen linksseitigen Aktivierungsanstieg in dorsalen Bereichen des MPFC. Die räumlich-funktionelle Dissoziation innerhalb des dorsalen MPFC bisheriger Studien konnte durch die vorliegenden Befunde jedoch nicht bestätigt werden.

Darüber hinaus geben Studien zur visuellen Perspektivenübernahme Hinweise darauf, dass mediale Bereiche des präfrontalen Kortex für die Verarbeitung von Perspektivenun-

terschieden zwischen der eigenen Sichtweise und der Sichtweise anderer eine Rolle spielen. So beobachtete man, dass durch die Anwesenheit einer virtuellen Figur (Avatar) eine spontane Verarbeitung der visuellen Perspektive von anderen ausgelöst wurde, obwohl nur die eigene Sichtweise wiedergegeben werden sollte (Samson et al., 2010). Schurz et al. (2015) demonstrierten, dass durch die visuelle Perspektivenübernahme ToM-Areale rekrutiert werden und dass diese Aktivierungen nur in Verbindung mit menschlichen Stimuli (Avatar) nicht aber bei Objekten auftreten. Die Manipulation der Eigen- oder Fremdperspektive führte zur Beteiligung von ToM-Arealen, wenn ein Perspektivenunterschied vorlag. Neben der rechten TPJ und dem Precuneus, zeigte insbesondere der ventromediale Präfrontalkortex eine signifikante Mehraktivierung für die Verarbeitung der visuellen Perspektive des Avatars bei inkonsistenten Bedingungen. Darüber hinaus ergaben sich für den Kontrast self > other Aktivierungen entlang der kortikalen Mittellinie, insbesondere im ventromedialen Präfrontalkortex. Die Tatsache, dass diese Aktivierung ebenso nur bei menschlichen Reizen auftrat, spricht dafür, dass sie nicht ausschließlich die Verarbeitung der Eigenperspektive widerspiegelt, sondern auch auf der Anwesenheit einer anderen Person basiert. Außerdem war die Aktivierung des ventromedialen Präfrontalkortex besonders stark ausgeprägt für Bedingungen mit inkonsistenten Perspektiven, was annehmen lässt, dass diese Hirnregion nicht ausschließlich im Zusammenhang mit der Eigenperspektive steht, sondern eher die Verarbeitung von Perspektivenunterschieden unterstützt.

Die oben beschriebenen Befunde stützen die Ergebnisse des vorliegenden Paradigmas, bei dem die einzunehmende Perspektive manipuliert wurde, indem die Probanden entweder ihren eigenen Wunsch wiedergeben sollten oder die Perspektive eines Gegenspielers. Dabei zeigte der mediale Präfrontalkortex eine erhöhte funktionelle Aktivität für inkongruente Durchgänge, wobei die signifikanten Aktivierungen in der 3. Person-Bedingung stärker ausgeprägt waren als in der 1. Person-Bedingung. Inkonsistent ist dieses Ergebnis jedoch mit der Annahme und den Befunden von Schurz et al. (2015), wonach die erhöhte MPFC-Aktivität mit einer self-other-Differenzierung im Zusammenhang steht. Zwar müssen in der 3. Person-Bedingung auch zwei inkompatible Sichtweisen verschiedener Personen verarbeitet werden, d. h. es existiert ein Perspektivenunterschied, jedoch besteht dieser nicht zwischen der eigenen Perspektive der Versuchsperson und der Fremdperspektive einer anderen fiktiven Person (self vs. other), wie in der 1. Person-Bedingung, sondern zwischen zwei fremden Sichtweisen (other vs. other). Es ist denkbar, dass der

MPFC generell an der Verarbeitung von Perspektivenunterschieden beteiligt ist, unabhängig davon, ob die Eigenperspektive in das Geschehen involviert ist. Demnach wäre es plausibel, dass der MPFC immer dann rekrutiert wird, wenn zwei miteinander unvereinbare Sichtweisen voneinander abweichen, wobei es unerheblich ist, ob dieser Unterschied zwischen der Versuchsperson selbst und einer anderen Person (self vs. other) oder zwischen zwei anderen Personen (other vs. other) existiert.

7.2 Temporoparietaler Kortex

Der temporoparietale Kortex stellt eine weitere Region dar, die im vorliegenden Wunschparadigma eine erhöhte funktionelle Aktivität zeigte. Während dieses Gehirnareal bei der Verarbeitung von inkompatiblen Wünschen in der 3. Person-Perspektive lediglich ein marginal signifikantes Aktivierungskuster aufwies, offenbarte sich in der 1. Person-Bedingung eine signifikante Mehraktivierung temporoparietaler Kortexbereiche, die den supramarginalen Gyrus (BA 40) und Regionen des inferioren Parietalkortex sowie des superioren und mittleren temporalen Gyrus (STS/MTG) umfasste. Zudem war der supramarginale Gyrus angrenzend an die TPJ eines der wenigen Gehirnareale, die mit einer erhöhten funktionellen Aktivität für den Kontrast self > other während der Selektionsphase einhergingen. Überlappende Aktivierungen für die Wunschverarbeitung und die Antwortinhibition im Rahmen der Go-NoGo-Aufgabe ließen sich für den temporoparietalen Kortex nicht beobachten.

Der temporalparietale Kortex, insbesondere die rechte temporo-parietale Übergangsregion (TPJ, BA 39), wird als eine Kernregion der ToM betrachtet, wobei vorwiegend Studien zur Überzeugungsattribution eine erhöhte funktionelle Aktivität in diesem Gehirnareal fanden (Aichhorn et al., 2009; Döhnelt et al., 2012; Sommer, Döhnelt, Sodian et al., 2007). Für die Fähigkeit der Wunschzuschreibung hingegen liegen inkonsistente Befunde vor. Zwar existieren neurowissenschaftliche Studien, die für die Verarbeitung von Wünschen eine signifikante Mehraktivierung der TPJ demonstrierten, jedoch sind diese Aktivierungsunterschiede im Vergleich zur Zuschreibung von Überzeugungen geringer ausgeprägt (Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe & Wexler, 2005).

Die Interpretation der funktionalen Rolle des temporo-parietalen Kortex wird erschwert durch die Tatsache, dass diese Hirnregion ein umfassendes Gehirnareal darstellt, für das bisher keine einheitlich definierten Grenzen und Bezeichnungen existieren. Zahl-

reiche ToM-Studien fanden in unterschiedlichen Bereichen des temporo-parietalen Kortex Mehraktivierungen, die sich nicht immer auf das gleiche, eng umgrenzte Areal beschränkten. Nichtsdestotrotz wird für dieses Hirnareal häufig die Bezeichnung TPJ verwendet, ohne dass räumlich genauer differenziert wird. Eine grobe Übereinkunft besteht lediglich dahingehend, dass die TPJ die Repräsentation mentaler Zustände unterstützt und auf diese Weise vom pSTS unterschieden werden kann, der eher für die Repräsentation von wahrgenommenen Handlungen und den dahinter liegenden Intentionen, zuständig ist (Gobbini et al., 2007; Lee et al., 2014; Osaka et al., 2012; Saxe, Xiao et al., 2004). Ursprünglich bezog sich der Begriff TPJ auf das Brodman-Areal 39, d. h. auf den Übergang zwischen dem temporalen und dem parietalen Kortex. Dieser Gehirnregion wurde von bedeutenden False-Belief-Studien eine wichtige Rolle für die ToM zugeschrieben (Saxe, Carey et al., 2004; Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe & Powell, 2006).

Insgesamt stehen die Ergebnisse der vorliegenden Studie im Einklang mit den bisherigen Befunden und geben Hinweise darauf, dass der temporalparietale Kortex an der Verarbeitung und Zuschreibung von inkompatiblen Wünschen beteiligt ist. Bei genauerer Betrachtung der Aktivierungsprofile wird jedoch deutlich, dass diese bezüglich der Lokalisation von klassischen FB-Studien abweichen. So scheint die Repräsentation inkompatibler Wünsche zwar temporal-parietale Kortexareale zu rekrutieren, diese beziehen sich jedoch eher auf den superioren und inferioren Parietalkortex (BA 7/40) sowie auf angrenzende Bereiche des posterioren STS (BA 22). Die klassische TPJ-Region (BA 39) zeigte nur eine tendenzielle Involvierung. Dies wird zudem durch die Ergebnisse der ROI-Analyse bestätigt, für welche MNI-Koordinaten ($x = 56$, $y = -56$, $z = 18$) basierend auf einer Metaanalyse von Schurz et al. (2014) ausgewählt wurden. Bereiche der rechten TPJ zeigten keine signifikanten Aktivierungsunterschiede für die vier Bedingungen der vorliegenden Wunschaufgabe. Demzufolge scheint die funktionelle Aktivität der rechten TPJ (BA 39), die klassischerweise mit der Zuschreibung von falschen Überzeugungen assoziiert wurde, nicht durch die Wunschverarbeitung moduliert zu werden. Möglicherweise stellt die TPJ eine spezialisierte Gehirnregion dar, die nicht domänenübergreifend für die Zuschreibung von unterschiedlichen mentalen Zuständen, sondern vor allem für die Attribution von falschen Überzeugungen rekrutiert wird. Denkbar ist, dass die erhöhte TPJ-Aktivität speziell mit der Veränderung der realen Begebenheiten (*change of location*) im Rahmen der FB-Aufgabe im Zusammenhang steht, wodurch ein Perspektivenkonflikt induziert wird, der dazu führt, dass eines der beiden mentalen Modelle veraltet

ist (falsche Überzeugung). Zwar besteht bei der Wunschattri-bution auch ein Perspekti-venkonflikt durch die Inkompatibilität der Wünsche, jedoch findet kein Wechsel des re-alen Zustands statt. Folglich sind die inkompatiblen mentalen Repräsentationen weiterhin beide gültig. Der entscheidende Faktor für die Rekrutierung der rechten TPJ wäre dem-nach nicht die Existenz eines Perspektivenkonflikts an sich, sondern ein Wechsel der re-alen Gegebenheiten, der nur bei Aufgaben mit falschen Überzeugungen vorkommt. Dem-nach scheint die rechte TPJ eine größere Relevanz für die Überzeugungsattribution zu haben, während für die Wunschzuschreibung offensichtlich andere Bereiche des tempo-ral-parietalen Kortex eine Rolle spielen¹.

Als übergreifende Funktion wurde dem temporo-parietalen Kortex von verschiedenen Autoren die Aufmerksamkeitsorientierung in Bezug auf relevante Stimuli zugeschrieben (für einen Überblick siehe Corbetta et al., 2008). So beobachtete man eine erhöhte funk-tionelle Aktivität des temporo-parietalen Kortex, wenn die Probanden ihren aktuellen Aufmerksamkeitsfokus verändern mussten, um ihre Aufmerksamkeit auf aufgabenrele-vante Stimuli zu reorientieren. Zudem scheint die TPJ stärker beim Wechsel der Auf-merksamkeit als bei der Aufrechterhaltung von Aufmerksamkeit aktiviert zu sein (Shul-man et al., 2009). Dabei wurde lange diskutiert, ob innerhalb der TPJ gleiche oder unter-schiedliche Bereiche für die Zuschreibung mentaler Zustände und die Aufmerksamkeits-reorientierung rekrutiert werden. Entgegen der Annahmen von Saxe und Kollegen (Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe & Powell, 2006; Saxe & Wexler, 2005), die die signifikante Aktivierung der TPJ als spezifisch für die Zuschreibung mentaler Zustände sehen, gab Mitchell's (2008) Studie Anstoß für eine integrative Sichtweise der TPJ-Funktion. Er de-monstrierte, dass die TPJ-Aktivität nicht spezifisch in Verbindung mit der sozialen Kog-nition steht, sondern auch durch Aufmerksamkeitsaufgaben ohne soziale Komponente moduliert wird. Zudem konnte er zeigen, dass die Rekrutierung der TPJ auf einen ge-meinsamen kognitiven Prozess zurückgeht, der sowohl zur Überzeugungsattribution als auch zur Aufmerksamkeitsorientierung beiträgt. Demgegenüber stehen die Befunde einer nachfolgenden Studie von Scholz et al. (2009), die beim Vergleich eines ToM-Task mit

¹ Da die Autoren der nachfolgend diskutierten Studien nicht zwischen dem klassischen TPJ-Areal und angrenzenden Gehirnregionen unterscheiden, wird im Folgenden der Begriff TPJ ungeachtet dessen ver-wendet, welcher Bereich im temporalparietalen Kortex tatsächlich in diesen Studien aktiviert wurde.

einer Aufgabe zur exogenen Aufmerksamkeit zeigten, dass die ToM-Fähigkeit und Aufmerksamkeitsorientierung zwar benachbarte, aber unterschiedliche Regionen der TPJ rekrutierten. Schuwerk et al. (2013) analysierte die funktionelle Aktivität der TPJ im Hinblick auf zwei separate Phasen: die Verarbeitung und die Selektion von inkongruenten mentalen Zuständen. Für beide dieser Phasen existieren Forschungsevidenzen über die Involvierung des temporo-parietalen Kortex. Zum einen postuliert McCleery, Surtees, Graham, Richards und Apperly (2011), dass der temporoparietale Kortex an der Verarbeitung und Repräsentation von visuellen Perspektiven beteiligt ist. Zum anderen fanden Studien zur Überzeugungsattribution Hinweise darauf, dass diese Hirnregion Prozesse unterstützt, die für die Selektion mentaler Zustände relevant sind (Döhnelt et al., 2012; Hartwright et al., 2012; Schuwerk et al., 2013). Demzufolge unterstützt die TPJ die Aufrechterhaltung und den Wechsel zwischen der eigenen Perspektive und der mentalen Repräsentation von anderen (Hartwright et al., 2012) und vermittelt eine Aufmerksamkeitsorientierung von einer stimulus-bezogenen Verarbeitung (d. h. Schlussfolgerungen basierend auf der Realität) hin zu einer stimulus-unabhängigen Verarbeitung (d. h. Schlussfolgerungen basierend auf nicht beobachtbaren mentalen Zuständen von anderen; Döhnelt et al., 2012).

Auch in der vorliegenden Studie wurde nicht nur in der Verarbeitungsphase, sondern auch bei der Selektion inkompatibler Wünsche eine erhöhte TPJ-Aktivität beobachtet. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den Annahmen von Schuwerk et al. (2013), die den signifikanten Aktivierungsanstieg im temporoparietalen Kortex während der Verarbeitung inkongruenter mentaler Zustände mit der Aktualisierung mentaler Modelle assoziieren. Demnach werden durch die Enkodierung der Umweltinformationen mentale Modelle gebildet bzw. angepasst, was durch die Veränderung der realen Gegebenheiten erforderlich ist. Dagegen reflektiert die TPJ-Aktivität während der Selektionsphase den Wechsel zwischen den divergierenden mentalen Modellen sowie die Überprüfung des zuvor gespeicherten mentalen Modells, um die richtige Antwort wählen zu können.

Auch in der hier verwendeten Wunschaufgabe sind Aufmerksamkeitsprozesse erforderlich, die möglicherweise mit der erhöhten funktionellen Aktivität des temporoparietalen Kortex im Zusammenhang stehen. In der Verarbeitungsphase des vorliegenden Paradigmas war es wichtig, dass die Probanden ihre Aufmerksamkeit auf die Spielfelder richten, um sich diese einzuprägen und um mentale Repräsentationen über den eigenen

Wunsch bzw. die Wünsche andere Personen zu bilden. In der inkompatiblen Wunschbedingung erzeugte die Anordnung der Spielfelder divergierende mentale Modelle, da der Wunsch des Gegenspielers unvereinbar mit dem eigenen Wunsch des Probanden (1. Person-Bedingung) oder mit dem eines anderen Spielers (3. Person-Bedingung) war. Das Münzwurfspiel erlaubte nur ein Ergebnis: entweder ergab sich durch den Wurf eine rote oder eine blaue Münze, d. h. die beiden Spieler benötigten in inkompatiblen Durchgängen ein unterschiedliches Resultat des Münzwurfs, um den Spielzug zu gewinnen. Im Gegensatz dazu waren die mentalen Modelle in der kompatiblen Bedingung für beide Spieler identisch, sowohl in der 1. Person-Perspektive als auch in der 3. Person-Perspektive. Den Spielteilnehmern wurden die gleichen Spielfelder zugewiesen, weshalb sie die gleiche Münzfarbe benötigten, um einen Durchgang zu gewinnen. Im weiteren Verlauf des Versuchsparadigmas wurden die Probanden nach dem Wunsch eines Spielers gefragt. Bei inkongruenten Wünschen erforderte diese Testfrage von den Probanden, innerhalb der unterschiedlichen mentalen Repräsentationen die richtige auszuwählen, indem sie ihre Aufmerksamkeit auf das entsprechende mentale Modell richteten, um die Aufgabe korrekt zu lösen. Der Wechsel und die Reorientierung der Aufmerksamkeit zwischen zwei verschiedenen mentalen Sets ist demzufolge ein wichtiger kognitiver Prozess, der bei inkompatiblen mentalen Zuständen zu greifen scheint. Im Gegensatz zur Überzeugungsattribution, wie sie z. B. von Schuwerk et al. (2013) untersucht wurde, ist hierbei jedoch kein Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus von einer stimulus-bezogenen Verarbeitung (wahre Überzeugung) in Richtung einer stimulus-unabhängigen Verarbeitung (falsche Überzeugung) notwendig. Im vorliegenden Experiment fand in der Wunschaufgabe keine Veränderung der realen Begebenheiten statt wie dies in False-Belief-Aufgaben häufig durch einen vom Protagonisten unbemerkten Ortswechsel eines Objekts induziert wird. Dahingegen kamen durch den inszenierten Münzwurf im Spielverlauf lediglich neue Informationen hinzu, die von den Probanden registriert werden mussten, um eine korrekte Antwort zu geben. Während die Aktivität des temporoparietalen Kortex in der Verarbeitungsphase demnach mit der Entwicklung und Anpassung mentaler Modelle assoziiert werden kann, scheint die TPJ-Aktivität in der Selektionsphase die Aktualisierung mentaler Repräsentationen bzw. den Wechsel zwischen verschiedenen mentalen Modellen, bedingt durch das Hinzukommen von neuen Informationen, zu reflektieren. Mit der Testfrage werden dem Probanden neue Informationen bereitgestellt, sodass er ableiten kann, welche mentale Repräsentation (die eigene oder die des Gegenspielers) zur Lösung der

Aufgabe relevant ist. Dieser Prozess erfordert die Aktualisierung und Überprüfung der mentalen Modelle, um die relevante kognitive Repräsentation auszuwählen und die korrekte Antwort zu geben.

Interessanterweise trat im durchgeführten Experiment eine signifikant erhöhte TPJ-Aktivität bei der Verarbeitung inkongruenter mentaler Zustände vorwiegend in der 1. Person-Bedingung sowie bei der Beurteilung des eigenen mentalen Zustands in der Selektionsphase (*self* > *other*) auf, d. h. in Bedingungen, in denen eine Diskrepanz zwischen der Perspektive der Versuchsteilnehmer selbst (*self*) und der eines anderen Spielers (*other*) bestand. Demzufolge scheint die Involvierung der eigenen Person und das Vorliegen einer Perspektivendifferenz ein entscheidender Faktor für die Beteiligung des temporoparietalen Kortex zu sein. Dieser Befund steht im Einklang mit Studien zur visuellen Perspektivenübernahme, die die wichtige Rolle der TPJ für die Unterscheidung zwischen der eigenen und der fremden Sichtweise (*self-other-discrimination*) herausstellten. Ramsey, Hansen, Apperly und Samson (2013) demonstrierten, dass die TPJ mit Anteilen des angularen Gyri die Auswahl der relevanten Sichtweise bei diskrepanzhaften Perspektiven unterstützt. Darüber hinaus fanden Schurz et al. (2015) im Rahmen eines Paradigmas zur visuellen Perspektivenübernahme eine erhöhte TPJ-Aktivität bei Nichtübereinstimmung der eigenen und der fremden Perspektive, d. h. im Falle eines Konflikts zwischen *other* und *self*, was konsistent mit den vorliegenden Befunden ist.

7.3 Ventrolateraler Präfrontalkortex und IFG

Neben einer erhöhten funktionellen Aktivität im dorsalen MPFC und in Bereichen des temporal-parietalen Kortex, ging die Verarbeitung von inkompatiblen Wünschen in der 3. Person-Perspektive (3I > 3C) mit einer signifikanten Mehraktivierung im linken inferioren bzw. ventrolateralen Präfrontalkortex einher, die sich bis in die Insula erstreckte. Außerdem wurde dieses Gehirnareal bei der Selektion inkompatibler Wünsche in der 1. Person-Bedingung rekrutiert, wenn von den Probanden verlangt wurde, sich selbst einen Wunsch zuzuschreiben (1I_ *self* > 1C_ *self*). Dagegen zeigte sich bei der Verarbeitung inkompatibler Wünsche aus der 1. Person-Perspektive (1I > 1C) nur ein kleineres Aktivierungscluster in der Insula.

Der inferiore Frontalkortex mit Übergang zur Inselrinde gilt als eine Kernregion für die Fähigkeit der Antwortinhibition (Garavan, Hester, Murphy, Fassbender & Kelly, 2006; Kelly et al., 2004; Menon, Adelman, White, Glover & Reiss, 2001). Duncan und

Owen (2000) postulieren jedoch, dass die Aktivierung des IFG nicht speziell inhibitorische Mechanismen widerspiegelt, sondern als Teil des frontoparietalen Netzwerks eine breitgefächerte Funktion bei der aufmerksamen Verarbeitung von neuen, aufgabenrelevanten Informationen einnimmt. Unterstützt wird diese Annahme durch funktionelle Befunde, die demonstrieren, dass der IFG insbesondere im Kontext von Paradigmen rekrutiert wird, die einen Aufmerksamkeitswechsel erfordern. Um die Rolle der Aufmerksamkeitskontrolle dissoziiert von inhibitorischen Mechanismen zu untersuchen, betrachteten Dodds et al. (2011) in einer fMRT-Studie die Aktivierungsmuster separat für verschiedene Aufgabenkomponenten (Aufmerksamkeitswechsel, motorische Inhibition und Antwortkontrolle). Sie stellten fest, dass die funktionelle Aktivität des rechten IFG mit Übergang zur Insula mit zunehmenden Kontrollanforderungen der motorischen Antwort anstieg. Die erhöhte funktionelle Aktivität dieser Region wurde dabei nicht von der motorischen Antwortinhibition oder Aufmerksamkeitskontrolle an sich beeinflusst, sondern eine Kombination dieser beiden Prozesse schien das Ausmaß der Aktivierung zu modulieren. Zudem betonen Befunde aus Läsionsstudien die Beteiligung des rechten inferioren frontalen Kortex (IFG) an inhibitorischen Kontrollprozessen (Aron, Fletcher, Bullmore, Sahakian und Robbins, 2003).

In der vorliegenden Studie wurde eine erhöhte funktionelle Aktivität des IFG bei der Verarbeitung und der Selektion inkompatibler Wünsche beobachtet, was eine Beteiligung inhibitorischer Prozesse vermuten lässt. So wurde der IFG bei der Selektion einer Antwortalternative in der 1. Person-Bedingung signifikant aktiviert, wenn nach dem eigenen Wunsch des Probanden gefragt wurde. Das in dieser Studie verwendete Paradigma erzeugt in Bedingungen mit inkompatiblen Wünschen einen Konflikt zwischen zwei mentalen Zuständen, die sich auf ein und dieselbe Situation beziehen und miteinander unvereinbar sind. Während in der 1. Person-Bedingung ein kognitiver Konflikt zwischen der eigenen Perspektive des Probanden und dem Wunsch des fiktiven Gegenspielers existiert, stehen in der 3. Person-Bedingung die Sichtweisen zweier Personen zueinander im Widerspruch –jedoch ohne, dass der Proband selbst einen Wunsch über das Resultat des Münzwurfspiels besitzt. Die funktionellen Befunde der vorliegenden Studie lassen darauf schließen, dass der IFG/VLPFC sowohl eine Rolle für die Verarbeitung divergierender Wünsche spielt, als auch den Selektionsprozess bei inkompatiblen mentalen Zuständen unterstützt. Dies steht im Einklang mit neurowissenschaftlichen Studien, die für ToM-

Aufgaben eine erhöhte funktionelle Aktivität des inferioren Frontalkortex bzw. ventrolateralen Präfrontalkortex zeigten (für einen Überblick siehe Mar, 2011). Im Kontext der sozialen Kognition wurde die Funktion des IFG/VLPFC häufig mit kognitiven Basisprozessen in Verbindung gebracht, die den Mentalisierungsvorgang unterstützen. Zum einen wurde die IFG-Aktivität mit der Antwortinhibition assoziiert, die zur Lösung von ToM-Aufgaben benötigt wird, zum anderen mit Mechanismen der *self-perspective-inhibition* bei Aufgaben, die entweder hohe oder geringe Inhibitionsanforderungen an den Probanden stellen (Hartwright et al., 2015; Samson et al., 2005; Van der Meer et al., 2011). Van der Meer et al. (2011) demonstrierten, dass der IFG (BA 47) eine wichtige Rolle für diesen spezifischen Inhibitionsprozess spielt. Mittels einer videobasierten Untersuchung der Überzeugungsattribution trugen die Autoren zur Differenzierung zwischen den neuronalen Korrelaten der *self-perspective-inhibition* und der ToM bei und bestätigten so die Annahme von Samson et al. (2005) über einen zweistufigen Mentalisierungsprozess. Dabei zeigte der IFG eine signifikante Mehraktivierung bei Durchgängen, die eine starke Hemmung der Eigenperspektive erforderten. Hartwright et al. (2012) assoziieren die erhöhte funktionelle Aktivität des ventrolateralen Präfrontalkortex ebenso mit den höheren inhibitorischen Anforderungen zur Unterdrückung der eigenen Sichtweise, die durch den Konflikt zwischen wahren und falschen Überzeugungen ausgelöst werden. Jedoch ergab sich diese Modulation der funktionellen Aktivität des VLPFC nur in Folge der Variation des Status von Überzeugungen (*true vs. false*), nicht jedoch bezüglich der Variation von Wünschen (*approach vs. avoidance desires*). Auf den ersten Blick scheint das Fehlen einer IFG-Aktivierung im Zusammenhang mit dem Wunschverständnis den Befunden der vorliegenden Studie zu widersprechen. Jedoch gilt zu beachten, dass im Paradigma von Hartwright et al. (2012), im Gegensatz zur hier verwendeten Wunschaufgabe, kein Konflikt zwischen zwei Wünschen induziert wurde. Es existierten nicht zwei widersprüchliche Sichtweisen bezüglich ein und derselben Situation, sondern der im Versuchsablauf vorgegebene Wunsch sollte lediglich das Verhalten des Protagonisten in Abhängigkeit von der jeweiligen Überzeugung steuern. Zusammengefasst sprechen die bisherigen Befunde dafür, dass der IFG generell an Verarbeitungs- und Selektionsprozessen der ToM beteiligt ist.

Ein direkter Vergleich gemeinsamer funktioneller Aktivierungsmuster der Antwortinhibition (NoGo > Go) und der Verarbeitung inkompatibler Wünsche mittels einer Conjunction-Analyse erbrachte sowohl für den Kontrast 3I > 3C als auch für 1I > 1C eine

signifikante Mehraktivierung des IFG mit Übergang in die Insula mit linksseitigem Schwerpunkt. Zwar zeigte sich für die 1. Person-Bedingung zudem ein Aktivierungsanstieg in der rechten Hemisphäre, dieser wurde jedoch nur auf unkorrigiertem Clusterniveau signifikant. Zudem ergab die grafische Darstellung der Hirnaktivität der Antwortinhibition (NoGo > Go) und der Zuschreibung konfligierender Wünsche aus der Eigenperspektive eine Überlappung im linken IFG und in der Insula. Demzufolge scheint der linke inferiore Frontalkortex bzw. linke VLPFC ein gemeinsam rekrutiertes Areal der Antwortinhibition und der Wunschattriution darzustellen und sowohl für die Verarbeitung, als auch für die Zuschreibung von inkompatiblen Wünschen eine Rolle zu spielen. Dieser Befund ist interessant, da die vorliegende Studie eine der ersten Untersuchungen ist, die innerhalb der gleichen Stichprobe in einem Experiment die Fähigkeit zur Antwortinhibition direkt mit der Zuschreibung von Wünschen verglich. Ein ähnliches Vorgehen verfolgten bisher lediglich Rothmayr et al. (2011) in einer Studie mit Fokus auf die Zuschreibung von falschen Überzeugungen und fanden für die Antwortinhibition eine signifikante Mehraktivierung u. a. im rechten inferioren Frontalkortex, die jedoch keine Überschneidungen mit der ToM-Aufgabe aufwies. Dies kann als Hinweis darauf gewertet werden, dass die Involvierung des IFG im vorliegenden Wunschparadigma primär auf inhibitorische Prozesse zurückzuführen ist, die aufgrund des Perspektivenunterschieds (1. Person vs. 3. Person) benötigt werden. Diese Annahme erfährt Unterstützung von einer Studie von Schuwerk et al. (2013), in der die Beteiligung des IFG an der Verarbeitung von divergierenden Überzeugungen demonstriert wurde.

7.4 Zusammenfassende Bewertung der neuronalen Befunde und Ausblick

Mit dem Ziel, mögliche neuronale Zusammenhänge zwischen der Attribution konfligierender Wünsche und der inhibitorischen Kontrolle zu erfassen, wurden in der vorliegenden Studie beide Konzepte mittels funktioneller Bildgebung untersucht. Im Vordergrund stand hierbei zum einen die Frage nach den neuronalen Grundlagen der Wunschattriution, welche in bisherigen Studien wenig Beachtung fanden, um Aussagen über die Rolle von Schlüsselregionen der ToM – insbesondere bezüglich dem MPFC und der TPJ – für die Zuschreibung von konfligierenden Wünschen zu treffen. Zum anderen lag der Fokus der vorliegenden Untersuchung auf der zentralen Fragestellung, ob die Wunschattriution und die inhibitorische Kontrolle auf gemeinsamen oder distinkten neuronalen Grundlagen basieren.

Die Verarbeitung und Zuschreibung von inkompatiblen Wünschen in der vorliegenden Wunschaufgabe rekrutierte Bestandteile des bekannten neuronalen ToM-Netzwerks, darunter den posterioren MPFC mit Anteilen des dorsalen ACC und den temporo-parietalen Kortex. Zudem fanden sich sowohl in der Verarbeitungsphase als auch bei der Selektion von inkompatiblen Wünschen signifikante Aktivierungen im ventrolateralen Kortex, einschließlich des IFG. Die erhöhte funktionelle Aktivität des posterioren MPFC steht im Zusammenhang mit kognitiven Basisprozessen bzw. exekutiven Funktionen, welche die Repräsentation von mentalen Zuständen unterstützen. Die neuronalen Befunde lassen die Schlussfolgerung zu, dass der posteriore MPFC primär in die Verarbeitung von divergierenden mentalen Repräsentationen involviert ist, da diese ein höheres Maß an kognitiven Kontrollprozessen erfordern. Für den Selektionsprozess zur Auswahl der richtigen Antwortalternative hingegen scheint diese Hirnregion keine besondere Relevanz zu haben. Entgegen den Annahmen verschiedener Autoren, wonach der posteriore MPFC eine zentrale Rolle für den sogenannten Decouplingprozess spielt (Döhnell et al., 2012; Schuwerk et al., 2013), deuten die aktuellen Ergebnisse an, dass die Funktion des MPFC übergreifender aufzufassen ist, als bisher angenommen. Demnach ist der wesentliche Mechanismus, der vom MPFC unterstützt wird, nicht die Abkopplung mentaler Zustände von der Realität, sondern generell die Entkopplung von zwei konkurrierenden mentalen Zuständen, die als miteinander unvereinbar gelten. Für die kognitive Verarbeitung divergierender mentaler Modelle ist auch eine Konfliktüberwachung notwendig, woran der MPFC beteiligt ist. Zudem scheint dieses Gehirnareal generell zur Entkopplung konfligierender Perspektiven beizutragen, indem es die Verarbeitung von Perspektivenunterschieden beim Vorliegen von unvereinbaren Sichtweisen unterstützt, unabhängig davon, ob diese Differenz zwischen zwei fremden Perspektiven (3. Person-Bedingung; other vs. other) existiert oder die eigene Sichtweise von der einer anderen Person abweicht (1. Person-Bedingung; self vs. other). Zusammengefasst wird also davon ausgegangen, dass die MPFC-Aktivierung Mechanismen für die Verarbeitung und Aufrechterhaltung mentaler Repräsentationen und Prozesse der Konfliktüberwachung reflektiert. Die Annahmen über gemeinsame exekutive Mechanismen werden von überlappenden Aktivierungen innerhalb des MPFC für die Wunschattribution und die inhibitorische Kontrolle bestätigt. Da sich jedoch nur in der Verarbeitungsphase – in welcher der Einsatz inhibitorischer Prozesse nicht zielführend wäre – eine erhöhte MPFC-Aktivität zeigte, kann ausgeschlossen

werden, dass die signifikante Mehraktivierung des MPFC mit der inhibitorischen Kontrolle per se im Zusammenhang steht. Demzufolge ist die zentrale Funktion des MPFC eher in der Konflikterkennung und –verarbeitung, sowie in der kognitiven Aufrechterhaltung von divergierenden mentalen Repräsentationen anzusiedeln.

Ein weiteres gemeinsames neuronales Korrelat von Wunschattriution und inhibitorischer Kontrolle stellt der ventrolaterale Kortex bzw. der IFG dar, der sowohl bei der Verarbeitung und Selektion konfligierender Wünsche, als auch bei der Inhibition einer motorischen Antwort im Go-GoNo-Task, eine signifikant erhöhte Aktivität zeigte. Die Rekrutierung des IFG in der Selektionsphase scheint dabei auf inhibitorische Prozesse zurückzugehen, die zur Bewältigung beider Aufgaben benötigt werden. Bei der Wunschaufgabe unterstützt der IFG möglicherweise die Erkennung eines Perspektivenkonflikts zwischen inkompatiblen Sichtweisen infolge divergierender Wünsche (Verarbeitungsphase) sowie anschließend die Lösung dieses Konflikts (Selektionsphase), indem Mechanismen zur Hemmung der Eigenperspektive (*self-perspective-inhibition*) einsetzen.

Der temporoparietale Kortex (inklusive superiorer/ inferiorer Parietalkortex und STS) dagegen stellt ein Areal dar, das nur im Zusammenhang mit konfligierenden Wünschen, nicht aber für die Inhibitionsaufgabe eine erhöhte funktionelle Aktivität zeigte. Bei der Verarbeitung und Selektion von inkompatiblen Wünschen ist diese Gehirnregion vermutlich an der Entwicklung, Aktualisierung und Anpassung mentaler Modelle durch das Hinzukommen von neuen Informationen beteiligt. Zudem scheint der temporoparietale Kortex den Wechsel zwischen divergierenden mentalen Modellen zu unterstützen sowie zur Verarbeitung der Perspektivendifferenz beizutragen. Die Lokalisation der gefundenen Aktivierung bezog sich jedoch nicht auf das klassische TPJ-Areal, das als Kernregion der ToM bezeichnet wird und primär mit spezifischen Prozessen der Überzeugungsattriution infolge eines Abgleichs mit der Realität z. B. bei der FB-Aufgabe assoziiert wird.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Verarbeitung und Zuschreibung von konfligierenden Wünschen mit der Rekrutierung von Hirnregionen einhergeht, die in bisherigen ToM-Studien bereits als wichtige Areale des Mentalisierungsnetzwerks identifiziert wurden. Insbesondere der MPFC gilt als neuronales Korrelat für domänenübergreifende Prozesse in Form von exekutiven Funktionen, die für die ToM benötigt werden. Dahingegen muss die Rolle der TPJ differenzierter betrachtet werden, nachdem die Attriution konfligierender Wünsche nicht das typische TPJ-Areal, sondern andere Berei-

che des temporoparietalen Kortex rekrutierte. Demzufolge zeigen die neuronalen Korrelate der Wunschattribution nur teilweise Überschneidungen mit Hirnregionen, die in die Überzeugungsattribution involviert sind. Dies ist als Hinweis darauf zu sehen, dass das neuronale Netzwerk der sozialen Kognition von Gehirnregionen mit sowohl domänenübergreifender als auch domänenspezifischer Beteiligung gebildet wird. Darüber hinaus ergab sich in der vorliegenden Studie durch die Überschneidung von Aktivierungen im MPFC und IFG eine enge neuronale Verbindung zwischen der Wunschattribution und der inhibitorischen Kontrolle, was auf gemeinsame neuronale Mechanismen der beiden Fähigkeiten schließen lässt, die sich teilweise auf spezifische Inhibitionsprozesse beziehen.

Die aktuellen Befunde stützen demnach die neurokognitive Erklärungstheorie zum Zusammenhang zwischen EF und ToM bei Kindern, wonach beide Kompetenzen auf gemeinsamen, eng verbundenen Hirnstrukturen basieren und der präfrontale Kortex eine herausragende Bedeutung für die Vermittlung dieses Zusammenhangs besitzt (Ozonoff et al., 1991; Rothmayr et al., 2011). Zwar ist eine Überprüfung dieser Entwicklungstheorie ohne den Vergleich mit einer Stichprobe von Kindern nicht möglich, jedoch spricht eine gemeinsame neuronale Basis beider Konzepte im Erwachsenenalter dafür, dass auch im Entwicklungsverlauf ein bedeutsamer Zusammenhang bezüglich des Reifeprozesses von Hirnregionen besteht, der eine Erklärung für die Verbindung zwischen ToM und EF bieten könnte. Zudem sind die gemeinsamen neuronalen Aktivierungen von Wunschattribution und inhibitorischer Kontrolle konsistent mit der Annahme der *expression theory* (Carlson & Moses, 2001; Sabbagh, Xu et al., 2006), die davon ausgeht, dass der Zusammenhang zwischen ToM und EF aufgrund von vergleichbaren exekutiven Aufgabenanforderungen besteht. Die hier verwendete Wunschaufgabe erfordert bestimmte kognitive Kontrollfähigkeiten, die vermutlich auf ähnlichen neuronalen Prozessen beruhen wie die Inhibitionsfähigkeit im Go-NoGo-Task und deswegen eine neuronale Überschneidung zur Folge haben. Dieses Ergebnis stützt außerdem die Annahme von Hughes (2002), wonach eine funktionale Abhängigkeit zwischen beiden Kompetenzen durch übergeordnete exekutive Funktionen moderiert wird.

Der Befund über einen Zusammenhang zwischen der Attribution konfligierender Wünsche und inhibitorischer Kontrolle auf neuronaler Ebene steht im Einklang mit den Resultaten von Rothmayr et al. (2011), der eine ähnliche Assoziation zwischen ToM und EF für die Zuschreibung von falschen Überzeugungen bei Erwachsenen darstellen

konnte. Bestätigt werden zudem die Ergebnisse einer Verhaltensstudie von Rakoczy (2010), in welcher sich nicht nur eine Korrelation zwischen den exekutiven Leistungen und dem Verstehen von Überzeugungen ergab, sondern auch ein Zusammenhang zwischen der Inhibitionsfähigkeit und der Zuschreibung konfligierender Wünsche beobachtet werden konnte. Demzufolge scheint die Zuschreibung von inkompatiblen Wünschen ähnliche kognitive Anforderungen zu stellen wie die Attribution von falschen Überzeugungen, vorausgesetzt, es muss ein Perspektivenkonflikt verarbeitet werden, der aufgrund diskrepanter Wünsche entsteht, die das Merkmal der Inkompatibilität aufweisen (Rakoczy et al., 2007). Die vorliegenden Befunde können jedoch nur bedingt einen Beitrag im Hinblick auf die Klärung der entwicklungspsychologischen Debatte leisten, ob sich das Verständnis über Wünsche und Überzeugungen bei Kindern in Form eines symmetrischen oder eines asymmetrischen Entwicklungsverlaufes herausbildet. Auf der einen Seite geben die beobachteten Aktivierungsprofile zwar Hinweise auf Überschneidungen der neuronalen Grundlagen der Wunschattriution und der Überzeugungsattriution. Auf der anderen Seite scheinen jedoch wichtige Unterschiede bezüglich der neuronalen Basis beider Konzepte zu bestehen, die sich insbesondere hinsichtlich der Involvierung temporal-parietaler Kortextbereiche ergeben. So spricht die fehlende Beteiligung der TPJ (BA 39) bei konfligierenden Wünschen für eine domänenspezifische Funktion dieser Hirnregion für die Zuschreibung falscher Überzeugungen. Dies lässt sich im Einklang mit Erklärungsansätzen eines asymmetrischen Entwicklungsverlaufes der *belief-desire-psychology* interpretieren, die qualitative Unterschiede bezüglich der repräsentationalen Eigenschaften von Überzeugungen und Wünschen postulieren. Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal besteht darin, dass das Verstehen von falschen Überzeugungen eine mentale Aufrechterhaltung der Repräsentation entkoppelt von der Realität erfordert, was bei Wünschen nicht der Fall ist. Gemäß der Argumentation von Rakoczy (2010; Rakoczy et al., 2007) weicht die logisch-normative Struktur von Wünschen (*world-to-mind-direction of fit*) vom Evaluationsprozess von Überzeugungen (*mind-to-world-direction-of-fit*) ab, da Wünsche keine Repräsentationen der Realität sind. Ob die Überzeugungsattriution aufgrund des Realitätsbezugs und den unterschiedlichen repräsentationalen Eigenschaften ein höheres Maß an exekutiven Funktionen benötigt als die Wunschattriution, ist mittels der vorliegenden Studie nicht eindeutig zu klären. Weiterführende Studien, die innerhalb eines Paradigmas, mit Hilfe von identischem Stimulusmaterial, sowohl die

Wunsch- als auch die Überzeugungsattribution mittels bildgebender Methoden untersuchen und die neuronale Basis der mentalen Konzepte mit den exekutiven Fähigkeiten vergleichen, könnten zu dieser Fragestellung einen sinnvollen Beitrag leisten.

Darüber hinaus lässt sich mit Hilfe der vorliegenden Daten keine Aussage darüber machen, ob konfligierende Wünsche tatsächlich subjektive Perspektivenprobleme darstellen und ob somit die bei der Wunschzuschreibung ablaufenden Prozesse mit der Attribution von falschen Überzeugungen verglichen werden können. Rakoczy (2010) stellte fest, dass dreijährige Kinder ein Verständnis für inkompatible Wünsche, nicht aber für falsche Überzeugungen haben, was ein Hinweis darauf sein könnte, dass inkompatible Wünsche keine Perspektivenkonflikte darstellen, die entstehen, weil ein und dieselbe Situation aus unterschiedlichen Sichtweisen betrachtet werden kann. Zwar wurde die inkompatible Bedingung der Wunschaufgabe in der vorliegenden Studie so konstruiert, dass die Kriterien für ein Perspektivenproblem erfüllt sind, jedoch gab es keine Kontrollbedingung mit falschen Überzeugungen. Um zu überprüfen, ob konfligierende Wünsche tatsächlich Perspektivenprobleme darstellen, sind weiterführende Studien ähnlich wie der von Fizke et al. (2014) nötig. Sie untersuchten mit Hilfe vergleichbaren Stimulusmaterials innerhalb einer identischen Stichprobe sowohl die Attribution von falschen Überzeugungen als auch von konfligierenden Wünschen und verglichen die Leistung mit den exekutiven Fähigkeiten der Kinder. Hierbei bestätigte sich, dass die Zuschreibung von mentalen Zuständen, die in komplexe Perspektivenprobleme eingebunden sind (unabhängig davon, ob es sich um Wünsche oder Überzeugungen handelt), generell inhibitorische Kontrollfähigkeiten beanspruchen. Der korrelative Zusammenhang zwischen ToM und EF war besonders hoch für Aufgaben, in welche die Versuchsperson direkt involviert wurde. Die Befunde von Fizke et al. (2014) sprechen dafür, dass exekutive Funktionen im Rahmen der ToM eine Rolle für die Koordination von widersprüchlichen Perspektiven spielen.

Im Hinblick auf die Bedeutung inhibitorischer Mechanismen für das Verstehen konfligierender Wünsche bestätigen die aktuellen Ergebnisse die Argumentation von Fizke et al. (2014) und Rakoczy (2010), wonach exekutive Funktionen nicht nur eine Bedeutung für kognitive Einstellungen (Überzeugungen), sondern auch für konative Einstellungen (Wünsche) haben. Der Zusammenhang zwischen kognitiven Kontrollprozessen und der Wunschverarbeitung besteht also insbesondere dann, wenn die Wünsche subjektive mentale Perspektivenkonflikte darstellen, die eine Involvierung der eigenen Person mit sich bringen. Demzufolge sind die Ergebnisse konsistent mit der Annahme, dass exekutive

Funktionen eine herausragende Bedeutung für ToM-Aufgaben haben, die die Koordination verschiedener Perspektiven erfordern. Dabei ist die vorliegende Studie eine der ersten Untersuchungen, die Hinweise darauf liefert, dass nicht nur die Überzeugungsattribution, sondern auch die Wunschzuschreibung eine gemeinsame neuronale Basis mit den exekutiven Funktionen teilen. Die Grundlage der Korrelation zwischen inhibitorischer Kontrolle und ToM scheint demnach eine gemeinsame neurokognitive Basis zu sein, die sich in den neuronalen Überlappungen wichtiger Hirnregionen des ToM-Netzwerks widerspiegelt.

Abschließend ergeben sich wichtige Fragestellungen für weiterführende Studien, die sich darauf beziehen 1) ob konfligierende Wünsche tatsächlich Perspektivenprobleme im Sinne subjektiver mentaler Repräsentationen darstellen, 2) ob inkompatible Wünsche ein gleiches Maß an exekutiven Anforderungen benötigen, wie es von Überzeugungen angenommen wird und 3) welcher Art die inhibitorischen Prozesse sind, die den Mentalisierungsprozess unterstützen. In Bezug auf den letzten Punkt wären sowohl domänenübergreifende als auch domänenspezifische Formen von inhibitorischen Mechanismen möglich, die zur Lösung unterschiedlicher Arten von Perspektivenproblemen greifen (Rakoczy, 2010). Interessant wäre zudem herauszufinden, ob sich der Zusammenhang zwischen inhibitorischer Kontrolle und mentalen Perspektivenproblemen auch außerhalb der sozialen Kognitionsforschung, zum Beispiel bei der visuellen Perspektivenübernahme, nachweisen lässt.

8 Literaturverzeichnis

- Abraham, A., Rakoczy, H., Werning, M., von-Cramon, D. Y. & Schubotz, R. I. (2010). Matching mind to world and vice versa: Functional dissociations between belief and desire mental state processing. *Social Neuroscience*, 5 (1), 1–18.
- Abravanel, E. & DeYong, N. G. (1991). Does object modeling elicit imitative-like gestures from young infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 52, 22–40.
- Aichhorn, M., Perner, J., Weiss, B., Kronbichler, M., Staffen, W. & Ladurner, G. (2009). Temporo-parietal junction activity in theory-of-mind tasks: falseness, beliefs, or attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21 (6), 1179–1192.
- Alexander, W. H. & Brown, J. W. (2011). Medial prefrontal cortex as an action-outcome predictor. *Nature Neuroscience*, 14, 1338–1344.
- Amodio, D. M. & Frith, C. D. (2006). Meeting of minds: the medial frontal cortex and social cognition. *Nat. Rev. Neurosci.*, 7 (4), 268–277.
- 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, 1773–1784.
- Aron, A. R. (2007). The Neural Basis of Inhibition in Cognitive Control. *The Neuroscientist*, 13 (3), 214–228.
- Aron, A. R., Fletcher, P. C., Bullmore, E. T., Sahakian, B. J. & Robbins, T. W. (2003). Stop-signal inhibition disrupted by damage to right inferior frontal gyrus in humans. *Nature Neuroscience*, 6, 115–116.
- Austin, G., Groppe, K. & Elsner, B. (2014). The reciprocal relationship between executive function and theory of mind in middle childhood: a 1-year longitudinal perspective. *Frontiers in Psychology*, 5 (655), 1–10.
- Baird, J. A. & Astington, J. W. (2005). The development of the intention concept: from the observable world to the unobservable mind. In R. R. Hassin, J. S. Uleman & J. A. Bargh (Hrsg.), *The new unconscious* (S. 256–276). Oxford: Oxford Univ. Press.
- 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*. New York: Oxford Univ. Press.

- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S. & Cohen, J. D. (2008). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, *108*, 624–652.
- Brooks, R. & Meltzoff, A. N. (2002). The importance of eyes: How infants interpret adult looking behavior. *Developmental Psychology*, *38*, 958–966.
- Brunet, E., Sarfati, Y., Hardy-Baylé, M.-C. & Decety, J. (2000). A PET investigation of the attribution of intentions with a nonverbal task. *NeuroImage*, *11* (2), 157–166.
- Butterworth, G. (2001). Joint visual attention in infancy. In G. Bremner & A. Fogel (Hrsg.), *Blackwell handbook of infant development* (S. 213–240). Oxford: Blackwell.
- Butterworth, G. & Jarrett, N. (1991). What minds have in common is space: Spatial mechanisms serving joint visual attention in infancy. *The British journal of developmental psychology*, *9*, 55–72.
- Caillies, S., Bertot, V., Motte, J., Raynaud, C. & Abely, M. (2014). Social cognition in ADHD: irony understanding and recursive theory of mind. *Research in developmental disabilities*, *35* (11), 3191–3198.
- Canessa, N., Alemanno, F., Riva, F., Zani, A., Proverbio, A. M., Mannara, N. et al. (2012). The neural bases of social intention understanding: the role of interaction goals. *PLOS ONE*, *7*.
- Carlson, S. M., Mandell, D. J. & Williams, L. (2004). Executive Function and Theory of Mind: Stability and prediction from ages 2 to 3. *Developmental Psychology*, *40* (6), 1105–1122.
- Carlson, S. M., Moses, L. J. & Breton, C. (2002). How specific is the relation between executive function and theory of mind? Contributions of inhibitory control and working memory. *Infant and Child Development*, *11*, 73–92.
- Carlson, S. M., Moses, L. J. & Claxton, L. J. (2004). Individual differences in executive functioning and theory of mind: An investigation of inhibitory control and planning ability. *Journal of Experimental Child Psychology* (87), 299–319.
- Carlson, S. M. & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child Development*, *72* (4), 1032–1053.
- Carpenter, M., Akthar, N. & Tomasello, M. (1998). Fourteen- through 18-month old infants differentially imitate intentional and accidental actions. *Infant Behavior and Development*, *21*, 315–330.
- Carpenter, M., Nagell, K. & Tomasello, M. (1998). Social cognition, joint attention, and communicative competence from 9 to 15 months of age. *Monogr. Soc. Res. Child Dev.*, *63*, 1–166.

- Carter, C. S. & Van Veen, V. (2007). Anterior cingulate cortex and conflict detection: An update of theory and data. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 7 (4), 367–379.
- Cassidy, K. W., Cosetti, M., Jones, R., Kelton, E., Meier Rafal, V., Richman, L. et al. (2005). Preschool children's understanding of conflicting desires, 6 (3), 37–41.
- Castelli, F., Happé, F., Frith, U. & Frith, C. (2000). Movement and mind: A functional imaging study of perception and interpretation of complex intentional movement patterns. *NeuroImage*, 12, 314–325.
- Charman, T., Carroll, F. & Sturge, C. (2001). Theory of mind, executive function and social competence in boys with ADHD. *Emotional and Behavioral Difficulties*, 6, 31–49.
- Chasiotis, A. & Kiessling, F. (2004). Bleibt die Spezifität der Beziehung zwischen Theory of mind und inhibitorischer Kontrolle über die Lebensspanne bestehen? *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 36, 105–114.
- Clements, W. A. & Perner, J. (1994). Implicit understanding of belief. *Cognitive Development*, 9 (4), 377–395.
- Corbetta, M., Patel, G. & Shulman, G. L. (2008). The reorienting system of the human brain: from environment to theory of mind. *Neuron*, 58 (3), 306–324.
- D'Argembeau, A., Ruby, P., Collette, F., Degueldre, C., Balteau, E., Luxen, A. et al. (2007). Distinct regions of the medial prefrontal cortex are associated with self-referential processing and perspective taking. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19 (6), 935–944.
- Davidson, D. (1963). Actions, reasons, and causes. *The Journal of Philosophy*, 60 (23), 685–700.
- Decety, J. & Lamm, C. (2007). The role of the temporal-parietal junction in social interaction: how low-level computational processes contribute to meta-cognition. *Neuroscientist*, 13 (6), 580–593.
- Dennett, D. C. (1978). Beliefs about beliefs. Commentary on D. Premack & G. Woodruff "Does the chimpanzee have a theory of mind?". *Behavioral and brain sciences*, 1 (4), 568–570.
- Denny, B. T., Kober, H., Wager, T. D. & Ochsner, K. N. (2012). A meta-analysis of functional neuroimaging studies of self- and other judgments reveals a spatial gradient for mentalizing in medial prefrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24 (8), 1742–1752.

- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V. & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Exp. Brain Res.*, *91* (1), 176–180.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, *64*, 135–168.
- Dodds, C. M., Morein-Zamir, S. & Robbins, T. W. (2011). Dissociating inhibition, attention, and response control in the frontoparietal network using functional magnetic resonance imaging. *Cerebral Cortex*, *21* (5), 1155–1165.
- Doherty, M. J. (2009). *Theory of mind. How children understand others' thoughts and feelings*. Hove, UK: Psychology Press.
- Döhnelt, K., Schuwerk, T., Meinhardt, J., Sodian, B., Hajak, G. & Sommer, M. (2012). Functional activity of the right temporo-parietal junction and of the medial prefrontal cortex associated with true and false belief reasoning. *NeuroImage*, *60* (3), 1652–1661.
- Duncan, J. & Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in neurosciences*, *23* (10), 475–483.
- Fizke, E., Barthel, D., Peters, T. & Rakoczy, H. (2014). Executive function plays a role in coordinating different perspectives, particularly, when one's own perspective is involved. *Cognition*, *130* (3), 315–334.
- Flavell, J. H., Flavell, E. R., Green, F. L. & Moses, L. J. (1990). Young children's understanding of fact belief versus value belief. *Child development*, *61* (4), 915–928.
- Fletcher, P., Happé, F., Frith, U., Baker, S. C., Dolan, R.J., Frackowiak, R.S. & Frith, C. D. (1995). Other minds in the brain: a functional imaging study of 'theory of mind' in story comprehension. *Cognition*, *57* (2), 109–128.
- Friedman, O. & Leslie, A. M. (2004). Mechanisms of belief-desire reasoning. *Psychological Science*, *15* (8), 547–552.
- Friedman, O. & Leslie, A. M. (2005). Processing demands in belief-desire reasoning: inhibition or general difficulty? *Developmental Science*, *8* (3), 218–225.
- Friston, K. J., Fletcher, P., Josephs, O., Holmes, A., Rugg, M. D. & Turner, R. (1998). Event-related fMRI: characterizing differential responses. *NeuroImage*, *7* (1), 30–40.
- 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.

- Frye, D., Zelazo, P. D. & Palfai, T. (1995). Theory of mind and rule-based reasoning. *Cognitive Development, 10* (4), 483–527.
- Gallagher, H. L. & Frith, C. D. (2003). Functional imaging of 'theory of mind'. *Trends in cognitive sciences, 7* (2), 77–83.
- 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 task. *Neuropsychologia, 38* (1), 11–21.
- Gallagher, H. L., Jack, A. I., Roepstorff, A. & Frith, C. D. (2002). Imaging the intentional stance in a competitive game. *NeuroImage, 16* (3), 814–821.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L. & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain, 119* (2), 593–609.
- Garavan, H., Hester, R., Murphy, K., Fassbender, C. & Kelly, C. (2006). Individual differences in the functional neuroanatomy of inhibitory control. *Brain Research, 1105* (1), 130–142.
- German, T. P. & Hehman, J. A. (2006). Representational and executive selection resources in 'theory of mind': evidence from compromised belief-desire reasoning in old age. *Cognition, 101* (1), 129–152.
- Gobbini, M. I., Koralek, A. C., Bryan, R. E., Montgomery, K. J. & Haxby, J. V. (2007). Two takes on the social brain: A comparison of theory of mind tasks. *Journal of Cognitive Neuroscience, 19* (11), 1803–1814.
- Gopnik, A. & Astington, J. W. (1988). Children's understanding of representational change and its relation to the understanding of false belief and the appearance-reality distinction. *Child Development, 59* (1), 26–37.
- Gopnik, A. & Wellman, H. M. (1994). The theory theory. In L. Hirschfeld & S. Gelman (Hrsg.), *Mapping the Mind: Domain Specificity in Cognition and Culture* (S. 257–293). New York: Cambridge Univ Press.
- Grèzes, J., Frith, C. D. & Passingham, R. E. (2004). Inferring false beliefs from the actions of oneself and others: an fMRI study. *NeuroImage, 21* (2), 744–750.
- Hadwin, J. & Perner, J. (1991). Pleased and surprised: Children's cognitive theory of emotion. *British Journal of Developmental Psychology, 9* (2), 215–234.
- Hala, S., Hug, S. & Henderson, A. (2003). Executive function and false-belief understanding in preschool children: Two tasks are harder than one. *Journal of Cognition and Development, 4* (3), 275–298.

- Harris, P. L. (1992). From simulation to folk psychology: the case for development. *Mind and Language*, 7 (1-2), 120–144.
- Hartwright, C. E., Apperly, I. A. & Hansen, P. (2015). The special case of self-perspective inhibition in mental, but not non-mental representation. *Neuropsychologia*, 67, 183–192.
- Hartwright, C. E., Apperly, I. A. & Hansen, P. C. (2014). Representation, control, or reasoning? Distinct functions for theory of mind within the medial prefrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26 (4), 683–698.
- Hartwright, C. E., Apperly, I. A. & Hansen, P. C. (2012). Multiple roles for executive control in belief–desire reasoning: Distinct neural networks are recruited for self-perspective inhibition and complexity of reasoning. *NeuroImage*, 61 (4), 921–930.
- Heider, F. & Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behaviour. *American Journal of Psychology*, 57 (2), 243–259.
- Hogrefe, G. J., Wimmer, H. & Perner, J. (1986). Ignorance versus false belief: a developmental lag in attribution of epistemic states. *Child development*, 57 (3), 567–582.
- Hood, B. M., Willen, J. D. & Driver, J. (1998). Adult's eyes trigger shifts of visual attention in human infants. *Psychological Science*, 9 (2), 131–134.
- Hughes, C. (1998). Executive function in preschoolers: Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, 16 (2), 233–253.
- Hughes, C. (2002). Executive functions and development: emerging themes. *Infant and Child Development*, 11 (2), 201–209.
- Hughes, C. & Russell, J. (1993). Autistic children's difficulty with mental disengagement from an object: Its implication for theories of autism. *Developmental Psychology*, 29 (3), 498–510.
- Iacoboni, M. & Dapretto, M. (2006). The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nat. Rev. Neurosci.*, 7 (12), 942–951.
- Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J. C. & Rizzolatti, G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS Biol*, 3 (3), 529–535.
- Johnson, M. H. (2003). Development of human brain functions. *Biol. Psychiatry*, 54 (12), 1312–1316.
- Kain, W. & Perner, J. (2005). What fMRI can tell us about the ToM-EF connection: false beliefs, working memory and inhibition. In W. Schneider, R. Schumann-Hengsteler &

- B. Sodian (Hrsg.), *Young children's cognitive development. Interrelationships among executive functioning, working memory, verbal ability, and theory of mind* (S. 189–218). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Kelly, C., Hester, R., Murphy, K., Javitt, D. C., Foxe, J. J. & Garavan, H. (2004). Prefrontal-subcortical dissociations underlying inhibitory control revealed by event-related fMRI. *European Journal of Neuroscience*, 19 (11), 3105–3112.
- Lang, B. & Perner, J. (2002). Understanding of intention and false belief and the development of self-control. *The British journal of developmental psychology*, 20 (1), 67–76.
- Lee, S. M., Gao, T. & McCarthy, G. (2014). Attributing intentions to random motion engages the posterior superior temporal sulcus. *SCAN*, 9 (1), 81–87.
- Legerstee, M. (1992). A review of the animate-inanimate distinction in infancy: implications for models of social and cognitive knowing. *Early Development and Parenting*, 1 (2), 59–67.
- Legrand, D. & Ruby, P. (2009). What is self-specific? Theoretical investigation and critical review of neuroimaging results. *Psychological Review*, 116 (1), 252–282.
- Leslie, A. M. & Thaiss, L. (1992). Domain specificity in conceptual development: neuropsychological evidence from autism. *Cognition*, 43 (3), 225–251.
- Leslie, A. M. (1987). Pretense and representation: The origins of “Theory of Mind”. *Psychological Review*, 94 (4), 412–426.
- Leslie, A. M. (1994). Pretending and believing: issues in the theory of ToMM. *Cognition*, 50 (1-3), 211–238.
- Leslie, A. M., Friedman, O. & German, T. P. (2004). Core mechanisms in "theory of mind". *Trends in cognitive sciences*, 8 (12), 528–533.
- Leslie, A. M., German, T. P. & Polizzi, P. (2005). Belief-desire reasoning as a process of selection. *Cognitive Psychology*, 50 (1), 45–85.
- Leslie, A. M. & Polizzi, P. (1998). Inhibitory processing in the false belief task: Two conjectures. *Developmental Science*, 1 (2), 247–253.
- Malle, B. F. & Knobe, J. (2001). The distinction between desire and intention: A folkconceptual analysis. In Malle, B.F., Moses, L.J. & D. Baldwin (Hrsg.), *Intentions and intentionality: Foundations of social cognition*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Mar, R. A. (2011). The neural bases of social cognition and story comprehension. *Annu. Rev. Psychol.*, 62 (1), 103–134.

- McCabe, K., Houser, D., Ryan, L., Smith, V. & Trouard, T. (2001). A functional imaging study of cooperation in two-person reciprocal exchange. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98 (20), 11832–11835.
- McCleery, J. P., Surtees, A. D., Graham, K. A., Richards, J. E. & Apperly, I. A. (2011). The neural and cognitive time course of theory of mind. *The Journal of Neuroscience*, 31 (36), 12849–12854.
- Meltzoff, A. N. (1995). Understanding the intentions of others: re-enactment of intended acts by 18-month-old children. *Developmental Psychology*, 31 (5), 838.
- Meltzoff, A. N. & Moore, M. K. (1977). Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science* (198), 74–78.
- Menon, V., Adleman, N. E., White, C. D., Glover, G. H. & Reiss, A. L. (2001). Error-related brain activation during a Go/NoGo response inhibition task. *Human Brain Mapping*, 12 (3), 131–143.
- Mitchell, J. P. (2008). Activity in right temporo-parietal junction is not selective for theory-of-mind. *Cerebral Cortex*, 18 (2), 262–271.
- Moore, C. & Corkum, V. (1994). Social understanding at the end of the first year of life. *Developmental Review*, 14 (4), 349–372.
- Moore, C., Jarrold, C., Russell, J., Lumb, A., Sapp, F. & MacCallum, F. (1995). Conflicting desire and the child's theory of mind. *Cognitive Development*, 10 (4), 467–482.
- Moore, D. G., Goodwin, J. E., George, R., Axelsson, E. L. & Braddick, F. M. (2007). Infants perceive human point-light displays as solid forms. *Cognition*, 104 (2), 377–396.
- Moriguchi, Y. (2014). The early development of executive function and its relation to social interaction: a brief review. *Frontiers in Psychology*, 5 (388), 1–10.
- Nichols, S. & Stich, S. (2003). *Mindreading: an integrated account of pretence, self-awareness, and understanding of other minds*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Osaka, N., Ikeda, T. & Osaka, M. (2012). Effect of intentional bias on agency attribution of animated motion: an event-related fMRI-study. *PLOS ONE*, 7 (11), e49053.
- Ozonoff, S., Pennington, B. F. & Rogers, S. J. (1991). Executive function deficits in high-functioning autistic children: Relationship to theory of mind. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 32 (7), 1081–1105.

- Perner, J., Aichhorn, M., Kronbichler, M., Staffen, W. & Ladurner, G. (2006). Thinking of mental and other representations: the roles of left and right temporo-parietal junction. *Social Neuroscience*, 1 (3-4), 245–258.
- Perner, J., Kain, W. & Barchfeld, P. (2002). Executive control and higher-order theory of mind in children at risk of ADHD. *Infant and Child Development*, 11 (2), 141–158.
- Perner, J., Lang, B. & Kloo, D. (2002). Theory of Mind and Self-Control: More than a Common Problem of Inhibition. *Child development*, 73 (3), 752–767.
- Perner, J., Stummer, S. & Lang, B. (1999). Executive functions and theory of mind: Cognitive complexity or functional dependence? In P. D. Zelazo, J. W. Astington & D. R. Olson (Hrsg.), *Developing theories of intentions: Social understanding and self-control* (S. 133–152). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Perner, J. (1991a). On representing that: The asymmetry between belief and desire in children's theory of mind. In D. Frye & C. Moore (Hrsg.), *Children's theories of mind: Mental states and social understanding* (S. 139–156). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Perner, J. (1991b). *Understanding the representational mind*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Perner, J. (1998). The meta-intentional nature of executive functions and theory of mind. In P. Carruthers & J. Boucher (Hrsg.), *Language and thought: Interdisciplinary themes* (S. 270–283). Cambridge, UK: Cambridge Univ Press.
- Perner, J. & Lang, B. (1999). Development of theory of mind and executive control. *Trends in Cognitive Sciences*, 3 (9), 337–344.
- Perner, J., Sprung, M., Zauner, P. & Haider, H. (2003). Want that is understood well before say that, think that, and false belief: A test of de Villiers's linguistic determinism on german-speaking children. *Child Development*, 74 (1), 179–188.
- Perner, J., Zauner, P. & Sprung, M. (2005). What does “that” have to do with point of view? Conflicting desires and “want” in German. In J. W. Astington & J. A. Baird (Hrsg.), *Why language matters for theory of mind* (S. 220–244). New York, NY: Oxford Univ. Press.
- Peskin, J. (1992). Ruse and representations: On children's ability to conceal information. *Developmental Psychology*, 28 (1), 84–89.
- Petrashek, A. R. & Friedman, O. (2011). The signature of inhibition in theory of mind: children's predictions of behavior based on avoidance desire. *Psychonomic Bulletin and Review*, 18 (1), 199–203.

- Phillips, L. H., Bull, R., Allen, R., Inch, P. & Burr, K. (2011). Lifespan aging and belief reasoning: influence of executive function and social cue decoding. *Cognition*, *126* (2), 236–247.
- Premack, D. & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and brain sciences*, *1* (4), 515–526.
- Rakoczy, H. (2010). Executive function and the development of belief-desire psychology. *Developmental Science*, *13* (4), 648–661.
- Rakoczy, H., Warneken, F. & Tomasello, M. (2007). “This way!”, “No! That way!”—3-year olds know that two people can have mutually incompatible desires. *Cognitive Development*, *22* (1), 47–68.
- Ramsey, R., Hansen, P., Apperly, I. & Samson, D. (2013). Seeing it my way or your way: Frontoparietal brain areas sustain viewpoint-independent perspective selection processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *25* (5), 670–684.
- Repacholi, B. M. & Gopnik, A. (1997). Early reasoning about desires: Evidence from 14- and 18-month-olds. *Developmental Psychology*, *33* (1), 12–21.
- Rizzolatti, G. & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, *27*, 169–192.
- Rostad, K. & Pexman, P. M. (2014). Developing appreciation for ambivalence: The understanding of concurrent conflicting desires in 4- to 7-year-old children. *Can J Exp Psychol*, *68* (2), 122–132.
- Rothmayr, C., Sodian, B., Hajak, G., Döhnell, K., Meinhardt, J. & Sommer, M. (2011). Common and distinct neural networks for false-belief reasoning and inhibitory control. *NeuroImage*, *56* (3), 1705–1713.
- Rowe, A. D., Bullock, P. R., Polkey, C. E. & Morris, R. G. (2001). "Theory of mind" impairments and their relationship to executive functioning following frontal lobe excisions. *Brain: a journal of neurology*, *124* (3), 600–616.
- Ruby, P. & Decety, J. (2003). What you believe versus what you think they believe: a neuroimaging study of conceptual perspective-taking. *European Journal of Neuroscience*, *17* (11), 2475–2480.
- Russell, J. (1997). How executive disorders can bring about an inadequate theory of mind. In J. Russell (Hrsg.), *Autism as an executive disorder* (S. 256–304). Oxford, UK: Oxford University Press.

- Sabbagh, M. A., Moses, L. J. & Shiverick, S. (2006). Executive functioning and preschooler's understanding of false beliefs, false photographs, and false signs. *Child Development, 77* (4), 1034–1049.
- Sabbagh, M. A., Xu, F., Carlson, S. M., Moses, L. J. & Lee, K. (2006). The development of executive functioning and theory of mind. *Psychological Science, 17* (1), 74–81.
- 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), 499–500.
- Samson, D., Apperly, I. A., Braithwaite, J. J., Andrews, B. J. & Bodley-Scott, S. E. (2010). Seeing it their way: evidence for rapid and involuntary computation of what other people see. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 36* (5), 1255–1266.
- Samson, D., Apperly, I. A., Kathirgamanathan, U. & Humphreys, G. W. (2005). Seeing it my way: a case of a selective deficit in inhibiting self-perspective. *Brain, 128* (5), 1102–1111.
- Saxe, R., Carey, S. & Kanwisher, N. (2004). Understanding other minds: Linking developmental psychology and functional neuroimaging. *Annual Review of Psychology, 55* (1), 87–124.
- 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, R. & Powell, L. (2006). It's the thought that counts: Specific brain regions for one component of theory of mind. *Psychological Science, 17* (8), 692–699.
- Saxe, R., 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, R. & Wexler, A. (2005). Making sense of another mind: The role of the right temporo-parietal junction. *Neuropsychologia, 43* (10), 1391–1399.
- Saxe, R., Xiao, D.-K., Kovacs, G., Perret, D. I. & Kanwisher, N. (2004). A region of right posterior superior temporal sulcus responds to observed intentional actions. *Neuropsychologia, 42* (11), 1435–1446.
- 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), e4869.

- Schurz, M., Kronbichler, M., Weissengruber, S., Surtees, A., Samson, D. & Perner, J. (2015). Clarifying the role of theory of mind areas during visual perspective taking: Issues of spontaneity and domain-specificity. *NeuroImage*, *117*, 386–396.
- Schurz, M., Radua, J., Aichhorn, M., Richlan, F. & Perner, J. (2014). Fractionating theory of mind: A meta-analysis of functional brain imaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *42*, 9–34.
- Schuwerk, T., Döhnel, K., Sodian, B., Keck, I. R., Rupperecht, R. & Sommer, M. (2013). Functional activity and effective connectivity of the posterior medial prefrontal cortex during processing of incongruent mental states. *Human Brain Mapping*, *35* (7), 2950–2965.
- Searle, J. R. (1983). *Intentionality. An essay in the philosophy of mind*. Cambridge: Cambridge Univ. Pr.
- Senju, A., Southgate, V., Snape, C., Leonard, M. & Csibra G. (2011). Do 18-month-olds really attribute mental states to others? A critical test. *Psychological Science*, *22* (7), 878–880.
- Shulman, G. L., Astafiev, S. V., Franke, D., Pope, D. L., Snyder, A. Z., McAvoy, M. P. et al. (2009). Interaction of stimulus-driven reorienting and expectation in ventral and dorsal frontoparietal and basal ganglia-cortical networks. *Journal of Neuroscience*, *29* (4), 4392–4407.
- Simmonds, D. J., Pekar, J. J. & Mostofsky, S. H. (2008). Meta-analysis of Go/No-go tasks demonstrating that fMRI activation associated with response inhibition is task-dependent. *Neuropsychologia*, *46* (1), 224–232.
- Slaugther, V. & McConnel, D. (2003). Emergence of joint attention: relationships between gaze following, social referencing, imitation, and naming in infancy. *The Journal of Genetic Psychology*, *164* (1), 54–71.
- Sodian, B. (1991). The development of deception in young children. *The British journal of developmental psychology* (9), 173–188.
- Sodian, B. & Hülshen, C. (2005). The developmental relation of theory of mind and executive functions: A study of advanced theory of mind abilities in children with ADHD. In W. Schneider, R. Schumann-Hengsteler & B. Sodian (Hrsg.), *Young children's cognitive development. Interrelationships among executive functioning, working memory, verbal ability, and theory of mind* (S. 175–188). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum.

- Sodian, B. & Thoermer, C. (2006). Theory of Mind. In W. Schneider & B. Sodian (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie* (Serie V: Entwicklung, 2: Kognitive Entwicklung, Bd. 2, S. 495–608). Göttingen: Hogrefe.
- Sommer, M., Döhnelt, K., Schuwerk, T. & Hajak, G. (2007). Funktionell-neuroanatomische Grundlagen der Theory of Mind. In H. Förstl (Hrsg.), *Theory of Mind. Neurobiologie und Psychologie sozialen Verhaltens* (S. 89–102). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Sommer, M., Döhnelt, K., Sodian, B., Meinhardt, J., Thoermer, C. & Hajak, G. (2007). Neural correlates of true and false belief reasoning. *NeuroImage*, 35 (3), 1378–1384.
- Surian, L. & Geraci, A. (2012). Where will the triangle look for it? Attributing false beliefs to a geometric shape at 17 months. *The British journal of developmental psychology*, 30 (1), 30–44.
- Tager-Flusberg, H., Sullivan, K. & Boshart, J. (1997). Executive functions and performance on false-belief-tasks. *Developmental neuropsychology*, 13 (4), 487–494.
- Tavares, P., Lawrence, A. D. & Barnard, P. J. (2008). Paying attention to social meaning: an fMRI study. *Cerebral Cortex*, 18 (8), 1876–1885.
- Van der Meer, Groenewold, N. A., Nolen, W. A., Pijnenborg, M. & Aleman, A. (2011). Inhibit yourself and understand the other: Neural basis of distinct processes underlying Theory of Mind. *NeuroImage*, 56 (4), 2364–2374.
- Van Overwalle, F. (2009). Social cognition and the brain: a meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 30 (3), 829–859.
- Van Overwalle, F. (2011). A dissociation between mentalizing and general reasoning. *NeuroImage*, 54 (2), 1589–1599.
- Vogeley, K., Bussfeld, P., Newen, A., Herrmann, S., Happé, F., Falkai, P. et al. (2001). Mind reading: Neural mechanisms of theory of mind and self-perspective. *NeuroImage*, 14 (1), 170–181.
- Watanabe, J., Sugiura, M., Sato, K., Sato, Y., Maeda, Y., Matsue, Y. et al. (2002). The human prefrontal and parietal association cortices are involved in NO-GO performances: an event-related fMRI study. *NeuroImage*, 17 (3), 1207–1216.
- Wellman, H. M. & Banerjee, M. (1991). Mind and emotion: Children's understanding of the emotional consequences of beliefs and desires. *The British journal of developmental psychology*, 9 (2), 119–124.
- 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, H. M. & Woolley, J. D. (1990). From simple desires to ordinary beliefs: The early development of everyday psychology. *Cognition*, 35 (3), 245–275.
- 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.
- Woodward, A. L., Phillips, A. & Spelke, E. S. (1993). Infants' expectations about the motion of animate versus inanimate objects, 1087–1091.
- Woodward, A. L., Sommerville, J. A. & Guarjardo, J. J. (2001). How infants make sense of intentional action. In Malle, B.F., Moses, L.J. & D. Baldwin (Hrsg.), *Intentions and intentionality: Foundations of social cognition* (S. 149–169). Cambridge, Mass: MIT Press.
- Yuill, N. (1984). Young children's coordination of motive and outcome in judgements of satisfaction and morality. *British Journal of Developmental Psychology*, 2 (1), 73–81.
- Yuill, N., Perner, J., Pearson, A., Peerbhoy, D. & van den Ende, J. (1996). Children's changing understanding of wicked desires: From objective to subjective and moral. *British Journal of Developmental Psychology*, 14 (4), 457–475.

9 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1</i> Darstellung von neuronalen Korrelaten der ToM in sagittaler (oben) und lateraler Ansicht (unten). Farblich gekennzeichnet sind der anteriore mediale Präfrontalkortex (anteriorer MPFC, markiert in rot), der dorsale mediale Präfrontalkortex (dorsaler MPFC: anteriore Bereiche in hellblau; posteriore Bereiche in dunkelblau), die temporal-parietale Übergangsregion (TPJ, in lila), der posteriore superiore temporale Sulcus (pSTS, in pink) und der ventrolaterale Präfrontalkortex (VLPFC) einschließlich des inferioren Frontalgyrus (IFG, in grün).....	48
<i>Abbildung 2.1</i> Exemplarische Darstellung des Spielfeldes für inkompatible und kompatible Wünsche in Abhängigkeit von der Perspektivenbedingung (1. Person bzw. 3. Person).....	74
<i>Abbildung 2.2</i> Exemplarische Abfolge der Präsentation des Stimulusmaterials für einen Durchgang mit inkompatiblen Wünschen in der 1. Person-Perspektive mit jeweiliger Präsentationsdauer der Stimuli.....	75
<i>Abbildung 3.1</i> Mittlere Antwortgenauigkeit in Prozent ($M \pm SE$) in der 1C-, 1I-, 3C- und 3I-Bedingung ohne Berücksichtigung der Wunschfrage-Perspektive.....	77
<i>Abbildung 3.2</i> Durchschnittliche Reaktionszeiten ($M \pm SE$) in der 1C-, 1I-, 3C- und 3I-Bedingung ohne Berücksichtigung der Wunschfrage-Perspektive.....	78
<i>Abbildung 3.3</i> Mittlere Antwortgenauigkeit bei inkompatiblen und kompatiblen Wünschen für die 1. Person-Bedingung in Abhängigkeit von der Attributionsperspektive bei der Wunschfrage.....	79
<i>Abbildung 3.4</i> Mittlere Reaktionszeiten ($M \pm SE$) bei inkompatiblen und kompatiblen Wünschen für die 1. Person-Bedingung in Abhängigkeit von der Attributionsperspektive bei der Wunschfrage (self vs. other).....	80
<i>Abbildung 5.1</i> Abfolge der Präsentation des Stimulusmaterials der Wunschaufgabe im Kernspintomograph für die Bedingung 1C (kompatible Wünsche, 1. Person), 1I (inkompatible Wünsche, 1. Person), 3C (kompatible Wünsche, 3. Person), 3I (inkompatible Wünsche, 3. Person).....	90
<i>Abbildung 5.2</i> Exemplarische Präsentationsabfolge des Stimulusmaterials der Go-NoGo-Aufgabe für die Go- und NoGo-Bedingung im Kernspintomograph mit jeweiliger Stimuluspräsentationsdauer.....	92

<i>Abbildung 6.1</i> Durchschnittliche Antwortgenauigkeiten ($M \pm SE$) in den verschiedenen Bedingungen der Wunschaufgabe (1C, 1I, 3C, 3I).....	99
<i>Abbildung 6.2</i> Mittlere Reaktionszeiten ($M \pm SE$) in den verschiedenen Bedingungen der Wunschaufgabe (1C, 1I, 3C, 3I).....	100
<i>Abbildung 6.3</i> Durchschnittliche Antwortgenauigkeit in der Go- und NoGo-Bedingung.....	101
<i>Abbildung 6.4</i> Signifikante Mehraktivierungen während der Verarbeitungsphase (Spiel-feld) in der 3I-Bedingung (rot-gelb) im Vergleich zur 3C-Bedingung bei einem voxelba-sierten T-Wert von $T > 3.48$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene. Für eine detaillierte Beschreibung der aktivierten Hirnregionen siehe Tab. 6.1.....	103
<i>Abbildung 6.5</i> Signifikante Mehraktivierungen während der Verarbeitungsphase (Spiel-feld) in der 3I-Bedingung (rot-gelb) im Vergleich zur 3C-Bedingung exklusiv maskiert mit dem inversen Kontrast $3C > 3I$ bei einem voxelbasierten T-Wert von $T > 6.39$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene. Für eine detaillierte Beschreibung der aktivierten Hirnregionen siehe Tab. 6.1.....	105
<i>Abbildung 6.6</i> Signifikante Mehraktivierungen während der Verarbeitungsphase (Spiel-feld) in der 1I-Bedingung (rot-gelb) im Vergleich zur 1C-Bedingung bei einem voxelba-sierten T-Wert von $T > 3.48$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene....	107
<i>Abbildung 6.7</i> Signifikante Mehraktivierungen während der Verarbeitungsphase (Spiel-feld) in der 1I-Bedingung (rot-gelb) im Vergleich zur 1C-Bedingung exklusiv maskiert mit dem inversen Kontrast $1C > 1I$ bei einem voxelbasierten T-Wert von $T > 6.38$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene.....	109
<i>Abbildung 6.8</i> Signifikante Mehraktivierungen während der Verarbeitungsphase (Spiel-feld) des Kontrasts $1I > 1C$ exklusiv maskiert mit $1C > 1I$ (rot) und $3I > 3C$ exklusiv maskiert mit $3C > 3I$ (grün) sowie überlappende Aktivierungen beider Kontraste (gelb).	110
<i>Abbildung 6.9</i> Funktionelle Aktivität der rechten TPJ (MNI-Koordinaten $x= 56, y=- 56, z = 18$; basierend auf einer Metaanalyse von Schurz et al., 2014) für die vier Wunschbe-dingungen. Die Balken stellen die geschätzte Hirnaktivität dar (Mittelwerte, Standardfeh-ler).....	111
<i>Abbildung 6.10</i> Signifikante Mehraktivierungen während der Selektionsphase (Wunsch-frage) des Kontrasts 1. Person $>$ 3. Person bei einem voxelbasierten T-Wert von $T > 3.48$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene.....	113

-
- Abbildung 6.11* Grafische Darstellung der signifikanten Mehraktivierung des Kontrasts 1I_self > 1C_self mit den MNI-Koordinaten $x = -42$, $y = 16$, $z = -4$ bei einem voxelbasierten T-Wert von $T > 3.48$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene... 114
- Abbildung 6.12* Signifikante Mehraktivierungen in der NoGo-Bedingung (rot-gelb) im Vergleich zur Go-Bedingung bei einem voxelbasierten T-Wert von $T > 3.48$ und korrigiertem p-Value mit $p \leq .05$ auf Clusterebene..... 116
- Abbildung 6.13* Grafische Darstellung der signifikanten Mehraktivierung der Kontraste NoGo>Go (gelb) und 3I > 3C in der Verarbeitungsphase (rot) sowie Überlappungen der funktionellen Gehirnaktivität (orange)..... 118
- Abbildung 6.14* Grafische Darstellung der signifikanten Mehraktivierung der Kontraste NoGo > Go (gelb) und 1I > 1C (rot) in der Verarbeitungsphase sowie Überlappungen der funktionellen Gehirnaktivität (orange)..... 118
- Abbildung 6.15* Grafische Darstellung der signifikanten Mehraktivierung der Kontraste NoGo > Go (rot) und 1I_self > 1C_self (grün) sowie Überlappungen der funktionellen Gehirnaktivität (gelb) im inferioren Frontalkortex (MNI-Koordinaten $x = -42$, $y = 16$, $z = -4$)..... 119

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 6.1 Areale mit signifikanter Mehraktivierung der Kontraste 3I > 3C bzw. 3I > 3C excl. maskiert mit 3C > 3I während der Verarbeitungsphase. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.....104

Tabelle 6.2 Signifikant aktivierte Gehirnregionen des Kontrasts 1I > 1C während der Verarbeitungsphase. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.....106

Tabelle 6.3 Signifikant aktivierte Gehirnregionen des Kontrasts 1I > 1C excl. 1C > 1I während der Verarbeitungsphase. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.....108

Tabelle 6.4 Signifikant aktivierte Gehirnregionen für den Kontrast 1. Person > 3. Person. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.....112

Tabelle 6.5: Signifikant aktivierte Gehirnregionen für interessierende Kontraste der Selektionsphase in der 1. Person-Perspektive. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.....114

Tabelle 6.6 Signifikant aktivierte Gehirnregionen für den Kontrast NoGo > Go. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.....115

Tabelle 6.7 Signifikant aktivierte gemeinsame Gehirnregionen der Kontraste 3I > 3C bzw. 1I > 1C und NoGo > Go. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.....117

11 Anhang

Anhang A: Ergänzende Tabellen

Tabelle A1: Areale mit signifikanter Mehraktivierung der Kontraste Incomp>Comp und Comp > Incomp während der Spielfeldphase der Wunschaufgabe. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.

Kontrast/Gehirnregion	BA	Clustergröße ^a	T-Wert ^b	MNI-Koordinaten		
				x	y	z
<i>Incomp > Comp</i>						
R ^d lingualer Gyrus	18	49181	12.86	16	-70	6
L ^c inferiorer Okzipitalkortex			12.43	-42	-82	-4
L lingualer Gyrus	18		12.22	-10	-80	-2
L präzentraler Gyrus/ postzentraler Gyrus	6/3/4	309	6.24	-14	-24	76
			5.60	-20	-32	74
			5.36	-18	-32	60
<i>Comp > Incomp</i>						
R posteriores Cingulum/ Precuneus	23/31	1577	7.59	16	-56	26
			6.19	8	-48	30
L posteriores Cingulum	23/31		5.92	-10	-58	20
R angularer Gyrus/ R supramarginaler Gyrus (einschließlich TPJ)	39/40	284	6.97	44	-78	32
			4.84	52	-54	22
L anteriores Cingulum/ anteriorer Präfrontalkortex	24/10	2749	6.79	-4	38	6
			5.76	-12	62	20
R anteriorer Präfrontalkortex	10		6.02	12	62	24
L fusiformer Gyrus	37	259	6.72	-30	-36	-16
L superiorer Okzipitalgyrus	19	294	6.14	-42	-82	32
L angularer Gyrus	39		4.91	-54	-68	32
R inferiore Temporalkortex	21	173	5.17	52	-6	-28
			5.07	60	-4	-26

Anmerkungen: Die angegebenen Brodmann-Areale (BAs) sind geschätzt. ^a Anzahl der aktivierten Voxel je Cluster, ^b höchster T-Wert im aktivierten Cluster, ^c L=links, ^d R = rechts

Tabelle A2: Areale mit signifikanter Mehraktivierung der Kontraste Incomp>Comp und Comp > Incomp während der Selektionsphase der Wunschaufgabe. Dargestellt sind Hemisphäre und Name der Gehirnareale, assoziierte Brodman-Areale, Clustergröße, T-Werte als statistische Kennwerte und MNI-Koordinaten.

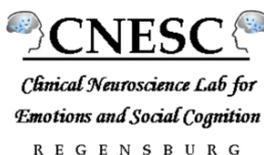
Kontrast/Gehirnregion	BA	Clustergröße ^a	T-Wert ^b	MNI-Koordinaten		
				x	y	z
<i>Incomp > Comp</i>						
L STS ^c	22	131	5.44	-52	16	-6
L Insula ^c	13		4.58	-42	16	-4
<i>Comp > Incomp</i>						
Nucleus Caudatus		268	5.65	-14	24	4
			5.09	-18	20	14
			4.48	-22	34	2
L posteriores Cingulum	31	211	5.23	-24	-36	44
L supramarginaler Gyrus	40		4.49	-36	-36	44
L Precuneus	7		4.27	-18	-46	54

Anmerkungen: Die angegebenen Brodmann-Areale (BAs) sind geschätzt. ^a Anzahl der aktivierten Voxel je Cluster, ^b höchster T-Wert im aktivierten Cluster, ^c L=links, ^d R = rechts ^e $p_{\text{uncorr}} = 0.004$

Anhang B1: Einverständniserklärung für Probanden der fMRT-Studie



medbo | 93042 Regensburg



Bezirksklinikum Regensburg

Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität Regensburg

Ärztlicher Direktor
Prof. Dr. med. Rainer Rupprecht

Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität Regensburg

Einwilligungserklärung

des Probanden zur wissenschaftlichen Studie zur Durchführung der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT)

Ich habe die vorstehenden schriftlichen Informationen zur funktionellen 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 Aufnahmen meines Gehirns nur zur wissenschaftlichen Auswertung geeignet sind und nicht als klinisch-diagnostischen Befunde verwendet werden können.

Mein Name und andere Identifikationsmerkmale werden durch ein Kennzeichen (z.B. eine Code-nummer) 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)

Ort, Datum
(eigenhändig vom Probanden einzutragen)

Unterschrift des/der Probanden/-in

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

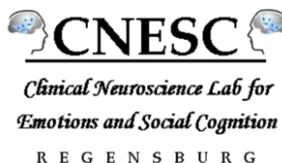
Ort, Datum
(eigenhändig von der Fachkraft einzutragen)

Unterschrift der Fachkraft

Anhang B2: Informationsblatt für Teilnehmer der fMRT-Studie



medbo | 93042 Regensburg



Bezirksklinikum Regensburg

Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität Regensburg

Ärztlicher Direktor
Prof. Dr. med. Rainer Rupprecht

Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität Regensburg

Informationsblatt zur funktionellen Kernspintomographie (fMRI):

Sehr geehrte (r) Proband (in),

Sie haben sich bereit erklärt, an einer wissenschaftlichen Studie zur sozialen Wahrnehmung teilzunehmen. Dazu verwenden wir eine Kernspinuntersuchung (funktionelle Magnetresonanztomographie/ fMRT). Mithilfe von fMRT können Aufnahmen von biologischen Vorgängen im Gehirn gemacht werden. Während der Kernspinuntersuchung werden Ihnen verschiedene Bilder gezeigt. Basierend auf diesen Bildern sollen Sie einfache Aufgaben bearbeiten. Die Untersuchung möchte herausfinden, welche Gehirnregionen während der Aufgabenbearbeitung aktiv sind.

Die Aufgaben, die Sie im Kernspin bearbeiten sollen, werden vorher mit Ihnen genau besprochen und ausprobiert. Die Untersuchung beruht auf der Wechselwirkung von Magnetfeldern und Radiowellen; es kommen weder Röntgenstrahlen noch Kontrastmittel zur Anwendung. Das Verfahren ist für Ihre Gesundheit absolut ungefährlich. Die Magnetröhre 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 fMRT 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 (z.B. eine Codenummer) ersetzt, so dass eine Zuordnung der Daten zu einer bestimmten Person erschwert wird und nur über weitere Hilfsmittel möglich ist. Diese sogenannten „pseudonymisierten“ Daten werden ausschließlich zur wissenschaftlichen Auswertung benützt. Der Datenschutz bleibt selbstverständlich gewahrt.

Die Untersuchung wird mit Hilfe eines Magnetfeldes durchgeführt. Bei der Untersuchung 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, Kreditkarten, Scheckkarten, Hörgerät, Brille, Ohringe, Piercings, Zahnprothesen, Haarspangen, Gürtelschnallen, Metallteile an der Kleidung, Kugelschreiber, Schlüssel, Geldmünzen in den Taschen).

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

- Wurde 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, Granatsplitter, Schrauben oder ähnliches? ja nein
- Tragen Sie Hautklammern infolge einer Operation? ja nein
- Tragen Sie Piercings? 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

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)

Ort, Datum
(eigenhändig vom Probanden einzutragen)

Unterschrift des/der Probanden/-in

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

Ort, Datum
(eigenhändig von
der Fachkraft einzutragen)

Unterschrift der Fachkraft

Anhang B3: Stammdatenblatt

STAMMDATEN

Datum: _____

VP-Nummer: _____

Von wem erhoben: _____

Geb. Dat.: _____

Alter: _____ Gewicht: _____

Geschlecht: weiblich männlich

Händigkeit: rechts links beides

Familienstand: ledig

- in Partnerschaft lebend
- verheiratet
- geschieden
- verwitwet

Schulbildung:

- Hauptschule
- Realschule
- (Fach-) Abitur
- (Fach-) Hochschule
- kein Abschluss
- Keine Angabe

Schulbildung (in Jahren): _____

Beruf:

- in Ausbildung
- berufstätig
- Arbeitslos
- Berentet
- Keine Angabe

Berufstätigkeit (in Jahren): _____