

Philipps



Universität  
Marburg

Aus der Klinik für Neurologie des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h.c. W. H. Oertel

in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,

Standort Marburg

# **Neurale Korrelate affektiver und kognitiver Theory of Mind - eine fMRT-Studie**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin

Dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Dorothee Kübler aus Stuttgart

Marburg/Lahn, 2012

Vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg angenommen am 28.06.2012.  
Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. med. M. Rothmund

Referent: Prof. Dr. med. R. Dodel

Korreferent: Prof. Dr. rer. nat. A. Jansen

## Inhalt

Liste der Abkürzungen .....	5
Abbildungsverzeichnis .....	7
Tabellenverzeichnis .....	8
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>12</b>
<b>2. Theoretischer Teil .....</b>	<b>14</b>
2.1 Theory of Mind – Zum Stand der Forschung .....	14
2.1.1 Die neuronalen Korrelate der ToM .....	16
2.1.2 Affektive und kognitive ToM.....	17
2.2 ToM bei Erkrankungen des Nervensystems .....	21
2.2.1 ToM bei idiopathischem Parkinson-Syndrom.....	22
2.2.2 ToM bei Epilepsie .....	23
2.3 Fragestellung .....	25
<b>3. Empirischer Teil .....</b>	<b>26</b>
3.1 Methoden und Materialien .....	26
3.1.1 Stichprobe .....	26
3.1.2 Neuropsychologische Testung und Fragebögen.....	28
3.1.3 Stimulusmaterial: Das <i>Yoni</i> -Paradigma.....	32
3.1.4 Funktionelle Magnetresonanztomographie .....	35
3.2 Ergebnisse.....	46

3.2.1 Verhaltensdaten..... 47

3.2.2 fMRT-Daten..... 52

**4. Diskussion..... 57**

4.1 Die neuronalen Korrelate affektiver und kognitiver ToM ..... 57

4.2 Die Rolle der Basalganglien bei ToM-Prozessen..... 62

4.3 ToM und ihr Bezug zu anderen Domänen ..... 63

4.4 Vergleich mit anderen Paradigmen ..... 66

4.5 Limitationen..... 67

4.6 Schlussfolgerung..... 69

**5. Abstract..... 70**

**Literaturverzeichnis ..... 72**

**Tabellen ..... 80**

**Anhang..... 84**

Verzeichnis der akademischen LehrerInnen ..... 84

Dank..... 85

## Liste der Abkürzungen

**AC** – Vordere Kommissur (engl. anterior commissure)

**ACC** – Anteriorer cingulärer Kortex (engl. anterior cingulate cortex)

**aff** – Affektive Bedingung des *Yoni*-Paradigmas

**BA** – Brodmann-Areal

**BDI-II** – Beck-Depressions-Inventar, Version 2

**BG** – Basalganglien

**BOLD** – Abhängig vom Sauerstoffgehalt des Blutes (engl. blood oxygen level dependency)

**C-Wert** – Wert auf der Centil-Skala

**DLPFC** – Dorsolateraler präfrontaler Kortex (engl. dorsolateral prefrontal cortex)

**DSM-IV** – Diagnostisches und statistisches Manual psychiatrischer Erkrankungen, 4. Auflage

**DTI** – Diffusions-Tensor-Bildgebung (engl. diffusion tensor imaging)

**EHI** – Edinburgh Händigkeit-Inventar

**EPI** – Hochgeschwindigkeitsmessung (engl. echo planar imaging)

**E-Skala** – Empathie-Skala

**fMRT** – funktionelle Magnetresonanztomographie

**FoV** – Sichtfeld (engl. field of view)

**FPI-R** – Freiburger Persönlichkeitsinventar, revidierte Fassung

**FWHM** – Halbwertsbreite (engl. full width at half maximum)

**IPC** – Inferiorer parietaler Kortex (engl. inferior parietal cortex)

**IPS** – Idiopathisches Parkinson-Syndrom

**IRI** – Interpersoneller Reaktivitätsindex

**kog** – Kognitive Bedingung des *Yoni*-Paradigmas

**LPFC** – Lateraler präfrontaler Kortex (engl. lateral prefrontal cortex)

**LPS** – Leistungsprüfsystem

**MCC** – Mittlerer cingulärer Kortex (engl. middle cingulate cortex)

**MNI** – Neurologisches Institut Montréal (engl. Montréal Neurological Institute)

**MPFC** – Medialer präfrontaler Kortex (engl. medial prefrontal cortex)

**OFC** – Orbitofrontaler Kortex (engl. orbitofrontal cortex)

**PC** – Hintere Kommissur (engl. posterior commissure)

**PR** – Prozenrang

**PCC** – Posteriorer cingulärer Kortex (engl. posterior cingulate cortex)

**PET** – Positronen-Emissions-Tomographie

**phy** – Kontrollbedingung des *Yoni*-Paradigmas

**PR** – Prozenrang

**RAVLT** – Wortlistentest (engl. Rey Auditory-Verbal Learning Test)

**RMET** – Gesichtererkentest (engl. Reading the Mind in the Eyes Test)

**ROI** – Region, auf die sich eine statistische Analyse bezieht (engl. region of interest)

**rTMS** – Repetitive transkranielle Magnetstimulation

**RWT** – Regensburger Wortflüssigkeitstest

**sec** – Sekunden

**SF-36** – Gesundheitsfragebogen (engl. Short Form 36 Health Survey Questionnaire)

**SMA** – Supplementärmotorisches Areal

**SPF** – Saarbrücker Persönlichkeits-Fragebogen

**SPM** – Software für funktionelle Bildgebungsdaten (engl. Statistical Parametric Mapping)

**Stanine** – Wert auf der Standard Nine-Skala

**SD** – Standardabweichung (engl. standard deviation)

**STS** – Superiorer temporaler Sulcus

**TE** – Echozeit (engl. time of echo)

**TLE** – Temporallappenepilepsie

**TMT** – Zahlenverbindungstest (engl. Trail Making Test)

**ToM** – Theory of Mind

**TPJ** – Temporoparietale Übergangszone (engl. temporoparietal junction)

**TR** – Repetitionszeit (engl. time of repetition)

**VM** – Ventromedial

**WMS-R** – Wechsler-Intelligenztest, revidierte Fassung (engl. Wechsler Memory Scale)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: ToM-Areale, rechte Hemisphäre in der lateralen Ansicht.....	17
Abbildung 2: ToM-Areale, linke Hemisphäre in der sagittalen Ansicht .....	17
Abbildung 3: Frontostriatale Schaltkreise nach Bodden et al., 2010a.....	23
Abbildung 4: Beispielitems der fMRT-Version des Yoni-Paradigmas.....	33
Abbildung 5: T2-Relaxation modifiziert nach Köchli und Marincek, 1998.....	36
Abbildung 6: T1-Relaxation modifiziert nach Köchli und Marincek, 1998.....	37
Abbildung 7: Hämodynamische Antwortfunktion nach Malonek und Grinvald, 1996.....	38
Abbildung 8: Beispielitems aus den standardisierten Instruktionen .....	40
Abbildung 9: Instruktion zur Benutzung der Antworttasten .....	41
Abbildung 10: Übung zur Benutzung der Antworttasten (Ausgewählte Beispielfolien) .....	42
Abbildung 11: Schematische Darstellung der erhobenen Datenarten .....	46
Abbildung 12: Verhaltensdaten des <i>Yoni</i> -Paradigmas.....	50
Abbildung 13: Signifikante Aktivierung in aff und kog im Vergleich zu phy .....	53
Abbildung 14: Signifikante Aktivierung im Kontrast aff > kog .....	54
Abbildung 15: Mögliche Gliederungen des Konstruktes ToM .....	61

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Für die Studienteilnahme erforderliche Einschlusskriterien.....	28
Tabelle 2: Übersicht über durchgeführte Tests und Fragebögen .....	31
Tabelle 3: Aufbau der Items der fMRT-Version des <i>Yoni</i> -Paradigmas.....	35
Tabelle 4: Ergebnisse der neuropsychologischen Tests.....	48
Tabelle 5: Ergebnisse der Fragebögen FPI-R, SF-36 und BDI-II .....	51
Tabelle 6: Signifikante Aktivierungscluster in aff > phy und kog > phy .....	55
Tabelle 7: Signifikante Aktivierungscluster in aff > kog .....	56
Tabelle 8: Korrelationen Neuropsychologie und ToM-Skalen .....	80
Tabelle 9: Korrelationen Fragebögen und ToM-Skalen .....	82

## Zusammenfassung

Theory of Mind (ToM) bezeichnet die Fähigkeit, sich in andere Personen hineinzuversetzen, um deren Überzeugungen oder Wünsche zu erfassen. Die ToM-Fähigkeit ist bei verschiedenen psychiatrischen und neurologischen Erkrankungen beeinträchtigt, was bei den PatientInnen zu einer Minderung der Lebensqualität führt. ToM wird differenziert in eine affektive und eine kognitive Komponente. Während die affektive ToM eher das Einfühlen in den Gemütszustand anderer Personen bezeichnet, umfassen kognitive ToM-Leistungen das eher rationale Erschließen mentaler Zustände des Gegenübers. In bisherigen Studien wurden affektive ToM-Leistungen mit medialen orbitalen Regionen des Frontalkortex in Verbindung gebracht, wobei kognitive ToM-Leistungen mit dem dorsolateralen präfrontalen Kortex assoziiert wurden.

Um die affektive und die kognitive Subkomponente der ToM genauer zu spezifizieren, beschäftigte sich die vorliegende Studie mit folgenden Fragen: Unterscheiden sich die neuronalen Korrelate affektiver und kognitiver ToM unter Anwendung der fMRT-Version des *Yoni*-Paradigmas (Originalversion von Shamay-Tsoory and Aharon-Peretz, 2007)? Inwiefern sind die Basalganglien in die ToM-Prozessierung involviert? Gibt es auf Verhaltensebene Zusammenhänge zwischen neuropsychologischen Domänen, soziodemografischen Parametern oder Persönlichkeits- und Gesundheitsmaßen und der ToM-Fähigkeit?

30 gesunden RechtshänderInnen (15 Frauen, 15 Männer; mittleres Alter =  $25,3 \pm 2,5$  Jahre) wurden im MRT (1,5 T, TE = 50 msec, TR = 3000 msec) 60 Items des *Yoni*-Paradigmas zur Bearbeitung vorgelegt. Von jeder der Kategorien affektive ToM (aff), kognitive ToM (kog) und Kontrollbedingung (phy) wurden jeweils 20 Items gezeigt. Mit vier Tasten wählten die ProbandInnen zwischen den gegebenen Antwortmöglichkeiten. Jedes Item wurde für die Dauer von 6 sec dargeboten. Zwischen den Items erschien als *gitter* ein Fixationskreuz (im Mittel 3,9 sec). Neben den funktionellen Sequenzen wurde eine T1-gewichtete 3D-Aufnahme des Gehirns angefertigt. Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software SPM 5 und 8.

Neben einer ausführlichen neuropsychologischen Testung wurden verschiedene validierte Persönlichkeits- und Gesundheitsfragebögen eingesetzt. Als zusätzliche ToM-Tests dienten der Saarbrücker Persönlichkeits-Fragebogen, die Empathie-Skala und der Reading the Mind in the Eyes Test. Die statistische Auswertung erfolgte mittels der Software SPSS, Version 18.

Die Kontraste  $\text{aff} > \text{phy}$  und  $\text{kog} > \text{phy}$  zeigten beide Aktivierung in klassischen ToM-Regionen, nämlich im Temporallappen mit Sulcus temporalis superior, im supplementärmotorischen Areal und in parietalen Strukturen jeweils der rechten Hemisphäre. Im Kontrast  $\text{aff} > \text{phy}$  fand sich zusätzlich eine Aktivierung im orbitofrontalen Kortex und in den Basalganglien sowie im Gyrus cinguli und im Gyrus precentralis und frontalis inferior links. Weitere Cluster des Kontrastes  $\text{aff} > \text{phy}$  lagen im rechten parietalen Kortex unter Einschluss des Precuneus und im linken Cerebellum. Im direkten Kontrast  $\text{aff} > \text{kog}$  zeigte sich Aktivierung im temporoparietalen Übergang und im cingulären Kortex der rechten Hemisphäre sowie im linken supplementärmotorischen Areal. Der Kontrast  $\text{kog} > \text{aff}$  brachte keine Voxel mit signifikanter Aktivierung hervor.

Im Kontrast  $\text{aff} > \text{phy}$  zeigte sich Aktivierung im Nucleus caudatus und im Pallidum rechts. Die aus der *region of interest* der Basalganglien extrahierten  $\beta$ -Gewichte korrelierten mit der Skala *perspective taking* aus dem Saarbrücker Persönlichkeitsfragebogen.

Trotz Durchführung einer umfangreichen neuropsychologischen Testbatterie und Einsatz verschiedener Fragebögen wurden nur vereinzelte Korrelationen zwischen der ToM-Fähigkeit und den erhobenen Verhaltensmaßen gefunden.

Die dargestellten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die affektive und die kognitive ToM können auf neuraler Ebene mit der fMRT-Version des *Yoni*-Paradigmas differenziert werden. Die beiden ToM-Teilbereiche scheinen zwar einerseits auf ein gemeinsames Kernnetzwerk an Hirnregionen zurückzugreifen, können andererseits aber auch neuroanatomisch differenziert werden. Die affektive ToM rekrutiert im Vergleich zur kognitiven ToM zusätzliche Regionen. Diese Regionen

befinden sich übereinstimmend mit bisherigen Studien vor allem in medialen Anteilen des Frontalhirns. Weiterhin ist in der vorliegenden Studie gezeigt worden, dass die Basalganglien in die Prozessierung affektiver ToM involviert sind. In der Literatur wurden ToM-Defizite bei unterschiedlichen Basalganglienerkrankungen beschrieben. Es ist wahrscheinlich, dass die Basalganglien bei der affektiven ToM eine Rolle spielen, indem sie die für Simulationsprozesse notwendige motorische Komponente beisteuern. Die wenigen gefundenen Korrelationen zwischen der ToM-Fähigkeit und den erhobenen Verhaltensmaßen weisen darauf hin, dass ToM bei gesunden Personen eine von anderen kognitiven Fähigkeiten und Persönlichkeitsmaßen weitgehend unabhängige Domäne darstellt.

## 1. Einleitung

Die Fähigkeit, sich in andere Personen hineinzuversetzen und deren mentale Zustände wie Gedanken, Intentionen und Wünsche zu erfassen, wird als Theory of Mind (ToM) bezeichnet. Sie bildet eine wichtige Basis für viele Formen sozialer Interaktion. Zieht man die Komplexität und Vielfalt möglicher Gedankeninhalte unserer Gegenüber in Betracht, ist es nur allzu wahrscheinlich, dass mehrere Prozesse zusammenspielen müssen, die es uns ermöglichen, zu verstehen, was unsere Mitmenschen denken oder fühlen (Jenkins and Mitchell, 2010). ToM-Leistungen werden in affektive und kognitive Teilleistungen unterteilt (Shamay-Tsoory and Aharon-Peretz, 2007). Ziel der vorliegenden Studie war es, diese beiden ToM-Subkomponenten auf neuraler Ebene zu vergleichen und genauer zu spezifizieren.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde das *Yoni*-Paradigma (Originalversion von Shamay-Tsoory and Aharon-Peretz, 2007) für den Einsatz in einem fMRT-Design (funktionelle Magnetresonanztomographie) angepasst. Unter Anwendung der fMRT-Version des Paradigmas sollte geprüft werden, ob sich die neuralen Korrelate affektiver und kognitiver ToM in einer gesunden Stichprobe differenzieren lassen. Um auch auf Verhaltensebene Zusammenhänge zwischen der ToM-Fähigkeit und neuropsychologischen Domänen, soziodemografischen Parametern oder Persönlichkeits- und Gesundheitsmaßen zu erfassen, wurde zusätzlich eine umfangreiche neuropsychologische Testung durchgeführt und mehrere Fragebögen eingesetzt. Da ToM-Defizite bei PatientInnen mit Basalganglienerkrankungen häufig berichtet wurden (Bodden et al., 2010a), fragte die vorliegende Studie außerdem nach der Beteiligung der Basalganglien (BG) an der ToM-Prozessierung und dem Zusammenhang zwischen der Aktivierungsstärke in den BG und Maßen zur Erfassung der ToM-Fähigkeit auf Verhaltensebene.

Das Forschungsfeld *Social Cognitive Neuroscience* ist jung und wächst rapide. Soziale Kognition umfasst die Prozessierung von Informationen, die einen selbst oder andere Individuen betreffen. Repräsentationen dieser Informationen ermöglichen flexibles Verhalten im sozialen Kontext (Adolphs, 2001). Zur sozialen Kognition zählen demnach

Phänomene wie die Selbst-Fremd-Differenzierung, Selbstbewusstsein sowie räumliche und soziale Perspektivenübernahme (Vogeley and Fink, 2007) - alles Fähigkeiten, die maßgebend sind für zwischenmenschliche Kommunikation und Interaktion (Adolphs, 2003). Die Erkenntnis, dass eine beeinträchtigte soziale Kognition für das tägliche Leben häufig fataler ist als Einschränkungen der Neurokognition, ist relativ neu (Fett et al., 2010). Obwohl man im sozialen Kontext nur selten eine explizite Berichterstattung über die Gedanken und Intentionen anderer bekommt, machen sich gesunde Menschen fast immer ein Bild davon, was in ihrem Gegenüber vorgeht. ToM stellt diejenige Domäne innerhalb der sozialen Kognition dar, die den weitaus größten Einfluss auf die selbstständige Bewältigung des Alltags (Fett et al., 2010) und somit auf die Lebensqualität zu haben scheint.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich wie folgt: Im *Theoretischen Teil* (Kapitel 2) wird der aktuelle Forschungsstand zu verschiedenen Facetten der ToM dargestellt. Dabei werden der theoretische Hintergrund, entwicklungspsychologische Aspekte, die bisher identifizierten neuronalen Korrelate sowie die Differenzierung zwischen affektiver und kognitiver ToM beleuchtet. Außerdem werden ToM-Einbußen bei PatientInnen mit idiopathischem Parkinson-Syndrom und Epilepsie besprochen. Der *Empirische Teil* dieser Arbeit (Kapitel 3) umfasst Methodik und Materialien der Datenerhebung und Auswertung sowie die Darstellung der Ergebnisse. Diese werden anschließend in der *Diskussion* (Kapitel 4) erörtert und mit den Ergebnissen anderer Studien verglichen. Im letzten Abschnitt (Kapitel 5) findet sich eine *Zusammenfassung* der wichtigsten Eckpunkte dieser Arbeit.

## 2. Theoretischer Teil

### 2.1 Theory of Mind – Zum Stand der Forschung

Der Begriff ToM, für den es im Deutschen keine adäquate Übersetzung gibt, bezeichnet die Fähigkeit, sich in andere Personen hineinzusetzen und deren Überzeugungen, Wünsche und Intentionen zu erfassen. In der englischsprachigen Literatur werden die Verben *mentalizing* und *mind reading* häufig synonym mit ToM-Prozessen gebraucht. Die durch ToM mögliche mentale Perspektivenübernahme bildet eine wesentliche Grundlage sozialer Kognition und Interaktion (Adolphs, 2001). Es handelt sich um eine grundlegende Fähigkeit, die in jedem sozialen Setting gebraucht wird, um Mitmenschen zu verstehen und Reaktionen zu antizipieren. ToM-Defizite können mit erheblichen Einschränkungen im Sozialleben und verminderter gesundheitsbezogener Lebensqualität einhergehen (Bodden et al., 2010a). Seit einigen Jahren erfährt das Konzept ToM großes Interesse verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen.

Mit der Veröffentlichung des Artikels *Does the chimpanzee have a theory of mind?* von Premack and Woodruff (1978) hat die kontroverse Diskussion verschiedener Facetten des Konstruktes ToM begonnen. Als die beiden wichtigsten Erklärungsansätze für ToM-Prozesse gelten die Simulationstheorie (Gallese, 2007; Harris, 1992) und die Theorie-Theorie (Gopnik and Wellman, 1992). VertreterInnen der Simulationstheorie nehmen an, dass Menschen die Fähigkeit besitzen, sich in Gedanken in ihr Gegenüber hineinzusetzen, indem sie simulieren, was sie selbst in der jeweiligen Situation denken oder fühlen würden. Hierbei spielt die Introspektion eine wichtige Rolle. Diese Theorie wurde durch die Entdeckung der Spiegelneurone bestärkt (Gallese, 2007). Diese Neurone feuern nicht nur bei Ausführung einer Bewegung, sondern auch dann, wenn die Ausführung der Bewegung durch ein anderes Individuum beobachtet wird. Die Theorie-Theorie ist der zweite wichtige Erklärungsansatz. Sie geht davon aus, dass Menschen durch Lernerfahrungen eine Vorstellung darüber entwickeln, wie ihre Umwelt funktioniert. Ebenso erwerben sie auch eine Theorie darüber, wie der mentale Bereich anderer Personen konzeptualisiert ist. D.h. das Wissen über die soziale Welt ist

auf gleiche Weise repräsentiert wie das Wissen über die physikalische Welt. Die erworbene Theorie wird mit neuen Erfahrungen jeweils revidiert und adaptiert. An dieser Stelle sei bereits darauf hingewiesen, dass sich die beiden genannten Theorien keineswegs gegenseitig ausschließen müssen. Auf einen integrativen Ansatz wird im Kapitel *Affektive und kognitive ToM* (2.1.2) kurz eingegangen.

Von besonderem Interesse ist das ToM-Konzept in der Entwicklungspsychologie (Wimmer and Perner, 1983) und in der Autismusforschung (Baron-Cohen, 1995). Daher wird die Ontogenese der ToM, also die Entstehung bezogen auf das Individuum, in zahlreichen Studien untersucht, was zum Verständnis dieses Konstrukts beitragen kann. Das wohl erste Anzeichen von ToM-Leistungen ist die sog. *joint attention*, die ungefähr im Alter von 18 Monaten auftritt. Kleinkinder wenden dann ihren Kopf in Richtung eines Objektes, das von einer anderen Person Aufmerksamkeit erfährt, und das sogar dann, wenn sich das Objekt außerhalb ihres Blickfeldes befindet (Frith and Frith, 2003). Entwicklungspsychologisch gesunde Kinder verstehen im Alter von drei bis vier Jahren, dass eine andere Person sich irren und von falschen Annahmen ausgehen kann (*first-order false belief*; Wimmer and Perner, 1983). Mit etwa sechs bis sieben Jahren können sie auch sog. *second-order false belief*-Aufgaben lösen (Perner and Wimmer, 1985). Während eine *first-order* ToM-Aufgabe das Erschließen eines mentalen Zustandes erfordert, verlangt eine *second-order* ToM-Aufgabe das Verständnis eines ganzen ToM-Prozesses. *Second-order false belief*-Aufgaben erfordern also die Entwicklung des Verständnisses dafür, dass die Überzeugungen einer Person über eine weitere Person falsch sein können. Differenziertere ToM-Fähigkeiten werden zwischen neun und elf Jahren ausgebildet. Kinder sind dann z.B. in der Lage, in Geschichten einen begangenen Fauxpas zu erkennen (Baron-Cohen, 1997). Hierzu müssen die Kinder nun schon aus dem Kontext einer Geschichte erkennen, dass eine Person unbewusst - z.B. aufgrund einer falschen oder unvollständigen mentalen Repräsentation - eine andere Person durch ihre Worte oder ihr Verhalten verletzt.

### 2.1.1 Die neuralen Korrelate der ToM

Die durchgeführten Studien zur Erfassung der neuralen ToM-Korrelate verwendeten grundsätzlich verschiedene Paradigmen mit Stimulusmaterialien wie Bildern, Geschichten, Animationen, Videos oder auch interaktiven Experimenten. Die Ergebnisse dieser Studien waren zum Teil sehr heterogen, was partiell an den Unterschieden zwischen den Paradigmen liegen kann. Doch trotz des relativ weit gefassten Begriffes ToM und der Vielzahl an Studiendesigns zur Untersuchung der ToM-Korrelate, gelingt es immer besser, die unterschiedlichen Hirnregionen, die während ToM-Prozessen aktiviert sind, zu identifizieren. Vieles deutet darauf hin, dass diese Regionen als ein Netzwerk aufgefasst werden sollten (Carrington and Bailey, 2008). In diesem Netzwerk scheint es einige essentielle Komponenten zu geben, die in fast allen fMRT-Studien zu ToM aktiviert werden, und andere eher periphere Bereiche, die abhängig von der eingesetzten ToM-Aufgabe rekrutiert werden.

Als Kernbereich der ToM wird ein rechtsseitig betontes Netzwerk verschiedener Hirnregionen beschrieben, das v.a. den medialen präfrontalen Kortex (MPFC), den orbitofrontalen Kortex (OFC), die temporoparietale Übergangszone (TPJ) und den Sulcus temporalis superior (STS) mit umgebendem Kortex (Frith and Frith, 2003) umfasst. Darüber hinaus werden folgende Regionen in mehreren Studien mit ToM assoziiert: der laterale präfrontale Kortex (LPFC), der supplementärmotorische (SMA) und motorische Kortex, der anteriore cinguläre (ACC) und paracinguläre Kortex, der posteriore cinguläre Kortex (PCC), der Precuneus und der anteriore Temporallappen (Carrington and Bailey, 2008).

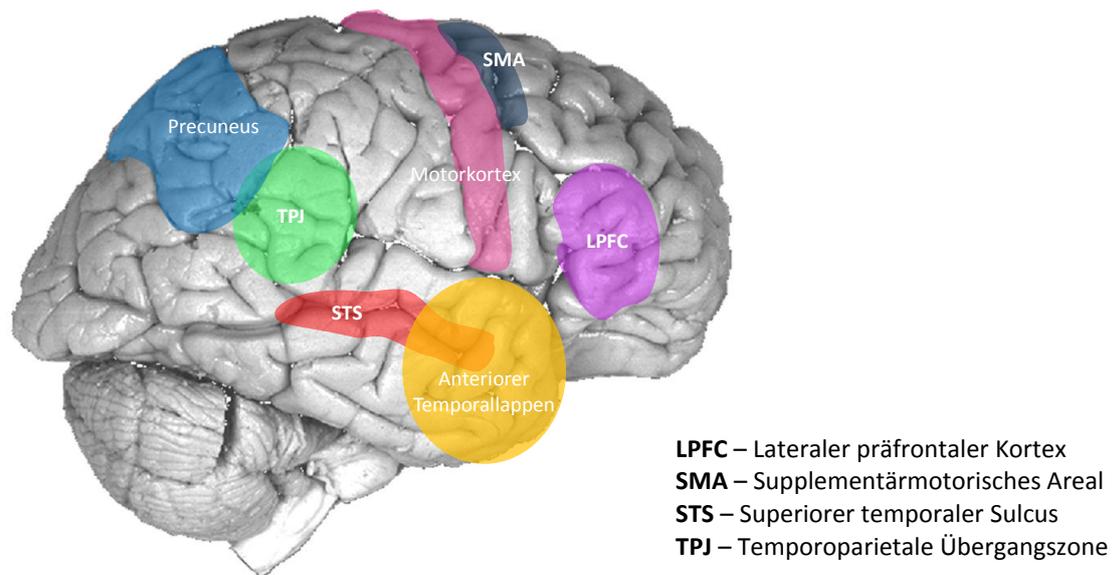


Abbildung 1: ToM-Areale, rechte Hemisphäre in der lateralen Ansicht

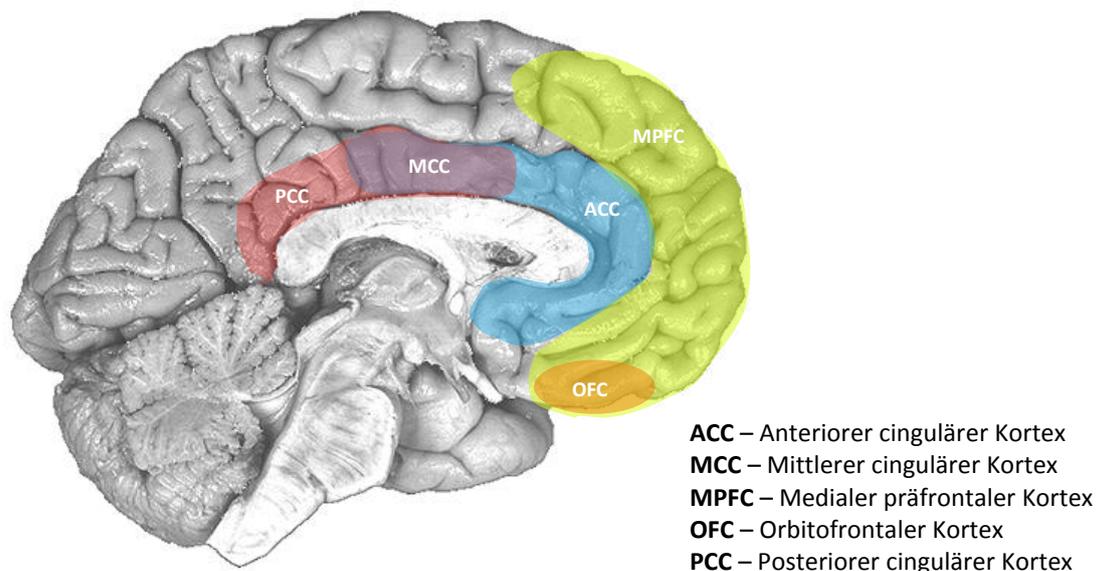


Abbildung 2: ToM-Areale, linke Hemisphäre in der sagittalen Ansicht

### 2.1.2 Affektive und kognitive ToM

Bei der genauen Spezifizierung der ToM und ihrer Teilbereiche bestehen nach wie vor einige konzeptuelle Unsicherheiten. Es herrscht aber weitgehend Einigkeit darüber, dass sich ToM-Leistungen in affektive und kognitive Teilleistungen differenzieren

lassen (Shamay-Tsoory and Aharon-Peretz, 2007). Die affektive ToM beschreibt eher das Einfühlen in den emotionalen Gemütszustand einer anderen Person, während die kognitive ToM eher das rationale Erschließen der mentalen Zustände des Gegenübers meint.

Es ist wichtig anzumerken, dass die Begriffe ToM und Empathie in der Literatur nicht immer voneinander abgegrenzt werden. Sie sollten jedoch nicht synonym gebraucht werden, obwohl es einige Berührungspunkte gibt (Hooker et al., 2008). In der Regel wird ToM als ein verstehendes Nachvollziehen der Gedanken oder auch Emotionen einer anderen Person beschrieben, wobei der Begriff Empathie ein Mitfühlen mit dem Gegenüber miteinschließt. Es wird davon ausgegangen, dass es sich um verschiedene neurale Netzwerke mit unterschiedlicher ontogenetischer Entstehungsgeschichte handelt, die den Konstrukten ToM bzw. Empathie zugrunde liegen (Singer, 2006). Im Kontrast zu den unter im Kapitel *Die neuralen Korrelate der ToM* (2.1.1) dargestellten ToM-Arealen hat die Empathie wichtige neurale Korrelate im sensomotorischen Kortex und in limbischen und paralimbischen Gebieten (Adolphs, 2003). Shamay-Tsoory schlug vor, ToM als kognitive Komponente der Empathie aufzufassen und stellte dieser eine affektive Form der Empathie gegenüber (Shamay-Tsoory, 2010).

Die systematische Untersuchung der neuralen Korrelate affektiver und kognitiver ToM-Subkomponenten mit funktioneller Bildgebung hat erst begonnen. Die meisten der durchgeführten Studien haben nur eine der beiden Teilleistungen untersucht oder nahmen keine Differenzierung vor. Die zur Differenzierung der ToM-Subkomponenten durchgeführten Untersuchungen waren zumeist Läsionsstudien. In einer solchen Studie verglichen Shamay-Tsoory und KollegInnen PatientInnen mit Schädigungen im ventromedialen (VM) und dorsolateralen Frontallappen, in der TPJ und im superioren Parietallappen (Shamay-Tsoory et al., 2006). PatientInnen der VM-Gruppe schnitten in den affektiven ToM-Aufgaben signifikant schlechter ab als in den kognitiven. Außerdem bewerteten PatientInnen aus der VM-Gruppe affektive ToM-Geschichten weniger zutreffend als PatientInnen, deren Läsionen eher dorsal lokalisiert waren und als gesunde Kontrollpersonen. Damit bestätigte sich die Hypothese der ForscherInnen, dass der ventromediale präfrontale Kortex eher an der affektiven Teilkomponente der

ToM beteiligt sei. 2007 untersuchten Shamay-Tsoory und Aharon-Peretz erneut PatientInnen mit erworbenen Hirnschädigungen unterschiedlicher Lokalisation (Shamay-Tsoory and Aharon-Peretz, 2007). Hierbei konnten die AutorInnen zeigen, dass PatientInnen mit im ventromedialen frontalen Kortex gelegenen Läsionen signifikant schlechter in den affektiven ToM-Aufgaben abschnitten und PatientInnen mit ausgedehnten präfrontalen Läsionen signifikant schlechter in den kognitiven ToM-Aufgaben. Dies bestätigte folglich die Rolle ventromedialer Anteile des Frontallappens als wichtiges Korrelat der affektiven ToM.

In einer Studie von Kalbe und KollegInnen (Kalbe et al., 2007) wurde bei gesunden VersuchsteilnehmerInnen mithilfe von repetitiver transkranieller Magnetstimulation (rTMS) der rechte dorsolaterale präfrontale Kortex (DLPFC) während der Bearbeitung affektiver und kognitiver ToM-Aufgaben beeinflusst. Dies führte zu einer signifikanten Verkürzung der Antwortzeiten bei kognitiven Items, nicht aber bei affektiven und Kontrollitems. Daraus wurde geschlossen, dass der DLPFC vor allem als neurales Korrelat kognitiver ToM-Leistungen fungiert.

In einer fMRT-Studie von Hynes und KollegInnen (Hynes et al., 2006) wurden gesunden ProbandInnen Geschichten mit affektiven und kognitiven ToM-Inhalten sowie Kontrollgeschichten zur Beurteilung vorgelegt. Hier zeigte sich in der emotionalen Bedingung vordergründig Aktivierung in medialen orbitalen frontalen Regionen, wohingegen die kognitive Bedingung zu Aktivierung in eher lateralen und anterioren Regionen des ventralen Frontallappens führte.

In der zusammenfassenden Betrachtung bisher durchgeführter Studien zur neuronalen Differenzierung affektiver und kognitiver ToM-Subkomponenten zeigte sich, dass affektive ToM-Leistungen eher in medialen Regionen des frontalen Kortex prozessiert werden, während kognitive ToM-Leistungen eher mit dem DLPFC assoziiert sind.

Sowohl der OFC als auch der DLPFC sind über sog. frontostriatale Schaltkreise eng mit den Basalganglien verbunden. Diese Schaltkreise spielen sowohl bei affektiven als auch bei kognitiven Verhaltensaspekten eine wichtige Rolle (Zgaljardic et al., 2006) und können bei einer Vielzahl von neurologischen und psychiatrischen Erkrankungen

isoliert oder global geschädigt sein (Bodden et al., 2010a). Bodden und KollegInnen unterschieden Schaltkreise, die den DLPFC mit dem Striatum und solche, die den OFC über limbische Strukturen mit dem Striatum verbinden. In ihrer Übersichtsarbeit zur ToM bei Basalganglienerkrankungen entwickelten sie die Hypothese, dass die kognitive ToM-Subkomponente über die DLPFC-striatalen Schaltkreise vermittelt wird, während sie die affektive Komponente eher den frontostriatal-limbischen Schaltkreisen zuordneten. Auf diese Zusammenhänge wird im Kapitel *ToM bei idiopathischem Parkinson-Syndrom* (2.2.1) genauer eingegangen.

In den wenigen vorliegenden Studien besteht Einigkeit darüber, dass auf neuroanatomischer Ebene teilweise Unterschiede zwischen affektiver und kognitiver ToM bestehen (Hynes et al., 2006). Um aber die Frage zu klären, wie die neuronalen Signaturen der beiden ToM-Subkomponenten genau beschaffen sind, ist noch weitere Forschung nötig.

Im Kapitel *Theory of Mind – Zum Stand der Forschung* (2.1) wurde bereits erwähnt, dass sich die beiden Erklärungsansätze für ToM, die Simulationstheorie und die Theorie-Theorie, nicht zwangsläufig ausschließen müssen. Adolphs formulierte 1999 die These, beide Theorien hätten ihre Berechtigung und würden situationsabhängig in Anspruch genommen. *„The theory-view might afford greater economy and generalizability of prediction, or might be particularly suited to information that can be lexically encoded; but simulation may be the only option in cases that are sufficiently idiosyncratic, or in cases where the information is not easily encoded into language“* (Adolphs, 1999). Diesen Gedanken weiterführend schlugen Kalbe und KollegInnen vor, die Theorie-Theorie und die Simulationstheorie als gewissermaßen korrespondierende Mechanismen für kognitive bzw. affektive ToM-Leistungen zu verstehen. Da bei Simulationsprozessen auch Reaktionen des autonomen Nervensystems zu erwarten sind, untersuchten sie 2007 Veränderungen des Hautleitfähigkeitslevels als einen Marker für emotionale Reaktivität in den Bedingungen affektive und kognitive ToM und einer Kontrollbedingung (Kalbe et al., 2007). Es konnte gezeigt werden, dass sich die Hautleitfähigkeit nur in der affektiven Bedingung, in der die ProbandInnen soziale Fauxpas detektieren mussten, signifikant erhöht war. Dieser psychophysiologische

Unterschied bei der Prozessierung affektiver ToM deutet darauf hin, dass hierbei eine emotionale Verarbeitung stattfindet. Mitchell und KollegInnen haben hingegen die Hypothese vertreten, dass die Simulationstheorie bei ToM-Prozessen zum Tragen kommt, wenn es um gleichartige Gegenüber geht, und die Theorie-Theorie dann, wenn es um Gegenüber geht, die sich maßgeblich von der eigenen Person unterscheiden (Mitchell et al., 2006). Im Sinne dieser Hypothese fand sich in ihrer Studie Aktivierung im vmPFC bei selbstbezogenen Gedächtnisprozessen bzw. bei Einnahme einer Erster-Person-Perspektive genauso wie bei ToM-Aufgaben, die eine Person betreffen, die als der Versuchsperson sehr ähnlich eingeführt wird.

## **2.2 ToM bei Erkrankungen des Nervensystems**

Das komplexe neuropsychologische Konstrukt ToM findet zunehmend mehr Interesse in der psychologischen und psychiatrischen Forschung, aber auch in der Neurologie. In der zuletzt genannten Disziplin entwickelt sich ein größeres Bewusstsein für kognitive und behaviorale Komorbiditäten, deren Einfluss auf die Lebensqualität der PatientInnen und deren Angehörigen nicht unterschätzt werden darf (Schrag, 2006). Aus der grundlegenden Bedeutung von ToM-Leistungen für jegliche soziale Interaktion ergibt sich ihre hohe klinische Relevanz, da aus ToM-Defiziten z.B. Schwierigkeiten in sozialen Beziehungen und berufliche Probleme resultieren können (Thorbecke, 2007).

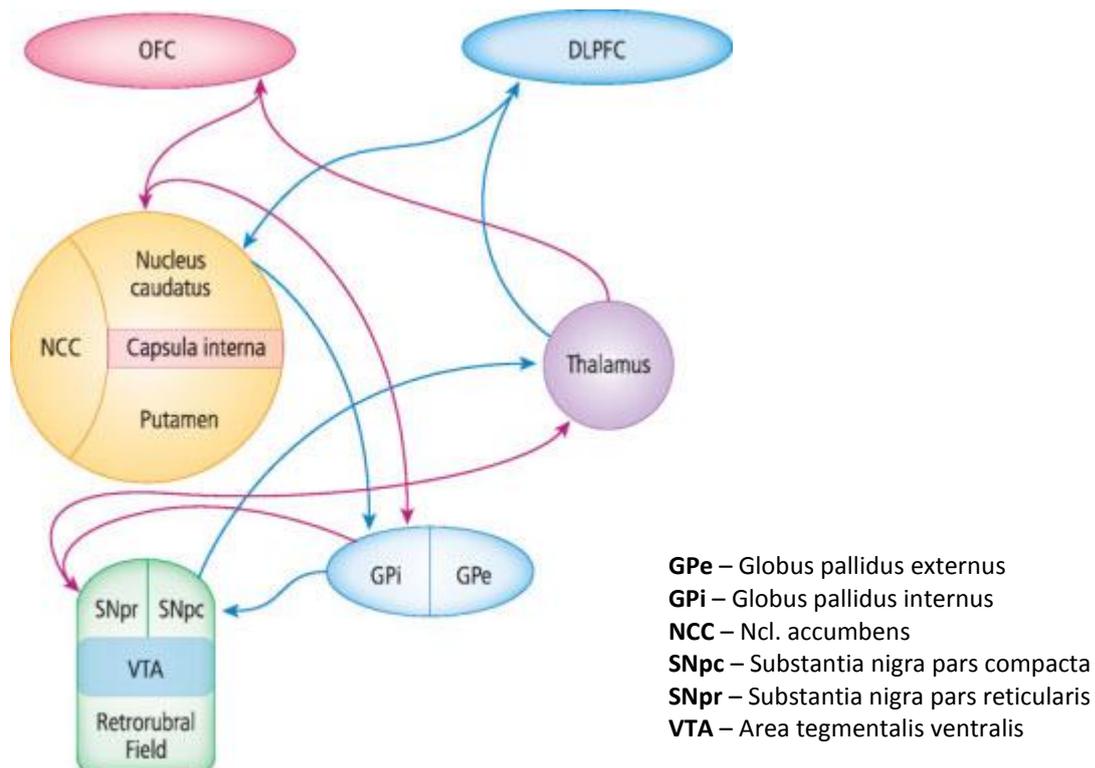
Im Folgenden sollen zwei häufige neurologische Krankheitsbilder vorgestellt werden, bei denen neurobehaviorale Defizite bestehen, worunter ToM-Einbußen eine wichtige Rolle spielen. Das idiopathische Parkinson-Syndrom (IPS) wurde vor allem deshalb gewählt, weil sich anhand dieser Erkrankung der Stand der Forschung über die für ToM essentiellen frontostriatalen Schaltkreise gut darstellen lässt und es exemplarisch für die Gruppe der Basalganglienerkrankungen steht. EpilepsiepatientInnen, deren Symptome oft fokale Läsionen zugrunde liegen, eignen sich, die neuroanatomischen Grundlagen der ToM genauer zu charakterisieren. Aus diesem Grund sollen ToM Defizite bei Epilepsie in dieser Arbeit ebenfalls dargestellt werden.

### 2.2.1 ToM bei idiopathischem Parkinson-Syndrom

Das IPS gehört zu den Basalganglienerkrankungen und zeigt neuropathologisch hauptsächlich eine progressive Degeneration der dopaminergen Neurone der Substantia nigra, die sich motorisch in den Hauptsymptomen Ruhetremor, Rigor, Bradykinese und posturale Instabilität äußert. Zu den nichtmotorischen Symptomen gehören neuropsychologische Dysfunktionen in den Bereichen Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Exekutivfunktionen und visuell-räumliche Fähigkeiten (Caballol et al., 2007). Exekutive Dysfunktionen treten oftmals zu Beginn der Erkrankung auf (Muslimovic et al., 2005). Außerdem zeigen IPS-PatientInnen häufig Defizite bei der Emotionswahrnehmung, wie zum Beispiel beim Erkennen emotionaler Gesichtsausdrücke (Yip et al., 2003) oder bei der Interpretation von Prosodie (Breitenstein et al., 2001).

Über die genaue Charakterisierung der ToM-Defizite liegen bisher nur wenige Arbeiten vor: Péron und KollegInnen berichteten Defizite der kognitiven ToM bei PatientInnen im fortgeschrittenen IPS (Peron et al., 2009). Bodden und KollegInnen hingegen fanden ToM-Defizite bei IPS-PatientInnen sowohl in der kognitiven als auch in der affektiven Subkomponente und zwar weitgehend unabhängig von anderen kognitiven Funktionen, depressiven Symptomen oder dem Schweregrad der Erkrankung (Bodden et al., 2010a). Die Vielzahl der nichtmotorischen Symptome bei PatientInnen mit IPS wurde zurückgeführt auf eine Dysfunktion frontostriataler Schaltkreise (s. Abbildung 3). Dabei beginnt vermutlich die Degeneration der Schaltkreise zwischen dem DLPFC und dem Striatum etwas früher als die Degeneration der Schaltkreise zwischen dem OFC, dem Striatum und dem limbischen System (Zgaljardic et al., 2006). Es wird angenommen, dass die Dysfunktion der DLPFC-striatalen Schaltkreise für die im Verlauf der Erkrankung scheinbar etwas früher auftretenden Einbußen bei der kognitiven ToM-Leistung und vor allem auch für die exekutiven Dysfunktionen verantwortlich ist. Die Dysfunktion der frontostriatal- limbischen Schaltkreise hingegen beeinflusst hauptsächlich affektive ToM-Leistungen (Bodden et al., 2010a; Peron et al., 2009). Da die Degeneration der Pars compacta der Substantia nigra für die Parkinsonsymptomatik verantwortlich gemacht wird und sie Teil der DLPFC-striatalen

Schaltkreise ist, vermuteten Bodden und KollegInnen außerdem, dass diese eher bei kognitiven ToM-Prozessen eine Rolle spielen, wobei sie die die Pars reticularis der Substantia nigra einschließenden Schaltkreise eher affektiven ToM-Aspekten zuschrieben.



**Abbildung 3: Frontostriatale Schaltkreise nach Bodden et al., 2010a**

Blau: DLPFC-striatale Schaltkreise kommunizieren mit der Pars compacta der Substantia nigra  
 Rot: Frontostriatal-limbische Schaltkreise kommunizieren mit der Pars reticularis der Substantia nigra

### 2.2.2 ToM bei Epilepsie

Unter dem Begriff Epilepsie wird eine heterogene Gruppe von Erkrankungen zusammengefasst, die sich in rezidivierender hypersynchroner Aktivität zentraler Neurone äußert und so zu epileptischen Anfällen führt (Hacke, 2010). Diese Hirnfunktionsstörung entsteht ohne adäquate Provokation und kann fokal und

generalisiert auftreten oder sekundär generalisieren. Außerdem werden idiopathische und symptomatische Formen der Epilepsie unterschieden.

Verschiedene AutorInnen berichteten über beeinträchtigte ToM-Fähigkeiten bei PatientInnen mit Epilepsie. Dies kann möglicherweise erklären, warum bei dieser PatientInnengruppe soziale Probleme oft auch unter gegebener Anfallskontrolle ausgeprägt sind (Thorbecke, 2007; Walpole et al., 2008). PatientInnen mit chronischen fokalen Epilepsien, insbesondere mit medialen Temporallappenepilepsien (TLE) zeigen besonders häufig ToM-Defizite (Schilbach et al., 2007; Shaw et al., 2007). Die TLE ist die häufigste Form der fokalen Epilepsien und nicht nur die Erkrankung selbst, sondern auch die chirurgische Behandlung derselben z.B. durch selektive Amygdalohippocamp-ektomie führt nicht selten zu Einbußen in sozialer Kognition (Ammerlaan et al., 2008; Kirsch, 2006).

Schilbach und KollegInnen konnten zeigen, dass PatientInnen mit TLE Stimuli als sozial relevanter bewerteten, wenn diese sich direkt an sie richteten (Schilbach et al., 2007). Die Kontrollpersonen hingegen bewerteten die soziale Relevanz unabhängig von der eigenen Einbindung ins Geschehen. Dieser *egocentric bias*, so vermuteten die AutorInnen, könne ein Kompensationsmechanismus für die Defizite im Bereich der sozialen Kognition sein. Sie gaben aber auch den fraglichen Einfluss der antiepileptischen Medikation zu bedenken. Shaw und KollegInnen belegten, dass frühzeitige Amygdalaläsionen mit ToM-Defiziten einhergehen (Shaw et al., 2004). PatientInnen, deren Amygdala erst im Erwachsenenalter beschädigt bzw. entfernt wurde, seien im Vergleich zu gesunden und klinischen Kontrollpersonen jedoch nicht schlechter in komplizierteren ToM-Aufgaben. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Amygdala in der Entwicklung von ToM eine Rolle spielt, wohingegen sie später wahrscheinlich aber keinen relevanten Teil des ToM-Netzwerkes darstellt. Shaw und KollegInnen zeigten weiterhin, dass sich TLE-PatientInnen nach Entfernung der linken Amygdala bei der Bewertung ängstlicher Gesichter verbesserten (Shaw et al., 2007). Vorangegangene Studien schrieben der rechten Amygdala bei ToM-Prozessen eine größere Rolle zu. Daher vermuteten die AutorInnen, die Entfernung einer übererregbaren bzw. inhibierenden linken Amygdala könnte postoperativ zu einer

verbesserten Funktion der gesunden rechten Amygdala führen. Schacher und KollegInnen fanden 2006 in einer Studie, dass PatientInnen mit mesialer Temporallappenepilepsie Fauxpas-Geschichten signifikant schlechter verstanden als solche mit extramesiotemporaler Epilepsie und gesunde ProbandInnen (Schacher et al., 2006). Die beiden letzten Gruppen, von denen PatientInnen mit frontaler Epilepsie ausgeschlossen waren, zeigten vergleichbare Ergebnisse.

Dieser kurze Abriss zeigt zum einen, dass ToM-Einbußen bei Epilepsieerkrankungen bisher keineswegs ausführlich erforscht sind, obwohl sie aufgrund ihres Einflusses auf die Lebensqualität der PatientInnen sehr krankheitsrelevant sind. Zum anderen wird deutlich, dass das Studium fokaler ZNS-Pathologien zum Verständnis von Prozessen der sozialen Kognition beitragen kann.

### 2.3 Fragestellung

In der Spezifizierung des komplexen Konstrukts ToM bestehen einige konzeptuelle Unsicherheiten, die vor allem Funktion und neurale Grundlage der verschiedenen ToM-Teilbereiche betreffen. Um diese Grundlagen genauer einzugrenzen und um ToM in ihre einzelnen Komponenten untergliedern zu können, beschäftigt sich die vorliegende Studie mit folgenden Fragen:

- 1) Finden sich in einer gesunden Stichprobe Unterschiede zwischen den neuralen Korrelaten affektiver und kognitiver ToM unter Anwendung der für das fMRT angepassten Version des *Yoni*-Paradigmas?
- 2) Findet sich bei der Bearbeitung des *Yoni*-Paradigmas Aktivierung in den Basalganglien (BG)? Korreliert die Stärke der Aktivierung in den BG mit Skalen zur Erfassung der ToM-Fähigkeit?
- 3) Gibt es auf Verhaltensebene Zusammenhänge zwischen neuropsychologischen Domänen, soziodemografischen Parametern oder Persönlichkeits- und Gesundheitsmaßen und der ToM-Fähigkeit?

### 3. Empirischer Teil

#### 3.1 Methoden und Materialien

##### 3.1.1 Stichprobe

Nach Vorliegen eines positiven Votums der Ethikkommission der Philipps-Universität Marburg für die Studie (Aktenzeichen 05/08) erfolgte die Rekrutierung der ProbandInnen durch Aushänge in verschiedenen Instituten der Universität. Die TeilnehmerInnen erhielten eine Aufwandsentschädigung für die Teilnahme an der neuropsychologischen Testung sowie für das Beantworten der Fragebögen und die Teilnahme an der fMRT-Untersuchung. Alle ProbandInnen wurden über den Versuchsablauf mit neuropsychologischer Testung, Fragebögen und fMRT-Untersuchung aufgeklärt und gaben ihr Einverständnis vor Einschluss in die Studie schriftlich. Alle Untersuchungen fanden zwischen Juli und August 2009 an der Philipps-Universität Marburg statt.

In der Tabelle am Ende des Abschnitts sind die für die Studienteilnahme notwendigen Einschlusskriterien aufgeführt (s. Tabelle 1). Wurde eines oder mehrere dieser Kriterien nicht erfüllt, erfolgte der Ausschluss aus der Studie.

Da zahlreiche Erkrankungen, wie oben erwähnt, mit ToM-Einbußen einhergehen, durften die akquirierten ProbandInnen keine Anamnese neurologischer oder psychiatrischer Erkrankungen aufweisen. Die Einnahme psychoaktiver Medikamente stellte wegen ihrer Einflussnahme auf Kognition und vermutlich auch auf ToM ebenfalls ein Ausschlusskriterium dar. Die Altersbegrenzung auf Personen zwischen 20 und 30 Jahren wurde festgelegt, um eine möglichst homogene Gruppe von ProbandInnen zu erhalten. Die StudienteilnehmerInnen sollten keine kognitiven Leistungseinbußen aufweisen, damit von ToM unabhängige kognitive Fähigkeiten als mögliche Confounder weitgehend ausgeschlossen werden konnten. Das Einschlusskriterium deutsche Muttersprache wurde gewählt, da alle Tests auf Deutsch durchgeführt wurden. Der Ausschluss von Platzangst, Schwangerschaft und jeglicher

Art von Metall im oder am Körper ist eine generell notwendige Voraussetzung für die Untersuchung im MRT. Diese Punkte wurden direkt vor der Untersuchung noch einmal durch einen standardmäßig verwendeten Fragebogen aus der Klinik für Strahlendiagnostik der Philipps-Universität Marburg abgefragt. Ebenfalls wurde eine Rechtshändigkeit vorausgesetzt, weil einerseits das Paradigma per Tastendruck zu bearbeiten war und andererseits auch das neurale Korrelat von ToM von der Lateralisierung der Hemisphären nicht ausgeschlossen zu sein scheint. Rechtshändigkeit wurde mit dem Edinburgh Inventory of Handedness (EHI; Oldfield, 1971) überprüft. Der Ausschluss erfolgte ab einem Wert von größer als 80%. Da ohne ausreichende Sehfähigkeit zum einen das Paradigma nicht gut bearbeitet werden kann und zum anderen zusätzliche kortikale Aktivierung aufgrund der Mehranstrengung erwartet wird, wurden nur Personen mit uneingeschränktem Visus bzw. gut sitzenden Kontaktlinsen eingeschlossen.

Es wurden insgesamt 35 Versuchspersonen eingeladen und im fMRT untersucht. Von den erhobenen Datensätzen mussten zwei wegen klinisch relevanten Punktwerten der ProbandInnen im BDI-II ( $> 14$ ) ausgeschlossen werden. Zwei weitere Datensätze waren unbrauchbar, weil nach Untersuchungsbeginn die Lage des Kopfes maßgeblich verändert wurde bzw. weil eine Kontaktlinse so verrutscht war, dass keine ausreichende Sehfähigkeit mehr gegeben war. Der fünfte verworfene Datensatz war wegen eines Bedienungsfehlers am MRT nicht auswertbar.

Letztlich sind die Daten von 30 gesunden ProbandInnen, davon 15 Frauen und 15 Männer, in die Auswertung eingegangen. Das Durchschnittsalter dieser Studienpopulation betrug  $25,3 \pm 2,5$  Jahre.

**Tabelle 1: Für die Studienteilnahme erforderliche Einschlusskriterien**

Neurologisch und psychiatrisch gesund, keine Einnahme von Psychopharmaka
Alter zwischen 20 und 30 Jahren
Kognitiv fähig, Anleitungen zu Aufgaben zu verstehen und zu befolgen
Muttersprache Deutsch
Kein Metall im/am Körper (Spirale, Schrittmacher, Piercings, Tattoos, Schminke, Draht an den Zähnen, Operationsmaterial wie Clips, Schrauben etc.)
Keine aktuelle Schwangerschaft
Keine Platzangst
Rechtshändigkeit (EHI > 80%)
Ausreichende Sehfähigkeit, um die visuell dargebotenen Items im MRT bearbeiten zu können oder gut sitzende Kontaktlinsen

### 3.1.2 Neuropsychologische Testung und Fragebögen

#### 3.1.2.1 Angewendete Tests und Fragebögen

Bei allen StudienteilnehmerInnen wurde mit einer ausführlichen neuropsychologischen Testbatterie der kognitive Status erhoben, um überprüfen zu können, ob etwaige Unterschiede in ToM-Leistungen z.B. auf Sprach- oder Gedächtnisschwierigkeiten zurückzuführen sind und um Korrelationen zwischen den erhobenen ToM-Skalen bzw. fMRT-Daten und kognitiven Teilleistungen erfassen zu können. Die durchgeführten Tests sind im Folgenden kurz dargestellt (Übersicht s. Tabelle 2):

**Rey Auditory-Verbal Learning Test** (Schmidt, 1996): Ein Test für das verbale Gedächtnis bzw. Lernleistung mit fünf Durchgängen, einer Interferenzliste, einem erneuten Abruf der ersten Liste ohne Darbietung und einem verzögerten Abruf ohne Darbietung nach 30 min.

**Zahlenspanne und Blockspanne aus WMS-R** (Subtest aus der Wechsler Memory Scale Revised von Wechsler, 1987; in der deutschen Version von Härting et al., 2000): Ein Test für das verbale und visuelle Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis. Die Versuchsperson soll vorgelesene Zahlenfolgen mit wachsender Länge nachsprechen bzw. auf dem Blockspannbrett gezeigte Folgen wiederholen. Beide Tests wurden sowohl vorwärts als auch rückwärts durchgeführt.

**Logische Reihen aus LPS** (Subtest 4 aus dem Leistungsprüfsystem von Horn, 1983): Ein Test zur Überprüfung der logischen Denkfähigkeit. Die Testperson muss Regeln innerhalb einer Reihe von Zahlen oder Buchstaben erkennen und das nicht dazu passende Zeichen durchstreichen.

**Wortschatztest** (Schmidt and Metzler, 1992): Ein Test zur Erfassung verbaler kristalliner Intelligenz. Aus Zeilen mit jeweils sechs Wörtern muss die Testperson dasjenige herausuchen, das real existiert. Die anderen fünf sind sinnfreie Kunstwörter.

**Regensburger Wortflüssigkeitstest** (RWT von Aschenbrenner et al., 2000): Ein Verfahren, das in Untertests die formallexikalische (hier: Wörter aufzählen, die mit F, A und S beginnen) und die semantische Wortflüssigkeit (hier: Wörter der Kategorie Lebensmittel aufzählen) erfasst.

**Trail Making Test** (TMT A & B von Tombaugh, 2004): In diesem Test muss die Versuchsperson Zahlen (TMT A) bzw. abwechselnd Zahlen und Buchstaben (TMT B) in aufsteigender Reihenfolge verbinden. Der Test überprüft kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit und Aufmerksamkeit mit der zusätzlichen Erschwernis des Zielreizwechsels. Der Quotient (TMT B/A) erlaubt die Erfassung der kognitiven Flexibilität.

Außer diesen neuropsychologischen Tests wurde mit einigen bereits validierten Fragebögen verschiedene Persönlichkeitsmaße sowie die Ausprägung depressiver Symptome und die gesundheitsbezogene Lebensqualität erfasst, um diese ebenfalls auf Korrelationen mit ToM zu überprüfen. Diese sind im Einzelnen:

**Beck Depression Inventory II** (BDI-II, 1996 in der deutschen Bearbeitung von Hautzinger et al., 2006): Ein Selbstbeurteilungsinstrument für depressive Symptome, das sich an den Depressionskriterien nach DSM-IV (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders) orientiert.

**Fragebogen zum Allgemeinen Gesundheitszustand** (Short Form 36 Health Survey Questionnaire (SF-36) in der deutschen Übersetzung von Bullinger, 1996): Ein Selbstbeurteilungsbogen zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität mit den Subskalen *Körperliche Funktionsfähigkeit, Körperliche Rollenfunktion, Körperliche Schmerzen, Allgemeine Gesundheitswahrnehmung, Vitalität, Soziale Funktionsfähigkeit, Emotionale Rollenfunktion* und *Psychisches Wohlbefinden*.

**Freiburger Persönlichkeitsinventar** (FPI-R, revidierte Langfassung von Fahrenberg et al., 1984): Ein Persönlichkeitstest mit den Skalen *Lebenszufriedenheit, Soziale Orientierung, Leistungsorientierung, Gehemmtheit, Erregbarkeit, Aggressivität, Beanspruchung, Körperliche Beschwerden, Gesundheitssorgen, Offenheit* und den beiden Sekundärskalen *Extraversion* und *Emotionalität*.

**Saarbrücker Persönlichkeits-Fragebogen** (SPF von Paulus, 2006; basierend auf dem Interpersonal Reactivity Index (IRI) von Davis, 1983): Ein mehrdimensionaler Fragebogen zur Erfassung von Empathie mit den vier Unterskalen *perspective taking, fantasy, empathic concern* und *personal distress*.

**Empathie-Skala** (E-Skala von Leibetseder et al., 2001): Ein Fragebogen zu den kognitiven und affektiven Aspekten der Empathiefähigkeit mit den Unterskalen *cognitive sensitivity, emotional sensitivity, cognitive concern* und *emotional concern*.

Als ein zusätzlicher ToM-Test wurde der **Reading the Mind in the Eyes Test** (RMET Revised Version von Baron-Cohen et al., 2001; deutsche Version von Bölte, 2005) eingesetzt: In diesem Test soll die Versuchsperson auf Grundlage von Augenpartien aus Fotografien eines von vier Adjektiven auswählen, welches dem mentalen Zustand der abgebildeten Personen am ehesten entspricht.

Tabelle 2: Übersicht über durchgeführte Tests und Fragebögen

<b>Episodisches Gedächtnis und Lernen</b>	Wortliste (RAVLT) Zahlenspanne und Blockspanne (aus WMS-R)
<b>Allgemeines kognitives Leistungsniveau</b>	Logische Reihen (LPS Subtest 4) Wortschatztest (WST)
<b>Exekutivfunktionen</b>	Wortflüssigkeit (F, A, S, Lebensmittel), Score aus TMT B/A
<b>Aufmerksamkeit, kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit</b>	Zahlenverbinden (TMT A & B)
<b>Depressivität, Lebensqualität und Persönlichkeit</b>	Depressionssymptome (BDI-II) Gesundheitsbezogene Lebensqualität (SF-36) Freiburger Persönlichkeitsinventar (FPI-R)
<b>Fragebögen zu ToM</b>	Saarbrücker Persönlichkeits-Fragebogen (SPF) Empathie-Skala (E-Skala)
<b>Theory of Mind</b>	Reading the Mind in the Eyes

### 3.1.2.2 Auswertung der Test- und Fragebogendaten

Die statistische Auswertung der neuropsychologischen Daten erfolgte mithilfe der Software SPSS, Version 18 (SPSS Inc., Chicago). Für jeden Test, jeden Fragebogen und jede ToM-Skala wurde der Mittelwert der Gruppe und die Standardabweichung (SD) berechnet und, falls vorhanden, mit den Normdaten für die entsprechende Altersgruppe verglichen. Diese liegen zum Teil standardisiert als Prozentränge (PR), Perzentilen, C-Werte oder Stanine-Werte vor. Der PR gibt an, welcher Prozentsatz in der genormten Stichprobe einen kleineren oder gleich hohen Wert aufweist. Ein durchschnittliches Ergebnis entspricht also einem PR von 50. Werte zwischen 25 und 75 gelten als der Norm entsprechend. Ein Perzentil bezeichnet einen bestimmten Testwert, der einem Prozentrang entspricht, d.h. ein Testwert, der von 50% der Testwerte unterschritten bis erreicht wird, heißt 50. Perzentil. Auf der Centil-Skala (C-Skala) von 0 bis 10 beträgt der Mittelwert 5 mit einer Standardabweichung von 2, sodass Werte zwischen 4 und 6 als normwertig gelten. Die Standard-Nine-Skala (Stanine-Skala) weist Werte zwischen 1 und 9 auf und entspricht somit einer an den

Rändern vergrößerten C-Skala. Auch hier beträgt das arithmetische Mittel 5 und der Normwertebereich erstreckt sich von 4 bis 6.

Alle neuropsychologischen Skalen wurden mit den Skalen der ToM-Tests (SPF, Empathie-Skala und RMET) und den Verhaltensdaten des *Yoni*-Paradigmas aus der fMRT-Untersuchung nach Pearson korreliert. Anstelle einer Bonferroni-Korrektur für multiples Testen wurde für diese Korrelationen ein konservatives alpha-Level von  $p = 0,01$  gewählt.

### 3.1.3 Stimulusmaterial: Das *Yoni*-Paradigma

Für die vorliegende Studie wurde die deutsche Version des *Yoni*-Paradigmas von S.G. Shamay-Tsoory und KollegInnen aus dem Jahr 2007 für die Anwendung im fMRT angepasst. Die Übertragung ins Deutsche stammt von E. Kalbe aus dem Jahr 2009. Das Paradigma wurde bereits in zahlreichen Verhaltensstudien (Shamay-Tsoory et al., 2005b) und einigen Studien mit hirngeschädigten PatientInnen (Shamay-Tsoory et al., 2005a; Shamay-Tsoory et al., 2006; Shamay-Tsoory and Aharon-Peretz, 2007) durchgeführt, ist aber bisher noch nicht in bildgebenden Studien angewendet worden.

Das Paradigma umfasst drei Bedingungen: eine affektive (aff) und eine kognitive (kog) ToM-Bedingung sowie eine Kontrollbedingung (phy; von englisch *physical*, hier: den Naturgesetzen folgend). Die verwendeten Items bestehen aus einfachen Bildern, auf denen in der Mitte immer ein Gesicht, das von der Erfinderin *Yoni* genannt wurde, zu sehen ist (s. Abbildung 4). In den vier Bildecken befinden sich weitere etwas kleinere Gesichter, die mit verschiedenen Attributen aus einer gemeinsamen semantischen Kategorie versehen sind. Am oberen Bildrand steht ein Satz, der eine Lücke (...) enthält. Die Aufgabe der ProbandInnen besteht darin, diejenige Bildecke auszuwählen, die diese Lücke am besten ausfüllt, d.h. sie müssen den Satz vervollständigen. Es gibt immer nur eine richtige Bildecke bzw. Antwort. Um dies für die beiden ToM-Bedingungen richtig zu lösen, muss die Versuchsperson erfassen, was *Yoni mag* (affektive Bedingung) bzw. an was er *denkt* (kognitive Bedingung). Hierzu ist das Lesen und Verstehen des Satzes und das Erfassen des Gesichtsausdruckes bzw. der Blickrichtung notwendig. Dies bedeutet im Einzelnen, Sprache, Mundformen und

Hinweise durch Blicke zu integrieren. Für die Lösung der Kontrollbedingung ist kein Erfassen mentaler Zustände, d.h. kein ToM-Prozess notwendig. Hier muss die Versuchsperson lediglich abgleichen, welches Gesicht in einer der Bildecken mit dem gleichen Gegenstand versehen ist wie *Yoni*.

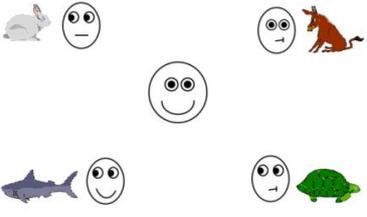
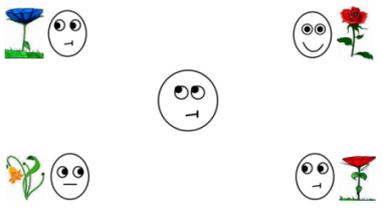
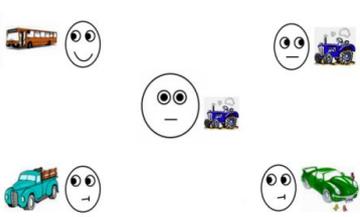
<p>Yoni mag das Tier, das ... mag.</p> 	<p>Yoni denkt an die Blume, an die ... denkt.</p> 	<p>Yoni hat das Fahrzeug, das ... hat.</p> 
<p><b>Affektive Bedingung</b></p>	<p><b>Kognitive Bedingung</b></p>	<p><b>Kontrollbedingung</b></p>

Abbildung 4: Beispielitems der fMRT-Version des Yoni-Paradigmas

### 3.1.3.1 Adaptation des Paradigmas für die fMRT

Im Folgenden wird dargestellt, welche Änderungen am Originalparadigma für die Adaptation an die Durchführung im fMRT vorgenommen wurden. Ziel der Modifizierungen war, ein im Scanner anwendbares Paradigma zu schaffen, dessen Bedingungen sich bis auf die ToM-Komponente möglichst wenig unterscheiden, um sinnvolle Vergleichsmöglichkeiten zu erhalten.

1) Im Gegensatz zum Original enthielt die adaptierte Version nur *second-order* Items, d.h. die Versuchsperson musste jeweils *Yoni* und einen weiteren Akteur beurteilen, um zur richtigen Antwort zu gelangen. Das erhöhte die Vergleichbarkeit der Stimuli und verhinderte Unterschiede in der Itemschwierigkeit. Hinzu kam, dass die Bearbeitungszeit für alle Items im fMRT idealerweise gleich lang ist.

2) Alle Objekte außer den Gesichtern waren in der adaptierten Version bunt und nicht wie im Original teilweise schwarz-weiß. Dennoch stammen alle verwendeten Objekte aus der Originalversion.

3) Die negierte Variante in der affektiven Bedingung („*Yoni* mag etwas, das ... *nicht* mag.“) wurde in der fMRT-Version weggelassen, da es hierzu keine Entsprechung in der kognitiven ToM-Bedingung und in der Kontrollbedingung gab. Mit dieser Veränderung war der nach unten gezogene Mund überflüssig geworden und es wurde auf ihn verzichtet.

4) *Yoni* sollte in jeder Bedingung eine andere Form des Mundes aufweisen. Der strichförmige neutrale Mund des Originalparadigmas wurde zu dem der neuen Kontrollbedingung. Zudem wurde eine neue Mundform für die kognitive ToM-Bedingung, die den Aspekt des Nachdenkens verdeutlichen soll, geschaffen (s. Tabelle 3).

5) Auch in Bezug auf die Systematik der Blickrichtungen wurden einige Änderungen vorgenommen. So konnte man in der neuen Version auch in der Kontrollbedingung anhand der Münder und Blickrichtungen auf die Lösung schließen, obwohl dies zur Lösung der Aufgabe nicht notwendig war, da hier nur Attribute abgeglichen werden mussten. Damit wurde eine maximale Vergleichbarkeit aller drei Bedingungen angestrebt.

6) Um einem automatischen Gesichterabgleichen durch die ProbandInnen entgegenzuwirken, gab es in der Scanner-Version zum einen Items, in denen *Yoni* geradeaus schaute, und solche, in denen jeweils zwei der Gesichter in den Bildecken die gleiche Mundform hatten wie *Yoni*. Diese Varianten sind bereits im Original vorhanden, in der Adaptation wurde die Verteilung lediglich systematisiert. So blickt *Yoni* nun in 10 von 20 Items pro Bedingung geradeaus. In ebenfalls 10 Items haben zwei weitere kleine Gesichter die gleiche Mundform wie *Yoni*, und zwar gleichmäßig verteilt auf die Items mit gerichtetem bzw. ungerichtetem Blick von *Yoni*.

7) In der kognitiven Bedingung gab es in der neuen Version immer nur ein kleines Gesicht, dessen Blick in Richtung seines Attributes wies. Das lag daran, dass *denken an etwas* und ein lachender Mund kombiniert mit der Blickrichtung hin zu einem Gegenstand sich nicht ausschließen. Das würde zu missverständlichen Items führen, denn wenn mehrere Akteure zu ihrem Attribut hinblicken, aber formal nur einer (was am

Mund erkennbar ist) an sein Attribut denkt, wäre das für die ProbandInnen irreführend.

In der folgenden tabellarischen Übersicht sind die Unterschiede und Überschneidungen der Items und der Bedingungen der neuen Version noch einmal zusammengestellt.

**Tabelle 3: Aufbau der Items der fMRT-Version des Yoni-Paradigmas**

	AFFEKTIVE TOM	KOGNITIVE TOM	KONTROLLBEDINGUNG
<b>Anzahl Items</b>	20	20	20
<b>Satz</b>	Yoni mag etwas, das ... mag.	Yoni denkt an etwas, an das ... denkt.	Yoni hat etwas, das ... hat.
<b>Mund Yoni</b>			
<b>Blick kleine Gesichter</b>	- zentral - zu ihrem Attribut - vom Attribut weg	- zentral - zu ihrem Attribut - vom Attribut weg	- zentral - zu ihrem Attribut - vom Attribut weg
<b>Münder kleine Gesichter</b>	- lachend - denkend - neutral	- lachend - denkend - neutral	- lachend - denkend - neutral

### 3.1.4 Funktionelle Magnetresonanztomographie

#### 3.1.4.1 Funktionsprinzip fMRT

Bei der Magnetresonanztomographie handelt es sich um ein nichtinvasives bildgebendes Verfahren, das auf Magnetfeldern beruht. Die wesentlichen Parameter für die Signalgenerierung der Schnittbilder sind die Protonendichte des darzustellenden Gewebes, die Stärke des angelegten Magnetfeldes und die Relaxationszeiten der Längs- und Quermagnetisierung. Da die Protonen des Gewebes einen charakteristischen Kernspin aufweisen, fungieren sie als kleine um ihren Vektor

kreisende magnetische Dipole, die durch das Anlegen eines externen Magnetfeldes an dessen Feldlinien ausgerichtet werden. Die Protonen präzedieren wie Kreisel an diese Linien heran. Im MRT geschieht die Längsmagnetisierung entlang der Körperachse bzw. der Länge des Tomographen (z-Achse). Anschließend werden Hochfrequenzimpulse in das bestehende Magnetfeld eingestrahlt, die den resultierenden Vektor in der xy-Ebene auslenken. Das gemessene Signal verliert beim Zurückkippen der einzelnen Dipole in ihre ursprüngliche Ausrichtung exponentiell an Stärke. Dies geschieht deshalb, weil die Einzelspins ihre Phasengleichheit verlieren (s. Abbildung 5). Die Zeit, in der die Transversalmagnetisierung auf 37% des ursprünglichen Wertes zurückgegangen ist, nennt man Spin-Spin-Relaxationszeit T2. Desweiteren kippt der Gesamtvektor wieder zurück zum ursprünglichen Magnetfeld (s. Abbildung 5). Die Zeit, in der 63% der Longitudinalmagnetisierung wieder erreicht ist, wird Spin-Gitter-Relaxationszeit T1 genannt. Der Verlust der Phasengleichheit und das Zurückkippen des Vektors laufen zeitlich überlappend ab, die Zeiten T1 und T2 sind jedoch unabhängig voneinander. Bildkontraste in der MRT beruhen also auf den unterschiedlichen Relaxationszeiten der verschiedenen Gewebearten. Zwei weitere zentrale Begriffe in der MRT sind die Repetitionszeit (TR) und die Echozeit (TE). TR ist die Zeit zwischen zwei applizierten Hochfrequenzimpulsen. Für T1-gewichtete Bilder wird TR kurz gewählt. TE beschreibt die Zeit zwischen Anregung des Gewebes und Messung des Signals und muss für T2-gewichtete Bilder kurz sein.

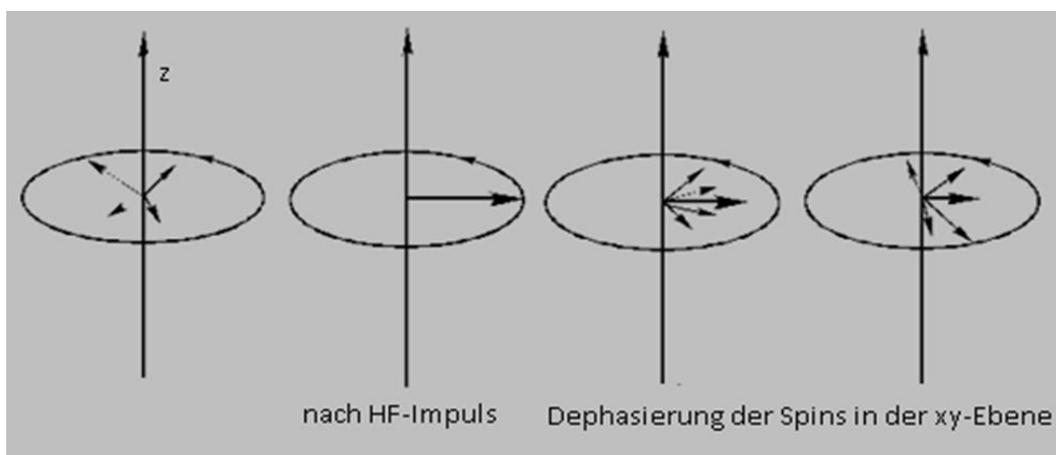
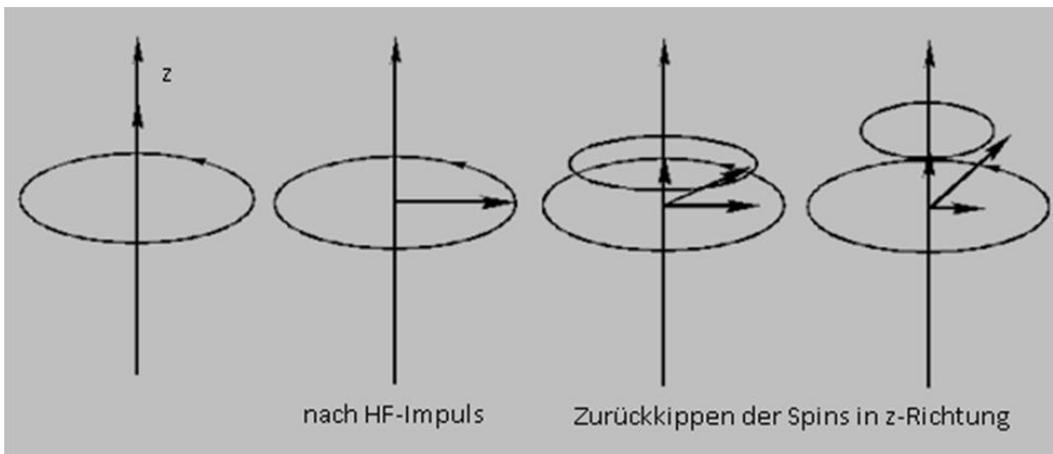


Abbildung 5: T2-Relaxation modifiziert nach Köchli und Marinček, 1998



**Abbildung 6: T1-Relaxation modifiziert nach Köchli und Marincek, 1998**

Die fMRT hat die Darstellung aktivierter Gehirnregionen zum Ziel und basiert heute meist auf dem BOLD-Effekt (blood oxygenation level dependency). Sie nutzt die unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften von sauerstoffreichem und sauerstoffarmem Blut, um Signalkontraste zu detektieren. Das mit Sauerstoff beladene Hämoglobin des Blutes ist diamagnetisch und stößt daher das magnetische Feld ab, während das unbeladene paramagnetisch ist und das magnetische Feld anzieht (Pauling and Coryell, 1936). Entscheidend für die Nutzung des BOLD-Effekts in der fMRT ist, dass bei der aeroben Energiegewinnung in aktiven Neuronen Sauerstoff verbraucht wird, was durch einen regional erhöhten zerebralen Blutfluss überkompensiert wird. In einem aktivierten Hirnareal erhöht sich also mit einer kurzen Verzögerung die Konzentration des oxygenierten Hämoglobins im Vergleich zu Hirnarealen, in denen keine Aktivierung stattfindet.

Die hämodynamische Antwort (Buxton et al., 1998) auf neurale Aktivierung ist jedoch etwas verzögert. Das Maximum der BOLD-Antwort tritt etwa 4-6 sec nach Stimulusbeginn ein (s. Abbildung 7). Um dem Rechnung zu tragen, müssen funktionelle Imaging-Sequenzen Bilder im Abstand von Millisekunden generieren. Es eignen sich v.a. Echo-Planar-Imaging-Sequenzen (EPI-Sequenzen), die mit geringerer räumlicher zugunsten höherer zeitlicher Auflösung arbeiten.

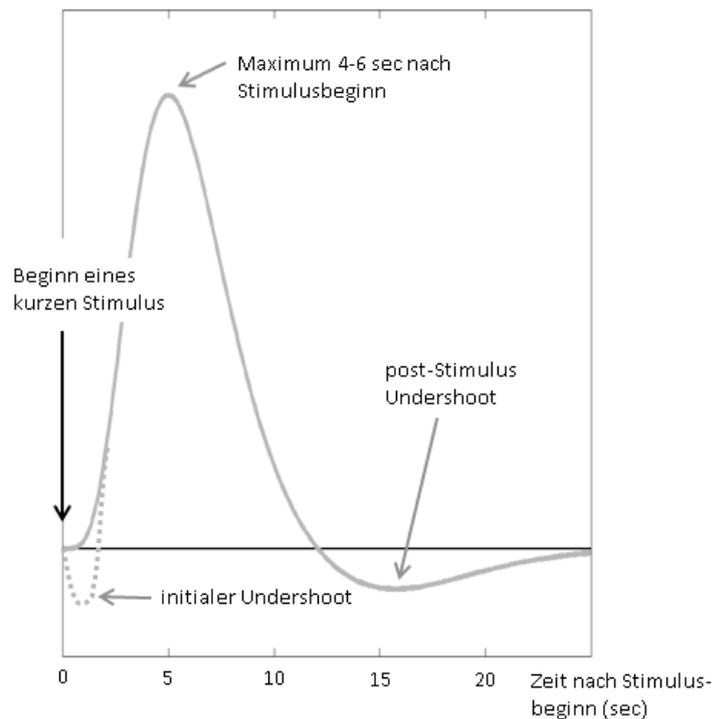


Abbildung 7: Hämodynamische Antwortfunktion nach Malonek und Grinvald, 1996

### 3.1.4.2 Datenakquisition

Die hier dargestellte Studie wurde in einem 1,5 Tesla-Scanner (Siemens Sonata) mit einer konventionellen Kopfspule durchgeführt. Mittels einer BOLD-sensitiven Standard-EPI-Sequenz wurden je TR 32 Schichtbilder gescannt, die das gesamte Gehirn abbilden und parallel zu einer gedachten Verbindungslinie zwischen der vorderen und hinteren Kommissur (AC-PC-Linie) verliefen. Die TR wurde mit 3000 msec gewählt, die TE mit 50 msec. Die Schichtdicke beträgt 3,5 mm mit einer Lücke von 0,35 mm zwischen den Schichten (10% der Schichtdicke). Daraus ergibt sich eine Voxelgröße von 3,5 mm x 3,5 mm x 4,2 mm. Das Field of View (FoV) beträgt 225 bei einer Matrixgröße von 64 x 64. Der Flip-Winkel ist wie standardmäßig üblich 90°, d.h. in diesem Winkel wird relativ zum magnetischen Feld der Vektor der Magnetisierung mittels Hochfrequenzimpuls ausgelenkt.

Nach der Akquirierung der funktionellen Daten wurden pro ProbandIn zwei anatomische Volumendatensätze in sagittaler Schnittführung erworben, die bei der Datenvorverarbeitung zur Koregistrierung der funktionellen Bilder verwendet wurden.

### **3.1.4.3 Ablauf der fMRT-Untersuchung**

Bevor sich die Versuchspersonen in den Scanner begaben, um das *Yoni*-Paradigma zu bearbeiten, erhielt jede von ihnen folgende standardisierte Instruktion:

„In unseren Aufgaben geht es um *Yoni*. Das ist *Yoni*. (Die Versuchsleiterin zeigt auf das mittlere Gesicht des ersten Beispielitems. S. Abbildung 8) Auf den kommenden Bildern und später im MRT befindet sich *Yoni* immer in der Mitte. In den Ecken sieht man weitere Bilder. Oben erscheint ein Satz mit einer Lücke. Ihre Aufgabe besteht darin, diejenige Bildschirmecke auszuwählen, die die Lücke am besten ausfüllt. Dazu müssen Sie sich möglichst gut in *Yoni* hineinversetzen. Nachher haben sie immer 6 Sekunden Zeit. Wenn sie sich entschieden haben, schauen sie bitte auf *Yoni* in der Mitte. Zwischen den Bildern erscheint ein Kreuz auf dem Bildschirm. Bitte betrachten sie dieses konzentriert, bis das nächste Bild erscheint. Wir üben das jetzt an sechs Beispielitems.“ (Versuchsleiterin geht mit der Versuchsperson die sechs Beispiele durch. Wenn diese eine falsche Antwort gibt, wird sie berichtigt.)

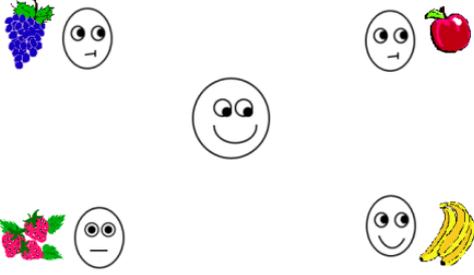
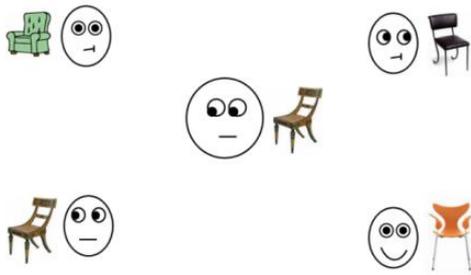
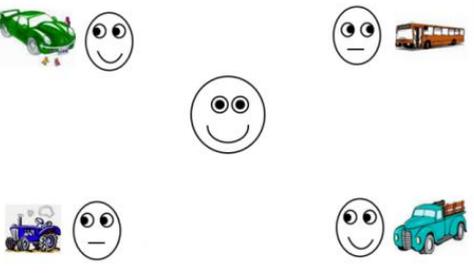
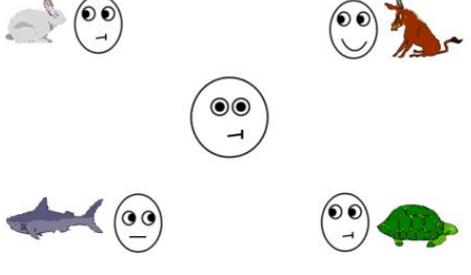
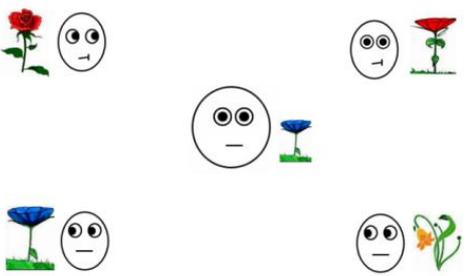
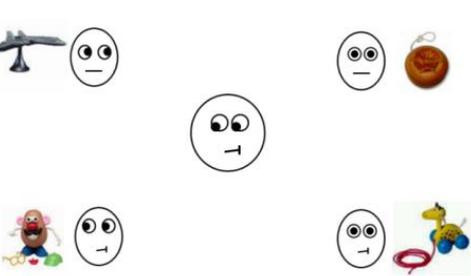
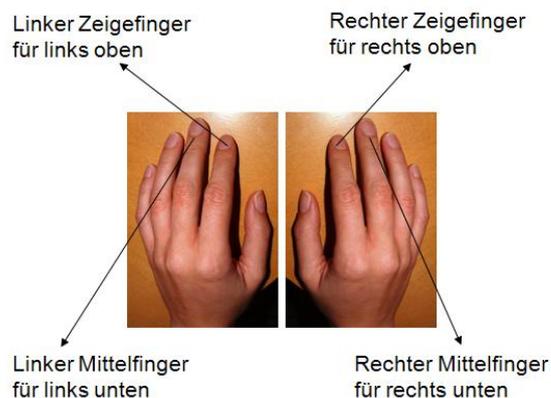
<p><b>Bsp 1</b></p>	<p>Yoni mag die Früchte, die ... mag.</p> 	<p><b>Bsp 2</b></p>	<p>Yoni hat den Stuhl, den ... hat.</p> 
<p><b>Bsp 3</b></p>	<p>Yoni mag das Fahrzeug, das ... mag.</p> 	<p><b>Bsp 4</b></p>	<p>Yoni denkt an das Tier, an das ... denkt.</p> 
<p><b>Bsp 5</b></p>	<p>Yoni hat die Blume, die ... hat.</p> 	<p><b>Bsp 6</b></p>	<p>Yoni denkt an das Spielzeug, an das ... denkt.</p> 

Abbildung 8: Beispieltitems aus den standardisierten Instruktionen

Nachdem den ProbandInnen der Ablauf und das *Yoni*-Paradigma mithilfe der Instruktionen erklärt worden war, wurden sie aufgefordert, sich in den MRT zu legen. Dort wurde die Vorrichtung mit den Antworttasten auf den Oberschenkeln der Versuchsperson fixiert und ein Lärmschutz angelegt. Zur weitgehenden Vermeidung von Bewegungsartefakten wurde der Kopf der Versuchsperson seitlich in der Kopfspule mit Schaumstoffpolstern fixiert. Für Notfälle wurde der Versuchsperson ein

Alarmknopf in Reichweite gezeigt, den sie zum Abbruch des Experimentes nutzen konnte. Die im Scanner liegenden ProbandInnen waren über eine Videokamera auf dem Überwachungsmonitor außerhalb des Scannerraums zu sehen.

Anschließend folgte eine Übung zur Benutzung der Antworttasten, die auch den Zweck hatte, die Versuchspersonen an die unbekannte Umgebung zu gewöhnen. Vier Tasten standen den ProbandInnen zu Verfügung, um zwischen den vier kleinen Gesichtern in den Bildschirmecken zu wählen (s. Abbildung 9).



**Abbildung 9: Instruktion zur Benutzung der Antworttasten**

Die Übung bestand neben der Einleitung aus zehn Folien und erfolgt im Gegensatz zum Untersuchungsparadigma im Self-Paste-Modus, d.h. wenn die gedrückte Taste nicht die richtige war, erschien die gleiche Folie erneut. Die Aufgabe der ProbandInnen bestand darin, per Tastendruck diejenige Bildschirmecke auszuwählen, in der sich ein roter Punkt befand (s. Abbildung 10).

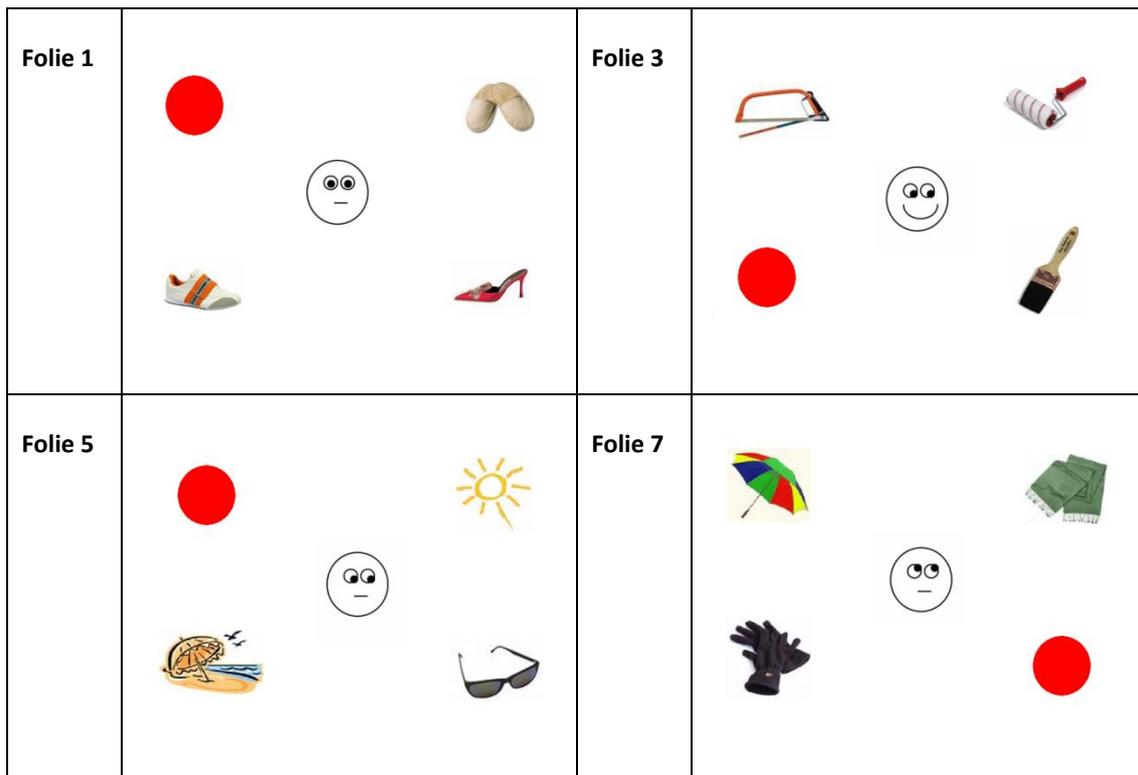


Abbildung 10: Übung zur Benutzung der Antworttasten (Ausgewählte Beispielfolien)

Nach erfolgreicher Bearbeitung der Übung wurde über ein Mikrofon Rücksprache mit der Versuchsperson gehalten. Waren alle Fragen beantwortet, wurde mit dem *Yoni*-Paradigma begonnen, in dessen Verlauf alle von den ProbandInnen gegebenen Antworten aufgezeichnet wurden.

Die Präsentation der Stimuli wurde mit der Software Presentation 11.0 (Neurobehavioral Systems, Albany, CA, USA, <http://www.neurobs.com/>) gesteuert. Die Bilder wurden seitenverkehrt von hinten auf eine Plexiglasscheibe projiziert, die sich in ca. 2 m Entfernung von der Kopfspule befand. Auf der Spule war ein abgewinkelter Spiegel angebracht, über den die ProbandInnen die Bilder auf der Plexiglasscheibe sehen konnten.

Das Design des Paradigmas war ereigniskorreliert (*event-related*), d.h. die Items der drei verschiedenen Bedingungen wurden in vorab randomisierter, aber für alle ProbandInnen identischer Reihenfolge dargeboten und jedes wurde für sich gesehen als *event*, also unabhängiger Stimulus betrachtet. Das hatte den Vorteil, dass auch

Reaktionen auf die einzelnen mit sechs Sekunden relativ kurz dargebotenen Items erfasst werden konnten. Die Reihenfolge der Items wurde so gewählt, dass zum Teil mehrere Items derselben Bedingung hintereinander dargeboten wurden (*cluster*). Dies geschah mit dem Ziel der Aufsummierung des BOLD-Effektes über die Dauer des *clusters*. Man versuchte somit, den Vorteil eines *block designs* im *event-related design* zu integrieren.

Jedes Item wurde für die Dauer von 6 sec dargeboten. Zwischen den Items erscheint unterschiedlich lange (*jitter*) ein Fixationskreuz (Darbietungszeit zwischen 3,5 und 4,3 sec; im Mittel 3,9 sec). Die Aufgabe dieses *jitters* ist es, einen Phasenversatz zwischen Stimulus- und Scanbeginn zu schaffen. Dies führt dazu, dass die Kurve der BOLD-Antwort an unterschiedlichen Stellen geschnitten und somit besser abgebildet wird (Miezin et al., 2000). Mit 60 Items sowie dem *jitter* jeweils dazwischen ergab sich eine Experimentendauer von 9 min 54 sec. Pro ProbandIn wurden 200 funktionelle Scans akquiriert, die später in die Auswertung eingingen. Vor Beginn der eigentlichen Datenakquisition wurden fünf Scans durchgeführt, die anschließend automatisch wieder verworfen wurden. Dieses Routineverfahren bewirkt, dass die longitudinale Magnetisierung vor Beginn des Experiments ihr Gleichgewicht erreicht und dadurch Artefakte vermieden werden.

#### **3.1.4.4 Statistische Auswertung der fMRt-Daten**

Die Auswertung der fMRT-Daten erfolgte mit der frei verfügbaren Software SPM 5 und 8 (Statistical Parametric Mapping, [www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/](http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/)). Diese Software dient der statistischen Auswertung funktioneller Bildgebungsdaten und wurde entwickelt von Mitgliedern des *Wellcome Trust Centre for Neuroimaging* des *University College London*. Die folgenden Ausführungen stützen sich hauptsächlich auf das SPM 8 Manual (FIL Methods Group, 2010).

Vor Beginn der Datenvorverarbeitung wurden alle akquirierten Schnittbilder digital umgewendet, da sie nach radiologischer Konvention seitenverkehrt vorlagen.

Die Datenvorverarbeitung setzte sich zusammen aus:

- 1) Bewegungskorrektur (*Realignment*).
- 2) Normalisierung (Abbildung der Gehirnanatomie jeder Versuchsperson auf einem standardisierten Gehirnmodell als Vergleichsbasis). In dieser Studie wurde das MNI-Template (Montréal Neurological Institute) verwendet. Die aus diesem Vorverarbeitungsschritt resultierende Voxelgröße betrug 2 mm x 2 mm x 2 mm.
- 3) Glättung (*Smoothing*). Ziel war es, ein optimiertes Signal-Rausch-Verhältnis zu finden. Über jedes einzelne Voxel wurde eine isotropische Gauß-Filtermaske gelegt (hier: Full Width at Half Maximum (FWHM) = 8 mm), um Signalstärken über benachbarte Volumenelemente zu mitteln.
- 4) Um niedrigfrequente Artefakte zu eliminieren, wurde ein High-Pass-Filter (Cut-off-Periode = 128 sec) angewendet.

Die nun folgende statistische Auswertung ist ein voxelbasiertes Verfahren, dessen Grundlage das Allgemeine Lineare Modell darstellt (Holmes, 1994). Die Auswertungsschritte auf Individualebene (*First Level*) waren die folgenden:

- 1) Erstellen einer Design-Matrix (*Model Specification*). In diesem Schritt wurden das experimentelle Design und die zu testenden Hypothesen spezifiziert. Hierzu gibt man Beginn und Dauer aller Stimuli der verschiedenen Bedingungen an. Die Ruhebedingung (Betrachtung des Fixationskreuzes als *low level baseline*) wurde somit implizit beschrieben. Jeder Scan wird in der Matrix durch eine Zeile repräsentiert und jeder Regressor, d.h. jede Bedingung, durch eine Spalte. Zusätzlich wurden in die Design-Matrix zwei Regressionskoeffizienten aufgenommen, um für die experimentelle Varianz zu kontrollieren, die dadurch entsteht, dass die hämodynamische Antwortfunktion interindividuell (Aguirre et al., 1998) und abhängig von der Lokalisation auf dem Kortex (Schacter et al., 1997) verschieden ist. Diese waren *temporal derivatives* (modelliert den

Zeitpunkt des Maximums der BOLD-Antwort) und *dispersion derivatives* (modelliert die Breite der BOLD-Antwort).

- 2) Schätzung des erstellten Modells (*Model Estimation*).
- 3) Berechnung der BOLD-Antworten für jede einzelne Versuchsperson (eine Funktion des *Contrast Manager*) in der affektiven und kognitiven ToM-Bedingung und in der Kontrollbedingung.  $\beta$ -Gewichte (Signalstärke innerhalb eines Voxels, um das die gemessenen Werte über die Zeit des Versuchs streuen) und Karten signifikanter Aktivierung wurden für alle ProbandInnen geschätzt.

Daraufhin folgte die statistische Auswertung auf Gruppenebene (*Second Level*):

Hierzu wurden die auf dem *First Level* errechneten Karten signifikanter Aktivierung in den Bedingungen aff, kog und phy relativ zur *low level baseline* in ein *Full Factorial Design* eingegeben. Es wurde davon ausgegangen, dass die Bedingungen nicht unabhängig voneinander zu betrachten sind und die Varianz ungleich ist. Zu Beginn wurde für jede Bedingung eine Karte mit signifikanter Aktivierung innerhalb der Gruppe errechnet. Eine Monte-Carlo Simulation (programmiert von S. Slotnick, 2008; [www2.bc.edu/\\_slotnics/scripts.htm](http://www2.bc.edu/_slotnics/scripts.htm), Zugriff vom 05.09.2011) mit 1000 Durchgängen ergab, dass ein statistisches Kriterium von 46 oder mehr zusammenhängenden Voxeln einem alpha-Level von  $p < 0,05$  korrigiert für multiples Testen entspricht.

Aktivierungskarten wurden errechnet für die Kontraste aff > phy, kog > phy, aff > kog und kog > aff. Die Bestimmung der Lokalisation der signifikant aktivierten Gehirnregionen im MNI-Raum wurde mit der Anatomy Toolbox (Eickhoff et al., 2005), einer Anwendung in SPM, vorgenommen. Die Toolbox arbeitet mit einer probabilistischen Gehirnkarte, in die zytoarchitektonische Charakteristika der kartierten Gehirnregionen mit einbezogen werden.

Zusätzlich wurden die BG als anatomisch definierte *region of interest* (ROI; Eickhoff et al., 2005) ausgewertet. Die  $\beta$ -Gewichte aus dieser ROI wurden für alle drei Bedingungen des *Yoni*-Paradigmas aus den *First Level*-Datensätzen extrahiert und mit

den ToM-Skalen, den Verhaltensdaten des *Yoni*-Paradigmas sowie mit den Ergebnissen der neuropsychologischen Tests korreliert.

### 3.2 Ergebnisse

Der Ergebnisteil dieser Arbeit untergliedert sich in die Kapitel *Verhaltensdaten* (3.2.1) und *fMRT-Daten* (3.2.2). Zu den Verhaltensdaten gehören die Ergebnisse der neuropsychologischen Tests, die soziodemographische Charakterisierung der ProbandInnen, die ToM-Skalen sowie die Ergebnisse der Fragebögen. Außerdem fallen darunter auch die behavioralen Ergebnisse des *Yoni*-Paradigmas, d.h. die während der fMRT-Messung von den ProbandInnen per Tastendruck gegebenen Antworten. In Abbildung 11 sind die verschiedenen erhobenen Daten als schematische Übersicht dargestellt. Die Überschneidungszonen zwischen den Feldern weisen auf die errechneten Korrelationen hin, die in den entsprechenden Unterkapiteln zu finden sind.

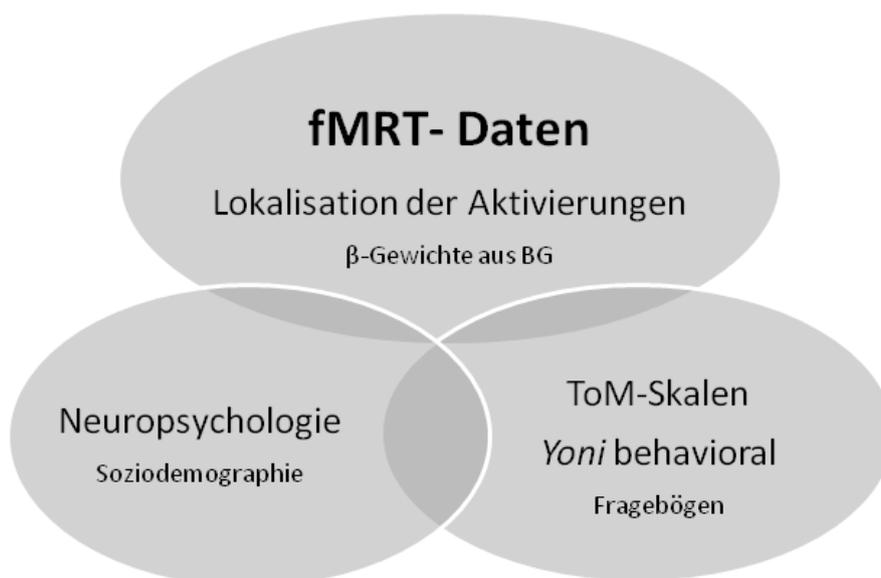


Abbildung 11: Schematische Darstellung der erhobenen Datenarten

### 3.2.1 Verhaltensdaten

#### 3.2.1.1 Neuropsychologie und soziodemographische Daten

Die ProbandInnen waren zum Zeitpunkt der Untersuchung im Mittel  $25,3 \pm 2,5$  Jahre alt (den Einschlusskriterien entsprechend zwischen 20 und 30 Jahren), wiesen  $13,9 \pm 2,16$  Bildungsjahre auf (zwischen 10 und 18 Jahren) und erfüllten alle im Kapitel *Stichprobe* (3.1.1) aufgeführten Einschlusskriterien. In die Auswertung gingen die Datensätze von 15 Männern und 15 Frauen ein.

Die Ergebnisse aller durchgeführten neuropsychologischen Tests und ihrer Unterskalen untergliedert in Tests zum Gedächtnis und Tests zu den Exekutivfunktionen und zum logischen Denken sowie die zugehörigen Normdaten sind in Tabelle 4 aufgelistet. Die Gruppenmittelwerte lagen jeweils innerhalb der altersentsprechenden Norm. Für den Wortschatztest lagen keine Normdaten vor. Eine Darstellung der angewendeten Tests und ihrer Inhalte findet sich im Kapitel *Angewendete Tests und Fragebögen* (3.1.2.1).

Tabelle 4: Ergebnisse der neuropsychologischen Tests

	Mittelwert $\pm$ SD	min – max	Normdaten PR/C des Mittelwerts
<b>GEDÄCHTNIS</b>			
<b>RAVLT A1-5</b> Sofortiger Abruf (5 Durchgänge)	63,0 $\pm$ 5,49	52 – 73	56,7 $\pm$ 7,3
<b>RAVLT B</b> Interferenzbedingung	9,3 $\pm$ 2,51	5 – 13	6,7 $\pm$ 2,0
<b>RAVLT A6</b> Verzögerter Abruf (nach Interferenzbedingung)	13,63 $\pm$ 1,65	9 – 15	11,5 $\pm$ 2,3
<b>RAVLT A7</b> Verzögerter Abruf (nach 30 min)	13,43 $\pm$ 2,11	6 – 15	11,3 $\pm$ 2,5
<b>Zahlenspanne vorwärts</b> Punkte (Anzahl der Richtigen)	8,83 $\pm$ 1,64 (7,07 $\pm$ 0,94)	6 – 12 (5 – 9)	PR: 48 – 68
<b>Zahlenspanne rückwärts</b> Punkte (Anzahl der Richtigen)	8,17 $\pm$ 2,07 (5,83 $\pm$ 1,34)	5 – 13 (4 – 8)	PR: 53 – 80
<b>Blockspanne vorwärts</b> Punkte (Anzahl der Richtigen)	9,33 $\pm$ 1,71 (6,37 $\pm$ 1,23)	6 – 14 (4 – 8)	PR: 50 – 65
<b>Blockspanne rückwärts</b> Punkte (Anzahl der Richtigen)	9,67 $\pm$ 1,27 (6,3 $\pm$ 0,92)	7 – 12 (4 – 7)	PR: 75 – 78
<b>EXEKUTIVFUNKTIONEN UND LOGISCHES DENKEN</b>			
<b>Logische Reihen</b> aus LPS	34,87 $\pm$ 2,9	27 – 41	C-Wert: 9
<b>Wortschatztest</b>	34,87 $\pm$ 2,9	27 – 41	--
<b>Wortflüssigkeit lexikalisch</b> (Anfangsbuchstaben F, A und S)	48,0 $\pm$ 9,31	32 – 60	PR: 50
<b>Wortflüssigkeit semantisch</b> (Kategorie Lebensmittel)	30,53 $\pm$ 6,18	21 – 44	PR: 75
<b>TMT B/A</b> (Quotient der Zeiten TMT B / TMT A)	2,16 $\pm$ 0,51	1,3 – 3,3	PR: 40

Die Daten sind jeweils als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (SD) sowie Minimum (min) und Maximum (max) der Gruppe dargestellt. Die Normdaten beziehen sich auf die entsprechende Altersgruppe; Prozentränge (PR; 25 – 75: normwertig) und Centil-Werte (C; 4 – 6: normwertig) beziehen sich auf den entsprechenden Gruppenmittelwert.

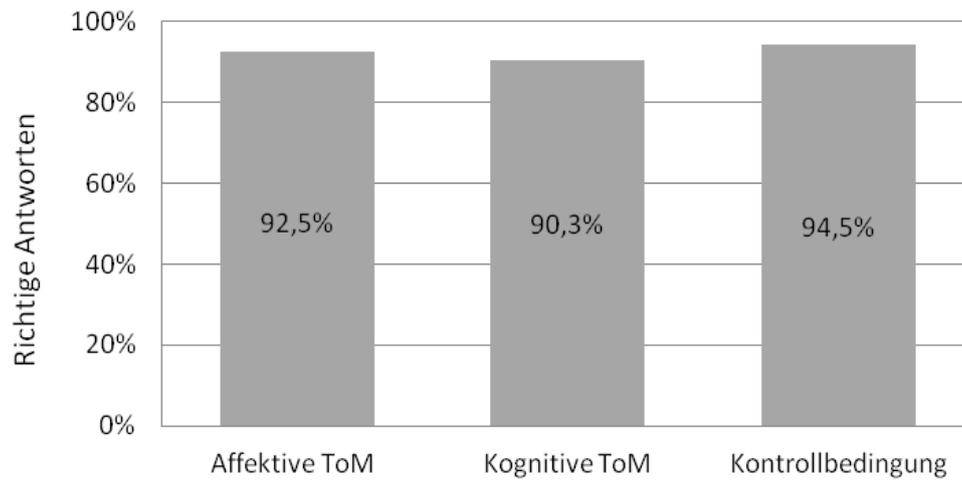
**Normdaten:** RAVLT (Schmidt, 1996), Zahlenspanne und Blockspanne (Härting et al., 2000), Logische Reihen (Horn, 1983), Wortflüssigkeit (Aschenbrenner et al., 2000), TMT (Tombaugh, 2004)

### 3.2.1.2 ToM-Skalen und Fragebögen

Im SPF erzielten die ProbandInnen durchschnittlich Werte von  $26,3 \pm 3,6$  in der Unterskala *perspective taking*,  $24,7 \pm 4,3$  in *fantasy*,  $25,3 \pm 3,9$  in *empathic concern* und  $16,5 \pm 3,7$  in *personal distress*. Jede der Skalen beinhaltet die Werte 0 bis 35, wobei die Höhe der Ausprägung der abgefragten Eigenschaft bzw. Fähigkeit entspricht. In der E-Skala lagen die Mittelwerte bei  $2,1 \pm 0,9$  in *cognitive sensitivity*,  $2,5 \pm 0,8$  in *emotional sensitivity*,  $1,9 \pm 0,8$  in *cognitive concern* und bei  $2,4 \pm 0,7$  in *emotional concern*. In diesem Fragebogen können in jeder Dimension Werte zwischen 0 und 4 erreicht werden, wobei die Höhe der Ausprägung der empathischen Reaktion entspricht.

Beim Vergleich der Geschlechter (t-Test der Mittelwerte) ergab sich ein interessantes Nebenergebnis: In der E-Skala zeigten die Frauen signifikant höhere Werte in den Skalen *emotional concern* ( $p = 0,002$ ) und *cognitive concern* ( $p = 0,012$ ). In den beiden Skalen für *sensitivity* ist dieser Trend ebenfalls sichtbar. Im SPF lagen die Frauen signifikant höher in den Skalen *fantasy* ( $p = 0,003$ ) und *distress* ( $p = 0,008$ ).

Im Durchschnitt wurden  $68,3 \% \pm 9,6$  der Items des RMET richtig gelöst. Im *Yoni*-Paradigma beantworteten die ProbandInnen  $92,5\% \pm 8,0$  der Items der affektiven ToM-Bedingung,  $90,3\% \pm 7,5$  der Items der kognitiven ToM-Bedingung und  $94,5\% \pm 8,2$  der Items der Kontrollbedingung korrekt (s. Abbildung 12). Keiner der Unterschiede zwischen den Anteilen der richtigen Antworten erreichte Signifikanzniveau.



**Abbildung 12: Verhaltensdaten des Yoni-Paradigmas**

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der verschiedenen Skalen des Persönlichkeitsfragebogens FPI-R, des Gesundheitsfragebogens SF-36 und des Depressionsscreenings BDI-II tabellarisch aufgelistet. Bis auf den Gruppenmittelwert der Skala Emotionalität aus dem FPI-R liegen alle Gruppenmittelwerte innerhalb der altersentsprechenden Norm.

Tabelle 5: Ergebnisse der Fragebögen FPI-R, SF-36 und BDI-II

	Mittelwert $\pm$ SD	min – max	
<b>FPI-R</b>			<b>Stanine</b>
(1) Lebenszufriedenheit	5,90 $\pm$ 1,52	3 – 9	4
(2) Soziale Orientierung	5,67 $\pm$ 1,65	1 – 9	4
(3) Leistungsorientierung	5,03 $\pm$ 1,54	2 – 9	4
(4) Gehemmtheit	4,50 $\pm$ 1,36	2 – 8	4
(5) Erregbarkeit	3,83 $\pm$ 1,66	1 – 9	4
(6) Aggressivität	4,03 $\pm$ 1,50	1 – 7	5
(7) Beanspruchung	4,23 $\pm$ 1,46	1 – 7	4
(8) Körperliche Beschwerden	3,20 $\pm$ 1,99	1 – 8	5
(9) Gesundheits Sorgen	3,70 $\pm$ 1,75	1 – 8	4
(10) Offenheit	5,17 $\pm$ 1,60	2 – 8	4
(11) Extraversion	5,10 $\pm$ 1,75	1 – 9	4
(12) Emotionalität	3,27 $\pm$ 1,80	1 – 7	3
<b>SF-36</b>			<b>Perzentil</b>
(1) Körperliche Funktionsfähigkeit	99,33 $\pm$ 2,17	90 – 100	50
(2) Körperliche Rollenfunktion	97,50 $\pm$ 7,63	75 – 100	100
(3) Körperliche Schmerzen	92,27 $\pm$ 16,34	41 – 100	25
(4) Allgemeine Gesundheitswahrnehmung	80,07 $\pm$ 13,19	57 – 100	50
(5) Vitalität	66,17 $\pm$ 12,64	35 – 100	50
(6) Soziale Funktionsfähigkeit	96,67 $\pm$ 10,85	50 – 100	100
(7) Emotionale Rollenfunktion	96,67 $\pm$ 13,42	33 – 100	100
(8) Psychisches Wohlbefinden	80,40 $\pm$ 9,76	56 – 100	50
<b>BDI-II</b>			<b>Cut-off</b>
	1.83 $\pm$ 2.51	0 – 10	$\geq 14$

Die Daten sind jeweils als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (SD) und Minimum und Maximum der Gruppe dargestellt. Stanine-Werte (4 – 6: normwertig) und Perzentilen (25 – 75: normwertig) beziehen sich auf den jeweiligen Gruppenmittelwert. Ein Punktwert  $\geq 14$  im BDI-II gilt als klinisch relevant im Sinne einer (leichten) Depression. Ab diesem Wert erfolgte der Ausschluss aus der Studie.

**Normdaten:** FPI-R (Fahrenberg et al., 1984), SF-36 (Bullinger, 1996), BDI-II (Kuhner et al., 2007)

### 3.2.1.3 Korrelationen zwischen Verhaltensdaten

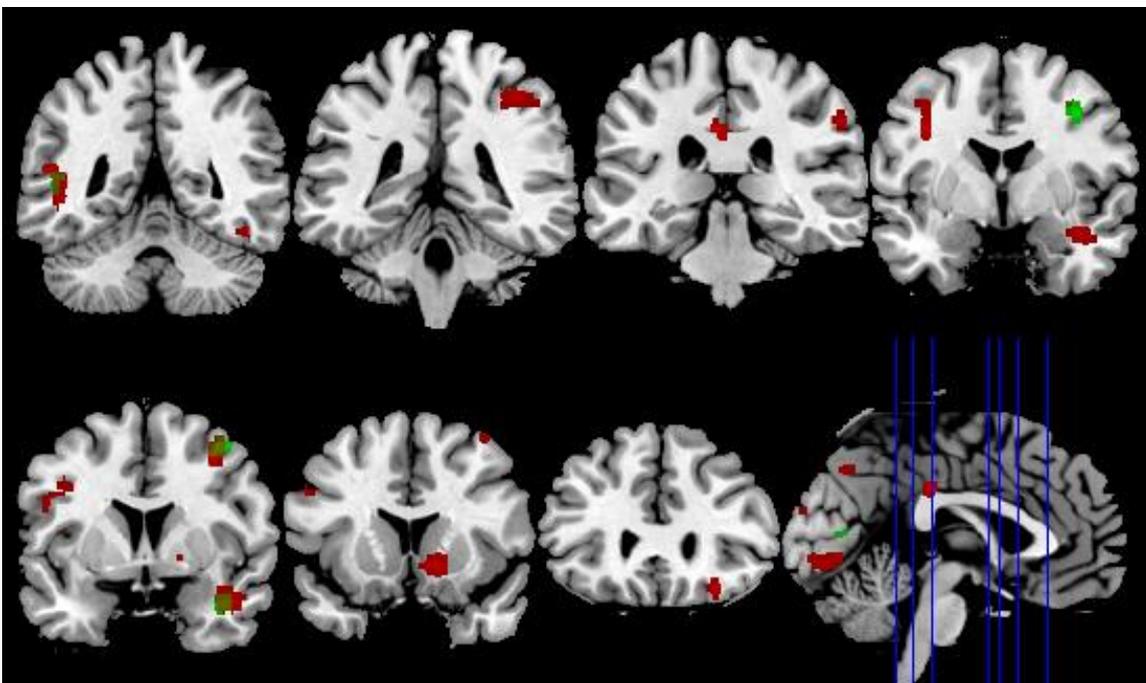
Die Ergebnisse der errechneten Korrelationen zwischen den neuropsychologischen und soziodemographischen Daten und den Skalen der ToM-Tests sowie den behavioralen Ergebnissen des *Yoni*-Paradigmas sind in Tabelle 8 dargestellt, die am Ende dieser Arbeit (s. Tabellenanhang) eingefügt ist. Nur wenige signifikante Korrelationen wurden gefunden: Das Alter der ProbandInnen korrelierte mit der Unterskala *fantasy* des SPF ( $p = 0,004$ ). Das Ergebnis des verzögerten Abrufs des RAVLT nach 30 min (A7) korrelierte mit der Kontrollbedingung des *Yoni*-Paradigmas ( $p = 0,006$ ). Das Ergebnis des Tests für lexikalische Wortflüssigkeit zeigte sowohl eine Korrelation mit der Kontrollbedingung des *Yoni*-Paradigmas ( $p = 0,002$ ) als auch mit dem Ergebnis des RMET ( $p = 0,003$ ).

Die in den Fragebögen erzielten Punktwerte wurden ebenfalls mit den ToM-Skalen und den behavioralen Ergebnissen des *Yoni*-Paradigmas korreliert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 aufgelistet, die ebenfalls im Tabellenanhang zu finden ist. Hier ergab sich lediglich eine einzelne signifikante Korrelation zwischen der Unterskala *Gesundheitsorgan* aus dem FPI und der Skala *cognitive concern* aus der Empathie-Skala ( $p = 0,01$ ).

### 3.2.2 fMRT-Daten

Der Kontrast der Aktivierungskarten der affektiven Bedingung und der Kontrollbedingung des *Yoni*-Paradigmas (aff > phy, s. Abbildung 13) zeigte signifikante Aktivierung im rechten Gyrus temporalis inferior und im rechten STS bis hin zur rechten Amygdala. In frontalen Arealen fanden sich signifikante Cluster im rechten OFC, im mittleren cingulären Kortex (MCC) links, im rechten SMA und im Gyrus precentralis und frontalis inferior links. Außerdem waren in diesem Kontrast Anteile des rechten Lobulus parietalis inferior und inferioren parietalen Kortex und der rechte Precuneus aktiviert. Letztgenanntes Cluster erstreckte sich bis hin zur linken Hemisphäre. Subkortikal fand sich eine signifikante Aktivierung im rechten Nucleus caudatus und Pallidum. Ein weiteres Cluster signifikanter Aktivierung war im linken Cerebellum lokalisiert. Alle genannten Cluster sind nach ihrer Größe geordnet in Tabelle 6 tabellarisch aufgeführt.

Kontrastierte man die kognitive Bedingung des *Yoni*-Paradigmas mit der Kontrollbedingung (kog > phy, s. Abbildung 13), ergab sich eine signifikante Aktivierung im rechten SMA und im rechten Gyrus temporalis superior bis hin zur Amygdala. Weitere signifikante Cluster waren im Lobulus parietalis superior rechts sowie im linken Gyrus temporalis medius unter Einschluss der TPJ zu sehen. Die genaue Verteilung des beschriebenen Aktivierungsmusters ist ebenfalls Tabelle 6 zu entnehmen.



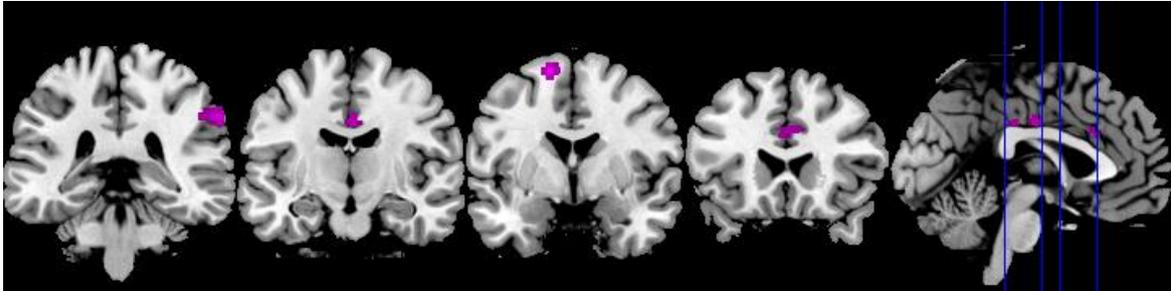
**Abbildung 13: Signifikante Aktivierung in aff und kog im Vergleich zu phy**

Lokalisation der Aktivierungscluster in der affektiven (rot) und kognitiven (grün) ToM-Bedingung jeweils kontrastiert zur Kontrollbedingung des *Yoni*-Paradigmas. Es werden die statistisch signifikanten Voxel gezeigt.  $T = 3,19$ ;  $p < 0,05$ ; Clusterschwelle = 46 Voxel.

Die blauen Linien im Sagittalschnitt unten rechts geben die Schnittebenen der koronalen Schnitte an (von okzipital nach frontal).

Der direkte Kontrast der beiden ToM-Bedingungen (aff > kog, s. Abbildung 14) zeigte ein signifikantes Cluster im inferioren parietalen Kortex (IPC) rechts, das sich bis zur TPJ erstreckte. Zusätzlich fand sich Aktivierung im ACC rechts und im MCC beidseits. Der linke Gyrus precentralis sowie umliegende Anteile des somatosensorischen Kortex zeigten in der affektiven Bedingung ebenfalls mehr Aktivierung als in der kognitiven.

Die einzelnen Cluster zeigten in der affektiven Bedingung ebenfalls mehr Aktivierung als in der kognitiven. Die einzelnen Cluster sind in Tabelle 7 aufgeführt.



**Abbildung 14: Signifikante Aktivierung im Kontrast aff > kog**

Lokalisation der Aktivierungscluster im Kontrast der affektiven im Vergleich zur kognitiven Bedingung des Yoni-Paradigmas. Es werden die Voxel mit statistisch signifikanter Aktivierung gezeigt.  $T = 3,19$ ;  $p < 0,05$ ; Clusterschwelle = 46 Voxel.

Die blauen Linien im Sagittalschnitt rechts geben die Schnittebenen der koronaren Schnitte an (von okzipital nach frontal).

Der umgekehrte Kontrast kognitive ToM über affektiver ToM (kog > aff) zeigte hingegen keine signifikanten Aktivierungscluster.

Tabelle 6: Signifikante Aktivierungscluster in aff &gt; phy und kog &gt; phy

		MNI-Koordinaten						
	Region	Hemi- sphäre	BA	x	y	z	T-Wert	Cluster- größe
<b>aff. ToM &gt; Kontrolle</b>	Gyrus temporalis inferior	R	37	46	-54	-16	4,38	294
	Gyrus precentralis und frontalis inferior	L	44/45	-38	-4	34	4,44	238
	STS bis Amygdala	R	21/22	42	4	-24	4,54	190
	Gyrus frontalis medius in SMA	R	6	36	4	52	5,30	170
	Nucleus caudatus und Pallidum	R		14	16	-8	4,23	159
	Lobulus parietalis inferior	R	2	38	-40	50	4,09	115
	Precuneus	R/L	7	8	-72	46	4,06	104
	Gyrus cinguli pars medius	L	23	-4	-28	32	5,04	72
	Inferiorer Parietalkortex	R	40	58	-32	38	4,37	66
	Orbitofrontaler Kortex	R	11	30	30	-16	4,54	56
Cerebellum	L		-10	-70	-24	4,06	51	
<b>kog. ToM &gt; Kontrolle</b>	Gyrus frontalis medius in SMA	R	6	36	4	52	4,51	125
	STS bis Amygdala	R	21/22	40	2	-26	4,20	60
	Lobulus parietalis superior	R	7	24	-64	50	3,89	58
	Gyrus temporalis medius bis TPJ	L	21	-48	-50	8	3,80	46

Für die verschiedenen errechneten Kontraste geordnet nach Clustergröße. Die Koordinaten geben jeweils das lokale Maximum im MNI-Raum an (Template des Montréal Neurological Institute). T = 3,19;  $p < 0,05$ ; Clusterschwelle = 46 Voxel. BA = Brodmann Areal, L = links, R = rechts. Cluster mit Beschränkung auf den visuellen Kortex werden nicht berichtet.

Tabelle 7: Signifikante Aktivierungscluster in aff &gt; kog

	Region	Hemi- sphäre	BA	MNI-Koordinaten			T-Wert	Cluster- größe
				x	y	z		
<b>aff. ToM &gt; kog. ToM</b>	Inferiorer Parietalkortex bis TPJ	R	40	62	-34	38	4,94	292
	SMA	L	6	-16	0	66	5,74	208
	Gyrus cinguli pars medius	R/L	24/23	2	-14	34	4,43	105
	Gyrus cinguli pars anterior	R	24	2	22	28	3,85	63
	Gyrus precentralis bis somatosensorischer Kortex	L	4/6/1	-34	-30	64	3,99	47

Für die verschiedenen errechneten Kontraste geordnet nach Clustergröße. Die Koordinaten geben jeweils das lokale Maximum im MNI-Raum an (Template des Montréal Neurological Institute). T = 3,19;  $p < 0,05$ ; Clusterschwelle = 46 Voxel. BA = Brodmann Areal, L = links, R = rechts. Cluster mit Beschränkung auf den visuellen Kortex werden nicht berichtet.

### 3.2.2.1 Korrelationen zwischen BG-Aktivierung und Verhaltensdaten

Wie oben beschrieben fand sich im Kontrast aff > phy Aktivierung in den rechtsseitigen BG. Die  $\beta$ -Gewichte für die drei Bedingungen des *Yoni*-Paradigmas aus der anatomisch definierten ROI der BG aus der *First Level*-Analyse korrelierten mit den Punktwerten in der Subskala *perspective taking* ( $p = 0,013$ ) der E-Skala. Es gab keine weiteren Korrelationen der  $\beta$ -Gewichte mit den übrigen Subskalen, dem RMET, der Zahl der richtigen Antworten im *Yoni*-Paradigma, oder den neuropsychologischen Tests.

## 4. Diskussion

Wie andere Domänen der sozialen Kognition setzt sich das Konstrukt ToM aus verschiedenen Teilprozessen zusammen und wird daher als *umbrella term* (Hynes et al., 2006) bezeichnet. Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die affektive und die kognitive Subkomponente der ToM genauer zu spezifizieren. Die Interpretation der Ergebnisse orientiert sich an den im Kapitel *Fragestellung* (2.3) formulierten Hypothesen.

### 4.1 Die neuralen Korrelate affektiver und kognitiver ToM

In Hinsicht auf die Lokalisation der signifikanten Aktivierungscluster während der ToM-Prozessierung konnte die vorliegende Studie klassische Komponenten des ToM-Netzwerkes (Carrington and Bailey, 2008) reproduzieren. So zeigten die Kontraste  $\text{aff} > \text{phy}$  und  $\text{kog} > \text{phy}$  beide Aktivierung in Teilen des Temporallappens inklusive des STS, im SMA und in parietalen Strukturen der rechten Hemisphäre. Diese Regionen wurden in anderen Bildgebungsstudien zu ToM zu ihren neuralen Korrelaten gerechnet. Der STS spielt eine wichtige Rolle bei der Wahrnehmung und Repräsentation von biologischen, d.h. potentiell sozial relevanten Bewegungen, was für eine funktionierende ToM von großer Relevanz ist. Dabei zeichnet sich ab, dass der posteriore STS eher bei Paradigmen mit bewegten Bildern aktiviert ist, wobei der anteriore STS eher bei der Verwendung statischer Bilder Aktivierung zeigt (Carrington and Bailey, 2008). In der vorliegenden Studie mit ihren unbewegten visuellen Stimuli befanden sich die Aktivierungscluster ebenfalls im anterioren STS ( $\text{aff} > \text{phy}$ :  $\gamma = 4$ ,  $\text{kog} > \text{phy}$ :  $\gamma = 2$ ). Auch das SMA wurde in einigen Studien dem ToM-Netzwerk zugeschrieben. Zurzeit wird jedoch die Abgrenzung des ToM-Netzwerkes zum Spiegelneuronensystem diskutiert, dem das SMA (auch) angehört (Van Overwalle and Baetens, 2009). Auf diese Differenzierung soll im letzten Abschnitt dieses Unterkapitels genauer eingegangen werden. Das SMA integriert verhaltensrelevante Reize aus der Umwelt und mögliche motorische Reaktionen auf diese Reize und ermöglicht somit ein externen Stimuli angepasstes Handeln und adäquates Verhalten (Karnath and Thier, 2006). Die TPJ und der parietale Kortex zeigen vor allem dann Aktivierung, wenn es um

die Attribuierung von Handlungen geht, eine Fähigkeit, die für ToM-Prozesse unabdingbar ist (Baron-Cohen, 1995).

Im Kontrast aff > phy fand sich zusätzlich zu den oben genannten Regionen Aktivierung im OFC und in den BG der rechten Hemisphäre sowie im Gyrus cinguli und im Gyrus precentralis und frontalis inferior (BA 44/45) links. Diese Regionen wurden in den meisten Studien zur neuralen Grundlage der ToM ebenfalls als zum Netzwerk zugehörig berichtet (Adolphs, 2002). Der OFC wurde als zentrales neurales Korrelat der affektiven ToM beschrieben (Hynes et al., 2006). Allgemein spielt der OFC in der sozialen Kognition eine wichtige Rolle, indem er soziale Interaktion in Hinsicht auf Belohnung bewertet und Verhalten entsprechend anpasst (Rolls, 2004). Der Beitrag der BG zu ToM-Prozessen wird im folgenden Kapitel näher besprochen. Anteriore, seltener auch posteriore Anteile des Gyrus cinguli spielen eine wichtige Rolle als neurale Korrelate der ToM (Carrington and Bailey, 2008). Sie zeigen Aktivierung, wenn Versuchspersonen anderen eine Meinung oder eine innere Einstellung zuschreiben (Vogeley et al., 2001). Für den ACC zeichnet sich eine funktionelle Dissoziation ab: Soziale Stimuli führen zu einer eher anterior gelegenen Aktivierung und rein belohnungsorientiertes Verhalten führt zu einer eher dorsal gelegenen Aktivierung innerhalb des ACC (Behrens et al., 2009). In den Brodmann-Arealen 44 und 45 scheint sich im Rahmen von ToM-Prozessen *interpersonal motor behavior* (Schulte-Ruther et al., 2007) abzuspielen, d.h. Simulationsprozesse beim Empfänger erleichtern die Entschlüsselung beobachteter sozial relevanter Gesichtsausdrücke und deren Bedeutung. Aktivierung in diesen Regionen findet man aber auch beim Erschließen der Bedeutung von Gesten oder Körperhaltung (Lawrence et al., 2006). Ein weiteres signifikantes Aktivierungscluster des Kontrastes aff > phy war im rechten parietalen Kortex lokalisiert und schloss den Precuneus mit ein. Auch diese Region ist als neurales Korrelat der ToM bekannt (Gallagher et al., 2000; Lissek et al., 2008). In seiner Übersichtsarbeit vermutete Mar, dass der Precuneus die bildlichen Vorstellungs- und Repräsentationsprozesse unterstützt, die für ToM nötig sind, um Informationen aus den anderen beteiligten Hirnregionen zu integrieren (Mar, 2011). Eine Beteiligung des parietalen Kortex bei ToM-Prozessen wurde ebenfalls von Rizzolatti und Sinigaglia berichtet (Rizzolatti and Sinigaglia, 2010), die den fronto-parietalen Spiegel-

neuronenschaltkreis beschrieben. Interessanterweise befand sich in der vorliegenden Studie im Kontrast  $\text{aff} > \text{phy}$  auch ein signifikantes Cluster im linken Cerebellum. Mehrere AutorInnen beschrieben ebenfalls eine Beteiligung des Cerebellums an ToM-Prozessen. Brunet und KollegInnen berichteten einen Anstieg des regionalen cerebralen Blutflusses im linken Cerebellum in einer PET-Studie (Positronen-Emissions-Tomographie) zu ToM (Brunet et al., 2000), Abel und KollegInnen beschrieben ToM-Defizite bei PatientInnen mit isolierter cerebellärer Degeneration (Abel et al., 2007) und Roldan Gerschovich und KollegInnen berichteten ToM-Defizite nach cerebellären Infarkten (Roldan Gerschovich et al., 2011). Welche Rolle das Cerebellum bei Prozessen der sozialen Kognition genau spielt, ist jedoch bisher noch ungeklärt.

Im direkten Kontrast  $\text{aff} > \text{kog}$  zeigte sich Aktivierung in der TPJ und im cingulären Kortex der rechten Hemisphäre sowie im linken SMA.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterstützen die Vermutung, dass ToM-Prozesse auf einem *core network* (Carrington and Bailey, 2008; Völlm et al., 2006), einem Kernnetzwerk an Hirnregionen basieren, das unabhängig von der Differenzierung in affektive und kognitive ToM rekrutiert wird. Die affektive und die kognitive ToM-Subkomponente scheinen demnach auf eine gemeinsame neurale Grundlage zurückzugreifen, sie können aber andererseits auch auf neuroanatomischer Ebene differenziert werden. Die vorgestellten Ergebnisse weisen darauf hin, dass die affektive im Vergleich zur kognitiven ToM zusätzliche Regionen rekrutiert. Diese Regionen befanden sich übereinstimmend mit bisherigen Studien (Hynes et al., 2006; Shamay-Tsoory et al., 2006; Kalbe et al., 2007). vor allem in medialen Anteilen des Frontalhirns.

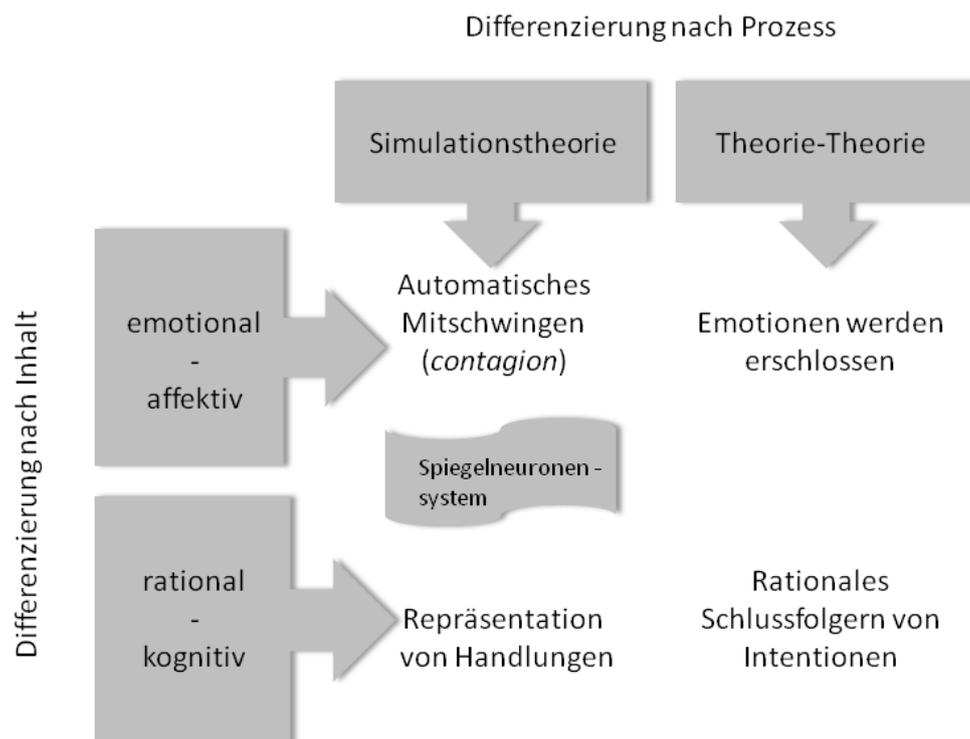
Bahnemann und KollegInnen differenzierten Aktivierung im temporoparietalen Kortex nach der Art der prozessierten Inhalte (Bahnemann et al., 2010). Laut ihrer Darstellung ist der rechte STS allgemeines neurales Korrelat für die Prozessierung visuell-räumlicher Informationen im Rahmen von Bewegungsbeobachtung, aber auch im Rahmen von ToM und moralischen Bewertungen. Je komplexer und sozial relevanter die Stimuli werden, desto eher findet sich zusätzlich im linken posterioren STS und in der TPJ beidseits Aktivierung. Eine Aktivierung in der linken TPJ fand sich in der

vorliegenden Studie nur im Kontrast kog > phy. Die kognitive Bedingung hat sich auch auf Verhaltensebene als die am schwierigsten lösbare Bedingung des *Yoni*-Paradigmas herausgestellt. Somit weisen sowohl die erhobenen fMRT- als auch die Verhaltensdaten darauf hin, dass die kognitive Bedingung des *Yoni*-Paradigmas die größte Komplexität aufweist.

Van Overwalle und Baetens betonten in einer Metaanalyse, dass zum Verständnis von Handlungen anderer sowohl das Spiegelneuronensystem als auch das ToM-Netzwerk benötigt werden (Van Overwalle and Baetens, 2009). Das Spiegelneuronensystem, bestehend aus dem anterioren intraparietalen Sulcus und dem prämotorischen Kortex, ist bei der Beobachtung von Bewegung, aber auch bei der Detektion der zugrunde liegenden Handlungsintention aktiviert. Das ToM-Netzwerk bietet eine Basis, die Rückschlüsse auf abstraktere Handlungsabsichten zulässt. Es tritt dann in Aktion, wenn nicht bloße Bewegungen von Körperteilen beobachtet werden, sondern z.B. Intentionen aufgrund von abstrakteren Hinweisen erschlossen werden müssen. Solche Hinweise können eine Blickrichtung, semantische Information, ein Gesichtsausdruck oder Wissen über eine Situation als Ganzes sein. Die enge Vernetzung der beiden Systeme darf gerade im Hinblick auf die Differenzierung der ToM in eine affektive und eine kognitive Komponente nicht vernachlässigt werden.

Es ist bereits darauf hingewiesen worden, dass die Theorie-Theorie bzw. die Simulationstheorie als korrespondierende Mechanismen für die verschiedenen Teilprozesse der ToM herangeführt werden. Mehrere AutorInnen haben den beiden Theorien die affektive bzw. kognitive ToM-Subkomponente zugeschrieben (Kalbe et al., 2007) und Mitchell und KollegInnen brachten die beiden Theorien mit ToM-Prozessen in Verbindung, bei denen es um ähnliche bzw. einem selbst fremde Gegenüber geht (Mitchell et al., 2006). Allen gemeinsam ist das Bestreben, Theorien und Prozesse zu einer umfassenden ToM-Theorie zusammenzubringen. Mitunter geschieht diese Differenzierung jedoch auf verschiedenen Ebenen. Es wird zum einen aufgrund der ToM-Inhalte (Was wird erschlossen? Gefühle oder Gedanken?), zum anderen aber auch aufgrund der ToM-Prozesse als solche (Wie wird erschlossen? Emotionales Nachempfinden oder rationales Erschließen?) unterschieden. Es ist

möglich, dass beide Arten der Differenzierung ihre Berechtigung haben. Man muss sich jedoch die Vielschichtigkeit des Konstruktes ToM und seiner möglichen Unterteilungen vor Augen halten, um die gegenwärtige Debatte zu verstehen. In Abbildung 15 sind die verschiedenen Ebenen schematisch veranschaulicht.



**Abbildung 15: Mögliche Gliederungen des Konstruktes ToM**

Nach einer Grafik von Bodden, 2011

Die Einzelprozesse der ToM sind immer integrativ zu verstehen, egal, auf welche Weise man ToM auch unterteilen mag. Wahrscheinlich unterscheiden sich die für ToM-Prozesse angewendeten Strategien auch interindividuell (Schulte-Ruther et al., 2010). Es ist denkbar, dass manche Menschen bei ToM-Prozessen eher auf Simulation und andere eher auf rationales Erschließen zurückgreifen. So kann ToM auch bis zu einem gewissen Grad erlernt werden, wie z.B. im Falle von PatientInnen mit Asperger-Syndrom (Frith, 2004), einer Erkrankung aus dem Autismusspektrum. Um diese Hypothese und das Verhältnis der beiden ToM-Subkomponenten zueinander empirisch zu untersuchen, ist die Durchführung weiterer Studien notwendig. Hierbei wäre es

auch sinnvoll, z.B. Frauen und Männer bzw. Kinder und Erwachsene im Hinblick auf die eingesetzten ToM-Strategien zu vergleichen (Carrington and Bailey, 2008). Shamay-Tsoory hat außerdem vorgeschlagen, zu diesem Zweck Variablen in verschiedenen Stichproben zu variieren wie z.B. vorausgegangene Erfahrungen oder die Beziehung zum Protagonist des eingesetzten Paradigmas.

## 4.2 Die Rolle der Basalganglien bei ToM-Prozessen

Interessanterweise zeigte sich im Kontrast aff > phy eine signifikante Aktivierung in den BG rechts, lokalisiert im Nucleus caudatus und im Pallidum. Die Beteiligung der BG an ToM-Prozessen wurde bereits diskutiert (Bodden et al., 2010a). Alegre und KollegInnen berichteten ebenfalls über die Zugehörigkeit der BG zum ToM-Netzwerk in einer Studie, die PatientInnen mit IPS untersuchte (Alegre et al., 2010), einer Erkrankung, in der ToM-Defizite häufig auftreten, wie im Kapitel *ToM bei Idiopathischem Parkinsonsyndrom* (2.2.1) beschrieben (Bodden et al., 2010b). Auch bei atypischen Parkinson-Syndromen (O'Keefe et al., 2007) und Morbus Huntington (Snowden et al., 2003) wurden Einschränkungen der ToM-Fähigkeit beobachtet. Unterschiedliche Erkrankungen, die die BG betreffen, scheinen somit mit ToM-Defiziten einherzugehen. Adolphs schlug vor, dass die Beobachtung affektiver Gemütszustände bei anderen eine Spiegelung, d.h. eine Simulation beim Betrachter, evoziert, wobei die BG beteiligt sind (Adolphs, 2002). Dies könnte die bei BG-Erkrankungen auftretenden ToM-Defizite erklären. Die Aktivierung der BG bei affektiver ToM könnte auf ihr Mitwirken bei der Emotionserkennung und dem Erschließung von Gesichtsausdrücken zurückzuführen sein (Assogna et al., 2008). Wahrscheinlicher ist jedoch, dass die BG bei der Simulation im Rahmen der affektiven ToM die motorische Komponente beisteuern, die für einen Simulationsprozess notwendig zu sein scheint. Den Vorschlägen von Overwalle und Baetens zufolge sind die BG hauptsächlich an der Erschließung mentaler Zustände durch Simulation von Emotionen beteiligt (Van Overwalle and Baetens, 2009). Ergänzend dazu gibt es eine explizitere ToM, die höherrangige kognitive Prozesse erfordert. Das Spiegeln oder Simulieren mentaler Zustände wird hauptsächlich mit der affektiven ToM-Komponente in Zusammenhang gebracht. Die explizitere ToM wiederum kommt der kognitiven ToM-Komponente sehr nahe. Da die Aktivierung der

BG in der vorliegenden Studie in der affektiven (aff > phy), jedoch nicht in der kognitiven (kog > phy) ToM-Bedingung auftrat, kann sie diese Hypothese stützen. Um dies jedoch zu belegen, sind funktionelle Bildgebungsstudien nötig, die die beiden ToM-Subkomponenten bei PatientInnen mit BG-Erkrankungen untersuchen.

Die aus der anatomisch definierten ROI der BG extrahierten  $\beta$ -Gewichte korrelierten mit der SPF-Subskala *perspective taking*. Diese Skala ist mit dem Ziel der Erfassung kognitiver Empathieaspekte konzeptualisiert und misst *the tendency to spontaneously adopt the psychological point of the view of others* (Davis, 1983). Zwar soll die Skala kognitive Aspekte erfassen, jedoch bezogen sich die AutorInnen bei der Entwicklung eher auf den Oberbegriff der Empathie und nicht auf den der ToM. Vor dem Hintergrund, dass ToM zum Teil unter kognitiver Empathie subsumiert wird (Shamay-Tsoory, 2010), ist die gefundene Korrelation stimmig. Außerdem hebt die Umschreibung der Skala auf die Spontaneität der Perspektivübernahme ab. Dies ist ein Attribut, das eher der affektiven ToM zugeschrieben wird, da sie vermutlich über das Spiegelneuronensystem unmittelbarer abläuft als die kognitive ToM. Es scheint also ein Zusammenhang zu bestehen zwischen der Aktivität in den Basalganglien und einer spontanen Bereitschaft, sich in eine andere Person hineinzusetzen. Shamay-Tsoory und KollegInnen berichteten ähnlich wie in den hier vorgestellten Ergebnissen eine Korrelation zwischen der Subskala *perspective taking* und der affektiven Bedingung des *Yoni*-Paradigmas (Shamay-Tsoory and Aharon-Peretz, 2007).

### 4.3 ToM und ihr Bezug zu anderen Domänen

Die dritte Fragestellung, der diese Studie nachging, bezog sich auf die Zusammenhänge zwischen der ToM-Fähigkeit und den erhobenen Verhaltensmaßen. Trotz Durchführung einer umfangreichen neuropsychologischen Testbatterie wurden nur vereinzelte Korrelationen gefunden.

Das Alter der ProbandInnen korrelierte mit der Unterskala *fantasy* des SPF. Die Skala erfasst die Tendenz, sich in die Gefühle von Figuren in Romanen oder Filmen zu versetzen und stellt somit auch ein Maß zur Stärke von Emotionalität dar. Dieser

Zusammenhang wurde, soweit es aus der Literatur ersichtlich ist, bisher in keiner anderen Studie gefunden, was daran liegen kann, dass häufig mit Kontrollgruppen gearbeitet wird, die dem Alter der zu untersuchenden Gruppe entsprechend angepasst wurden. Shamay-Tsoory und KollegInnen, die den SPF bzw. die englische Originalversion IRI in ihren Studien häufig einsetzten, wiesen jedoch explizit darauf hin, dass demografische Variablen nicht mit Empathie-Skalen korrelieren (Shamay-Tsoory and Aharon-Peretz, 2007). Da in der vorliegenden Studie auch lediglich eine geringe Altersspanne untersucht wurde (20 bis 30 Jahre), lässt sich letztendlich an dieser Stelle keine valide Aussage über die dargestellte Korrelation treffen. Hier wäre eine longitudinale Studie zur Analyse der ToM-Leistungen notwendig gewesen.

Der Zusammenhang zwischen ToM und exekutiven Funktionen wird gegenwärtig kontrovers diskutiert (Siegal and Varley, 2002; Stone and Gerrans, 2006). Beide Bereiche können unabhängig voneinander geschädigt sein (Bird et al., 2004), in mehreren Studien wurde jedoch auch auf eine gegenseitige Abhängigkeit der Domänen hingewiesen (Pickup, 2008; Saltzman et al., 2000). In der vorliegenden Studie fand sich eine signifikante Korrelation zwischen einem Test für Exekutivfunktionen und einer ToM-Skala, nämlich zwischen der lexikalischen Wortflüssigkeit und dem RMET. Ergebnisse verschiedener ToM-Skalen wurden immer wieder mit der Leistung in Wortflüssigkeitstests in Verbindung gebracht (Ahmed and Stephen Miller, 2011; Woodward et al., 2009). Woodward und KollegInnen vermuteten, dass ein genaues Erörtern möglicher Antworten bzw. Konsequenzen für ToM-Aufgaben genauso wichtig ist wie für Wortflüssigkeitstests.

Die lexikalische Wortflüssigkeit korrelierte ebenfalls mit der Kontrollbedingung des *Yoni*-Paradigmas. Auch das Ergebnis des verzögerten Abrufs des RAVLT nach 30 min korrelierte mit dieser Bedingung. Hier scheint sich abzuzeichnen, dass gute Leistungen in allgemein wichtigen Domänen der Kognition wie den Exekutivfunktionen und dem episodischen Gedächtnis die Lösung der Kontrollbedingung des *Yoni*-Paradigmas erleichtern. Dies macht insofern Sinn, als diese Bedingung eine Logikaufgabe im eigentlichen Sinne darstellt, die gewisse kognitive Anforderungen voraussetzt.

Vergleichbare Ergebnisse aus anderen Studien, die mit demselben Paradigma gearbeitet haben, sind nicht bekannt.

Aus den eingesetzten Fragebögen korrelierte lediglich die Unterskala *Gesundheitssorgen* aus dem FPI mit der Skala *cognitive concern* aus der Empathie-Skala ( $p = 0,01$ ). Die Konzeptualisierung der Skala *Gesundheitssorgen* wird beschrieben als *Sorgen über mögliche Erkrankungen und Ansteckung; Tendenz zur hypochondrischen Beachtung möglicher Krankheitszeichen; Zweifel an ärztlicher Kompetenz; Streben nach "gesunder" Lebensweise; Schonhaltung*. Die Skala *cognitive concern* wird umschrieben als *a person's care with regard to the perception of other people's concrete social and emotional problems; the observer reacts immediately and emotionally to specific emotionally relevant situations and tends to analyze these situations cognitively* (Leibetseder et al., 2007). Es scheint demnach ein Zusammenhang zu bestehen zwischen der Aufmerksamkeit, die man dem eigenen Körper und der Aufmerksamkeit, die man den Sorgen anderer Personen zuteil werden lässt. Vor dem Hintergrund der Debatte um die Rolle der Simulation bei ToM-Prozessen ist dies ein interessantes Ergebnis, denn eine Person simuliert der Natur der Sache gemäß das, was in ihrem eigenen Repertoire an Handlungs- und Verhaltensmustern vorhanden ist (Liepelt et al., 2008). Simulationsprozesse werden zwar eher in Hinsicht auf die affektive ToM diskutiert, die Skala *cognitive concern* beinhaltet jedoch neben kognitiven ebenso affektive Aspekte, wie man der obigen Umschreibung entnehmen kann.

Im Hinblick auf die wenigen in dieser Studie gefundenen Korrelationen lässt sich die Hypothese bestärken, dass ToM eine von anderen kognitiven Fähigkeiten und Persönlichkeitsmaßen weitgehend unabhängige Domäne darstellt. Diese Schlussfolgerung ist im Einklang mit zahlreichen Studien, die soziale Kognition im Allgemeinen und ToM im Speziellen ebenso als von neurokognitiven Funktionen unabhängige Domänen beschreiben (Van Hooren et al., 2008; Pinkham et al., 2003).

#### 4.4 Vergleich mit anderen Paradigmen

Jenkins und Mitchell stellten fest, dass die meisten ToM-Paradigmen, die Überzeugungen oder Intentionen anderer abfragen, also eher kognitive ToM-Inhalte, sehr eindeutig gestellt sind (Jenkins and Mitchell, 2010). Typische affektive ToM-Aufgaben seien hingegen nicht so eindeutig zu lösen. Die AutorInnen berichteten vermehrte Aktivierung im MPFC bei mehrdeutig gestellten, unter Unsicherheit zu lösenden ToM-Bedingungen. Mediale Anteile des präfrontalen Kortex werden, wie im Kapitel *Affektive und kognitive ToM* (2.1.2) dargestellt, meist mit affektiven ToM-Inhalten assoziiert. Der MPFC ist ebenso aktiviert bei Gedächtnisprozessen, die das Selbst betreffen, bzw. bei Einnahme einer Erste-Person-Perspektive. Die AutorInnen vermuteten daher, dass bei komplexeren, nicht eindeutig zu lösenden ToM-Aufgaben eher auf Simulationsprozesse zurückgegriffen wird. Auch Hynes und KollegInnen wiesen darauf hin, dass mehr Freiheitsgrade bei einer zu treffenden Entscheidung häufig mit Aktivierung im OFC einhergehen (Hynes et al., 2006). Unterscheiden sich also affektive und kognitive ToM nicht inhaltlich, sondern nur hinsichtlich der möglichen Lösungen, d.h. hinsichtlich ihrer Komplexität?

Diese Hypothese kann die vorliegende Studie nicht stützen, denn sie unterscheidet sich von bisher durchgeführten Arbeiten zur Differenzierung der neuralen ToM-Korrelate (Hynes et al., 2006; Völlm et al., 2006) v.a. in der Art des eingesetzten Paradigmas. Im Gegensatz zu anderen Paradigmen setzt sich das *Yoni*-Paradigma aus drei in hohem Maße vergleichbaren Bedingungen zusammen. Dies gilt insbesondere für die fMRT-Version des Paradigmas. Die Bedingungen unterschieden sich lediglich im verwendeten Verb (aff: *Yoni mag...*, kog: *Yoni denkt an...*, phy: *Yoni hat...*) und in der Form von *Yonis* Mund. Der übrige Inhalt der visuellen Stimuli sowie der Aufbau der jeweils 20 Items pro Bedingung waren weitestgehend identisch. Doch obwohl die Unterschiede minimal waren, werden anhand dieses Paradigmas unterschiedliche Aktivierungsmuster für die errechneten Kontraste gefunden. Dies legt den Schluss nahe, dass die Unterschiede im Aktivierungsmuster auf die beschriebenen kleinen Abweichungen in der Itemkonstruktion zurückzuführen sind.

Bei kritischer Betrachtung der Stimuli des *Yoni*-Paradigmas ließe sich einwenden, dieses simplifizierende Paradigma sei vermutlich kaum in der Lage, so hoch entwickelte menschliche Fähigkeiten wie ToM abzubilden. Nichtsdestoweniger wurde das Paradigma erfolgreich in Verhaltensstudien (Shamay-Tsoory et al., 2005b), rTMS- (Kalbe et al., 2009) und Läsionsstudien (Shamay-Tsoory et al., 2005a; Shamay-Tsoory et al., 2006; Shamay-Tsoory and Aharon-Peretz, 2007) zur Differenzierung von affektiver und kognitiver ToM eingesetzt. Tatsächlich liegt die Stärke des *Yoni*-Paradigmas in seiner Einfachheit. Es kann präzise definiert werden, was nötig ist, um die *Yoni*-Items zu lösen: Es ist die Fähigkeit, verschiedene im sozialen Kontext wichtige Signale zu integrieren. Diese Signale sind im Einzelnen sprachliche Hinweise (der Satz am oberen Bildrand), Gesichtsausdruck (die Mundform) und Blickrichtung. Diese Signale werden auch für komplexe ToM-Prozesse als maßgebliche Aspekte betrachtet (Frith and Frith, 2006).

#### 4.5 Limitationen

Da die Stichprobe der vorliegenden Studie hauptsächlich aus Studierenden bestand und in Bezug auf das Alter und den Bildungsgrad nur eine geringe Spanne abgebildet hat, handelte es sich hierbei um eine sehr homogene Studienpopulation. Für die Interpretation der Ergebnisse folgt daraus, dass man sie nur eingeschränkt verallgemeinern kann. Dies wird auch dann wichtig, wenn im Anschluss an diese Studie Patientenkollektive von z.B. Parkinson- oder EpilepsiepatientInnen mit demselben Paradigma untersucht werden. In einem solchen Fall muss klar sein, dass die hier vorliegende Studienpopulation nicht nach epidemiologischen Kriterien ausgewählt wurde und nur unter bestimmten Voraussetzungen als Kontrollgruppe herangezogen werden kann.

Ein anderer Nachteil der vorliegenden Studie ist, dass sich die fMRT nicht eignet, um die weiße Substanz funktionell abzubilden. Um dies zu erreichen, müssen andere Bildgebungstechniken wie zum Beispiel DTI (Diffusion Tensor Imaging) zum Einsatz kommen. Dies wäre ergänzend insbesondere deshalb sinnvoll, weil ToM auf einem Netzwerk sowohl kortikaler als aber auch subkortikaler Strukturen basiert. Eine

einfache Kartierung von Gehirnarealen ist letztendlich unzureichend, da man sich diese Areale immer im Zusammenspiel als Netzwerke denken muss. Zur Analyse der Netzwerke sind auch Konnektivitätsanalysen im Rahmen von fMRT-Studien sicherlich sinnvoll und können weitere Erkenntnisse über die genaue Beschaffenheit Netzwerke liefern.

Die räumliche Auflösung der fMRT liegt bei bis zu einem Millimeter, die zeitliche Auflösung bei weniger als einer Sekunde. Dies sind recht zufriedenstellende Charakteristika einer funktionellen Bildgebungstechnik; sie sind aber nicht gut genug, um neurale Prozesse wirklichkeitsgetreu abzubilden (Vogelsey and Fink, 2007).

Eine weitere Einschränkung der fMRT besteht darin, dass sie eine indirekte Methode darstellt, die immer nur eine Aussage über eine Mehraktivierung in einer Bedingung im Kontrast zu einer anderen Bedingung machen kann. Daher kann eine „signifikante Aktivierung“ im imaginären Kontrast  $x > y$  auch bedeuten, dass der BOLD-Effekt in der Bedingung  $y$  im Vergleich zu  $x$  signifikant vermindert ist. Außerdem ist bisher ungeklärt, inwieweit die involvierten Gehirnregionen des ToM-Netzwerkes spezialisiert sind und was deren Funktion bei der ToM-Prozessierung genau ist. Um diese Punkte zu klären sind Forschungsansätze nötig, die mathematische Verhaltensmodelle mit funktionellen Daten kombinieren (Behrens et al., 2009).

In der vorliegenden Studie wurde ein Paradigma im *event-related design* eingesetzt. Dies bringt nicht nur Vorteile, da z.B. die Sensitivität in einem *block design* durch Aufsummierung von BOLD-Antworten auf direkt hintereinander folgende Stimuli höher liegen kann (Friston et al., 1999). Mit einem *block design* hätten also eventuell stärkere Aktivierungen im fMRT detektiert werden können.

## 4.6 Schlussfolgerung

In Bezugnahme auf die im Kapitel 2.3 formulierte *Fragestellung* für die vorliegende Studie gibt es drei Hauptergebnisse:

Finden sich in einer gesunden Stichprobe Unterschiede zwischen den neuronalen Korrelaten affektiver und kognitiver ToM unter Anwendung der für das fMRT angepassten Version des Yoni-Paradigmas?

**Die affektive und die kognitive ToM können mit der fMRT-Version des Yoni-Paradigmas auf neuraler Ebene differenziert werden. Die affektive ToM rekrutiert im Vergleich zur kognitiven ToM zusätzliche Regionen, die hauptsächlich in medialen Anteilen des Frontalhirns lokalisiert sind.**

Findet sich bei der Bearbeitung des Yoni-Paradigmas Aktivierung in den Basalganglien (BG)? Korreliert die Stärke der Aktivierung in den BG mit Skalen zur Erfassung der ToM-Fähigkeit?

**In der vorliegenden Studie ist gezeigt worden, dass die Basalganglien in der Prozessierung affektiver ToM involviert sind. Die aus der anatomisch definierten ROI der BG extrahierten  $\beta$ -Gewichte korrelierten mit der SPF-Subskala *perspective taking*.**

Gibt es auf Verhaltensebene Zusammenhänge zwischen neuropsychologischen Domänen, soziodemografischen Parametern oder Persönlichkeits- und Gesundheitsmaßen und der ToM-Fähigkeit?

**Die dargestellten Ergebnisse liefern weitergehende Evidenz dafür, dass die ToM-Fähigkeit eine von anderen Domänen weitgehend unabhängige Funktion ist.**

## 5. Abstract

Theory of Mind (ToM) is the ability to infer other people's mental states such as desires, intentions and beliefs. It constitutes a crucial prerequisite for many forms of social interaction and is impaired in various psychiatric and neurological diseases. ToM can be differentiated into affective (i.e. empathising the feelings of another person) and cognitive (i.e. inferring the mental state of the counterpart) subcomponents. While affective ToM abilities mainly seem to be mediated by the ventromedial prefrontal cortex, current research suggests that cognitive ToM abilities are associated with more lateral, in particular, dorsolateral prefrontal regions. Recently, the basal ganglia (BG) are also ascribed to ToM. The multifaceted concept ToM inspires varied research investigating its neural underpinnings but few studies compare affective and cognitive ToM directly using functional imaging approaches of the brain.

In order to specify the neural correlates of affective and cognitive ToM as well as the involvement of the BG, an adapted fMRI-version of the *Yoni* paradigm by Shamay-Tsoory and colleagues was applied. It contained an affective (aff) and cognitive (kog) ToM condition as well as a control condition (phy) and consisted of 60 highly comparable visual stimuli (20 in each condition). The items were shown for 6 sec and intermitted by a jittered fixation cross (from 3.5 to 4.3 sec, mean: 3.9 sec). Participants were asked to infer either the cognitive or affective mental state of the main character named *Yoni* whereas the control condition did not require any mental state inferences. 30 healthy right-handed participants (15 women, 15 men, mean age =  $25.3 \pm 2.5$  years) underwent event-related fMRI scanning (1.5 T, TE = 50 msec, TR = 3000 msec), neuropsychological testing and filled in several questionnaires regarding general health and personality traits. In addition, three ToM tests were applied. Statistical analysis was conducted using SPM 5 and 8 for the functional imaging data and SPSS version 18 for the behavioural data.

In both the contrasts, aff > phy and kog > phy, activation was found in regions previously ascribed to the ToM network, namely parts of the temporal lobe including the superior temporal sulcus, the supplementary motor area and parietal structures of

the right hemisphere. The contrast  $\text{aff} > \text{phy}$  yielded additional activation in the orbitofrontal cortex on the right and the cingulate cortex, the precentral and inferior frontal gyrus on the left. Interestingly the right BG were recruited as well. Additional clusters of this contrast were located within the right parietal cortex including the precuneus and in the left cerebellum. The direct contrast  $\text{aff} > \text{kog}$  showed activation in the temporoparietal junction and the cingulate cortex on the right as well as in the left supplementary motor area. The reverse contrast  $\text{kog} > \text{aff}$  however did not yield any significant clusters.

The contrast  $\text{aff} > \text{phy}$  revealed activation in the caudate nucleus and the pallidum of the right hemisphere.  $\beta$ -values derived from the anatomically defined region of interest of the BG correlated with the subscale *perspective taking* from the Interpersonal Reactivity Index.

In spite of detailed neuropsychological testing and the application of several questionnaires only sporadic correlations between measures of ToM abilities and the collected behavioral data were found.

The results of this study support the hypothesis that the neural correlates of affective and cognitive ToM subcomponents partly share neural correlates but can also be differentiated on an anatomical level. Affective ToM seems to recruit more regions than cognitive ToM and - consistent with previous research - more medial parts of the frontal cortex. Regions previously described as representing the ToM network were implicated in the present study. Furthermore, the BG seem to be involved in affective ToM possibly providing a motor component of simulation processes. The scarcity of correlations found between ToM and other cognitive measures or personality traits supports the hypothesis that ToM is a largely independent domain of social cognition. The investigation of the subcomponents of ToM helps to achieve a more detailed understanding of this complex construct that seems to comprise very different abilities.

## Literaturverzeichnis

- Abel, C.G., Stein, G., Galarregui, M., Garretto, N., Mangone, C., Genovese, O., Allegri, R.F., Sica, R.E. (2007). Social cognition and theory of mind assessment in non-demented patients with isolated cerebellar degeneration. *Arq Neuropsiquiatr* 65 (2A): 304-312.
- Adolphs, R. (1999). Social cognition and the human brain. *Trends Cogn Sci* 3 (12): 469-479.
- Adolphs, R. (2001). The neurobiology of social cognition. *Curr Opin Neurobiol* 11 (2): 231-239.
- Adolphs, R. (2002). Neural systems for recognizing emotion. *Curr Opin Neurobiol* 12 (2): 169-177.
- Adolphs, R. (2003). Cognitive neuroscience of human social behaviour. *Nat Rev Neurosci* 4 (3): 165-178.
- Aguirre, G.K., Zarahn, E., D'Esposito, M. (1998). The variability of human, BOLD hemodynamic responses. *Neuroimage* 8 (4): 360-369.
- Ahmed, F.S., Stephen Miller, L. (2011). Executive Function Mechanisms of Theory of Mind. *J Autism Dev Disord.* 41 (5) 667-678.
- Alegre, M., Rodríguez-Oroz, M.C., Valencia, M., Pérez-Alcázar, M., Guridi, J., Iriarte, J., Obeso, J.A., Artieda, J. (2010). Changes in subthalamic activity during movement observation in Parkinson's disease: Is the mirror system mirrored in the basal ganglia? *Clin Neurophysiol* 121 (3): 414-425.
- Ammerlaan, E.J., Hendriks, M.P., Colon, A.J., Kessels, R.P. (2008). Emotion perception and interpersonal behavior in epilepsy patients after unilateral amygdalohippocampectomy. *Acta Neurobiol Exp (Wars)* 68 (2): 214-218.
- Aschenbrenner, S., Tucha, O., Lange, K.W. RWT Regensburger Wortflüssigkeits-Test. Hogrefe: Göttingen, 2000.
- Assogna, F., Pontieri, F.E., Caltagirone, C., Spalletta, G. (2008). The recognition of facial emotion expressions in Parkinson's disease. *Eur Neuropsychopharmacol* 18 (11): 835-848.
- Bahnemann, M., Dziobek, I., Prehn, K., Wolf, I., Heekeren, H.R. (2010). Sociotopy in the temporoparietal cortex: common versus distinct processes. *Soc Cogn Affect Neurosci* 5 (1): 48-58.
- Baron-Cohen, S. Mindblindness: An Essay on Autism and Theory of Mind. MIT Press: Cambridge, 1995.

- Baron-Cohen, S. (1997). Hey! It was just a joke! Understanding propositions and propositional attitudes by normally developing children and children with autism. *Isr J Psychiatry Relat Sci* 34 (3): 174-178.
- Behrens, T.E., Hunt, L.T., Rushworth, M.F. (2009). The computation of social behavior. *Science* 324 (5931): 1160-1164.
- Bird, C.M., Castelli, F., Malik, O., Frith, U., Husain, M. (2004). The impact of extensive medial frontal lobe damage on 'Theory of Mind' and cognition. *Brain* 127 (4): 914-928.
- Bodden, M. Affektive und kognitive Theory of Mind-Leistungen bei Patienten mit Basalganglien-Erkrankungen. *Fachbereich Psychologie, Philipps-Universität Marburg*. Philipps-Universität Marburg: Marburg, 2011.
- Bodden, M.E., Dodel, R., Kalbe, E. (2010a). Theory of mind in Parkinson's disease and related basal ganglia disorders: a systematic review. *Mov Disord* 25 (1): 13-27.
- Bodden, M.E., Mollenhauer, B., Trenkwalder, C., Schimke, N., Eggert, K.M., Unger, M.M., Oertel, W.H., Kessler, J., Dodel, R., Kalbe, E. (2010b). Affective and cognitive Theory of Mind in patients with Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord* 16 (7): 466-470.
- Breitenstein, C., van Lancker, D., Daum, I., Waters, C.H. (2001). Impaired perception of vocal emotions in Parkinson's disease: influence of speech time processing and executive functioning. *Brain Cogn* 45 (2): 277-314.
- Brunet, E., Sarfati, Y., Hardy-Bayle, M.C., Decety, J. (2000). A PET investigation of the attribution of intentions with a nonverbal task. *Neuroimage* 11 (2): 157-166.
- Bullinger, M. (1996). Assessment of health related quality of life with the SF-36 Health Survey. *Rehabilitation (Stuttg)* 35 (3): 17-29.
- Buxton, R.B., Wong, E.C., Frank, L.R. (1998). Dynamics of blood flow and oxygenation changes during brain activation: the balloon model. *Magn Reson Med* 39 (6): 855-864.
- Bölte, S. Reading the Mind in the Eyes Test für Erwachsene (dt. Fassung) von S. Baron-Cohen. J.W. Goethe-Universität Frankfurt/M., 2005.
- Caballol, N., Marti, M.J., Tolosa, E. (2007). Cognitive dysfunction and dementia in Parkinson disease. *Mov Disord* 22 Suppl 17: 358-366.
- Carrington, S.J., Bailey, A.J. (2010). Are there theory of mind regions in the brain? A review of the neuroimaging literature. *Hum Brain Mapp* 30 (8): 2313-2335.
- Davis, M.H. (1983). Measuring Individual Differences in Empathy: Evidence for a Multidimensional Approach. *J Pers Soc Psychol* 44 (1): 113-126.

- Eickhoff, S.B., Stephan, K.E., Mohlberg, H., Grefkes, C., Fink, G.R., Amunts, K., Zilles, K. (2005). A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. *Neuroimage* 25 (4): 1325-1335.
- Fahrenberg, J., Hampel, R., Selg, H. Das Freiburger Persönlichkeit-Inventar. FPI-R. 4. rev. Aufl. Hogrefe: Göttingen, 1984.
- Fett, A.K., Viechtbauer, W., Dominguez, M.D., Penn, D.L., van Os, J., Krabbendam, L. (2010). The relationship between neurocognition and social cognition with functional outcomes in schizophrenia: A meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev* 35 (3): 573-588.
- Friston, K.J., Zarahn, E., Josephs, O., Henson, R.N., Dale, A.M. (1999). Stochastic designs in event-related fMRI. *Neuroimage* 10 (5): 607-619.
- Frith, U., Frith, C.D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 358 (1431): 459-473.
- Frith, U. (2004). Emanuel Miller lecture: confusions and controversies about Asperger syndrome. *J Child Psychol Psychiatry* 45 (4): 672-686.
- Frith, C.D., Frith, U. (2006). The neural basis of mentalizing. *Neuron* 50 (4): 531-534.
- Gallagher, H.L., Happe, F., Brunswick, N., Fletcher, P.C., Frith, U., Frith, C.D. (2000). Reading the mind in cartoons and stories: an fMRI study of 'theory of mind' in verbal and nonverbal tasks. *Neuropsychologia* 38 (1): 11-21.
- Gallese, V. (2007). Before and below 'theory of mind': embodied simulation and the neural correlates of social cognition. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 362 (1480): 659-669.
- Gopnik, A., Wellman, H. (1992). Why the Child's Theory of Mind Really Is a Theory. *Mind & Language* 7: 145-171.
- Hacke, W. Neurologie. Springer: Heidelberg, 2010.
- Harris, P.L. (1992). From simulation to folk psychology: The case for development. *Mind & Language* 7 (1): 120-144.
- Hautzinger, M., Keller F, Kühner, C. BDI-II - Beck Depressions Inventar - Manual. Harcourt Test Services GmbH: Frankfurt am Main, 2006.
- Holmes, A. Statistical Issues in Functional Brain Mapping. University of Glasgow, 1994.
- Hooker, C.I., Verosky, S.C., Germine, L.T., Knight, R.T., D'Esposito, M. (2008). Mentalizing about emotion and its relationship to empathy. *Soc Cogn Affect Neurosci* 3 (3): 204-217.
- Horn, W. Leistungsprüfsystem. Hogrefe: Göttingen, 1983.

- Hynes, C.A., Baird, A.A., Grafton, S.T. (2006). Differential role of the orbital frontal lobe in emotional versus cognitive perspective-taking. *Neuropsychologia* 44 (3): 374-383.
- Härting, C., Markowitsch, H.J., Neufeld, U., Calabrese, P., Deisinger, K., Kessler, J. Wechsler Gedächtnis Test – Revidierte Fassung (WMS-R). Huber: Bern, 2000.
- Jenkins, A.C., Mitchell, J.P. (2010). Mentalizing under uncertainty: dissociated neural responses to ambiguous and unambiguous mental state inferences. *Cereb Cortex* 20 (2): 404-410.
- Kalbe, E., Grabenhorst, F., Brand, M., Kessler, J., Hilker, R., Markowitsch, H.J. (2007). Elevated emotional reactivity in affective but not cognitive components of theory of mind: a psychophysiological study. *J Neuropsychol* 1 (Pt 1): 27-38.
- Kalbe, E., Schlegel, M., Sack, A.T., Nowak, D.A., Dafotakis, M., Bangard, C., Brand, M., Shamay-Tsoory, S., Onur, O.A., Kessler, J. (2009). Dissociating cognitive from affective theory of mind: A TMS study. *Cortex* 46 (6): 769-780.
- Karnath, H.-O., Thier, P. Neuropsychologie. Springer: Heidelberg, 2006.
- Kirsch, H.E. (2006). Social cognition and epilepsy surgery. *Epilepsy Behav* 8 (1): 71-80.
- Kuhner, C., Burger, C., Keller, F., Hautzinger, M. (2007). Reliability and validity of the Revised Beck Depression Inventory (BDI-II). Results from German samples. *Nervenarzt* 78 (6): 651-656.
- Köchli, V., Marincek, B. Wie funktioniert MRI? Eine Einführung in Physik und Funktionsweise der Magnetresonanzbildgebung. 2. Auflage. Springer: Berlin Heidelberg New York, 1998.
- Lawrence, E.J., Shaw, P., Giampietro, V.P., Surguladze, S., Brammer, M.J., David, A.S. (2006). The role of 'shared representations' in social perception and empathy: an fMRI study. *Neuroimage* 29 (4): 1173-1184.
- Leibetseder, M., Laireiter, A.R., Riepler, A., Köller, T. (2001): E-Skala: Fragebogen zur Erfassung von Empathie - Beschreibung und psychometrische Eigenschaften. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie* 1 (70): 70-85.
- Leibetseder, M., Laireiter, A.-R., Koller, T. (2007). Structural analysis of the E-scale. *Personality and Individual Differences* 42 (3): 547-561.
- Liepelt, R., Von Cramon, D.Y., Brass, M. (2008). How do we infer others' goals from non-stereotypic actions? The outcome of context-sensitive inferential processing in right inferior parietal and posterior temporal cortex. *Neuroimage* 43 (4): 784-792.

- Lissek, S., Peters, S., Fuchs, N., Witthaus, H., Nicolas, V., Tegenthoff, M., Juckel, G., Brune, M. (2008). Cooperation and deception recruit different subsets of the theory-of-mind network. *PLoS One* 3 (4): e2023.
- Malonek, D., Grinvald, A. (1996). Interactions between electrical activity and cortical microcirculation revealed by imaging spectroscopy: implications for functional brain mapping. *Science* 272 (5261): 551-554.
- Mar, R.A. (2011). The neural bases of social cognition and story comprehension. *Annu Rev Psychol* 62: 103-134.
- Miezin, F.M., Maccotta, L., Ollinger, J.M., Petersen, S.E., Buckner, R.L. (2000). Characterizing the hemodynamic response: effects of presentation rate, sampling procedure, and the possibility of ordering brain activity based on relative timing. *Neuroimage* 11 (6): 735-759.
- Mitchell, J.P., Macrae, C.N., Banaji, M.R. (2006). Dissociable medial prefrontal contributions to judgments of similar and dissimilar others. *Neuron* 50 (4): 655-663.
- Muslimovic, D., Post, B., Speelman, J.D., Schmand, B. (2005). Cognitive profile of patients with newly diagnosed Parkinson disease. *Neurology* 65 (8): 1239-1245.
- O'Keefe, F.M., Murray, B., Coen, R.F., Dockree, P.M., Bellgrove, M.A., Garavan, H., Lynch, T., Robertson, I.H. (2007). Loss of insight in frontotemporal dementia, corticobasal degeneration and progressive supranuclear palsy. *Brain* 130 (3): 753-764.
- Oldfield, R. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9: 97-113.
- Pauling, L., Coryell, C.D. (1936). The Magnetic Properties and Structure of Hemoglobin, Oxyhemoglobin and Carbonmonoxyhemoglobin. *Proc Natl Acad Sci U S A* 22 (4): 210-216.
- Paulus. Der Saarbrücker Persönlichkeitsfragebogen. Universität Saarbrücken, 2006.
- Perner, J., Wimmer, H. (1985). John thinks that Mary thinks that. . .": Attribution of second-order false beliefs by 5- to 10-year-old children. *Journal Experimental Child Psychology* 39: 437-471.
- Peron, J., Vicente, S., Leray, E., Drapier, S., Drapier, D., Cohen, R., Biseul, I., Rouaud, T., Le Jeune, F., Sauleau, P., Verin, M. (2009). Are dopaminergic pathways involved in theory of mind? A study in Parkinson's disease. *Neuropsychologia* 47 (2): 406-414.
- Pickup, G.J. (2008). Relationship between Theory of Mind and executive function in schizophrenia: a systematic review. *Psychopathology* 41 (4): 206-213.

- Pinkham, A.E., Penn, D.L., Perkins, D.O., Lieberman, J. (2003). Implications for the neural basis of social cognition for the study of schizophrenia. *Am J Psychiatry* 160 (5): 815-824.
- Premack, D., Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences* 1: 515-526.
- Rizzolatti, G., Sinigaglia, C. (2010). The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations. *Nat Rev Neurosci* 11 (4): 264-274.
- Roldan Gerschovich, E., Cerquetti, D., Tenca, E., Leiguarda, R. (2011). The impact of bilateral cerebellar damage on theory of mind, empathy and decision making. *Neurocase* 17 (3): 270-275.
- Rolls, E.T. (2004). The functions of the orbitofrontal cortex. *Brain Cogn* 55 (1): 11-29.
- Saltzman, J., Strauss, E., Hunter, M., Archibald, S. (2000). Theory of mind and executive functions in normal human aging and Parkinson's disease. *J Int Neuropsych Soc* 6 (7): 781-788.
- Schacher, M., Winkler, R., Grunwald, T., Kraemer, G., Kurthen, M., Reed, V., Jokeit, H. (2006). Mesial temporal lobe epilepsy impairs advanced social cognition. *Epilepsia* 47 (12): 2141-2146.
- Schacter, D.L., Buckner, R.L., Koutstaal, W., Dale, A.M., Rosen, B.R. (1997). Late onset of anterior prefrontal activity during true and false recognition: an event-related fMRI study. *Neuroimage* 6 (4): 259-269.
- Schilbach, L., Koubessi, M.Z., David, N., Vogeley, K., Ritzl, E.K. (2007). Being with virtual others: studying social cognition in temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Behav* 11 (3): 316-323.
- Schmidt, K., Metzler, P. Wortschatztest (WST). Hogrefe: Göttingen, 1992.
- Schmidt, M. Rey Auditory-Verbal Learning Test. Westerm Psychological Services: Los Angeles., 1996.
- Schrag, A. (2006). Quality of life and depression in Parkinson's disease. *J Neurol Sci* 248 (1-2): 151-157.
- Schulte-Ruther, M., Markowitsch, H.J., Fink, G.R., Piefke, M. (2007). Mirror neuron and theory of mind mechanisms involved in face-to-face interactions: a functional magnetic resonance imaging approach to empathy. *J Cogn Neurosci* 19 (8): 1354-1372.

- Schulte-Ruther, M., Greimel, E., Markowitsch, H.J., Kamp-Becker, I., Remschmidt, H., Fink, G.R., Piefke, M. (2010). Dysfunctions in brain networks supporting empathy: An fMRI study in adults with autism spectrum disorders. *Soc Neurosci*: 1-21.
- Shamay-Tsoory, S.G., Tomer, R., Berger, B.D., Goldsher, D., Aharon-Peretz, J. (2005a). Impaired "affective theory of mind" is associated with right ventromedial prefrontal damage. *Cogn Behav Neurol* 18 (1): 55-67.
- Shamay-Tsoory, S.G., Shur, S., Barcai-Goodman, L., Medlovich, S., Harari, H., Levkovitz, Y. (2005b). Dissociation of cognitive from affective components of theory of mind in schizophrenia. *Psychiatry Res* 149 (1-3): 11-23.
- Shamay-Tsoory, S.G., Tibi-Elhanany, Y., Aharon-Peretz, J. (2006). The ventromedial prefrontal cortex is involved in understanding affective but not cognitive theory of mind stories. *Soc Neurosci* 1 (3-4): 149-166.
- Shamay-Tsoory, S.G., Aharon-Peretz, J. (2007). Dissociable prefrontal networks for cognitive and affective theory of mind: a lesion study. *Neuropsychologia* 45 (13): 3054-3067.
- Shamay-Tsoory, S.G. (2010). The Neural Bases for Empathy. *Neuroscientist* 20 (10): 1-7.
- Shaw, P., Lawrence, E.J., Radbourne, C., Bramham, J., Polkey, C.E., David, A.S. (2004). The impact of early and late damage to the human amygdala on 'theory of mind' reasoning. *Brain* 127 (Pt 7): 1535-1548.
- Shaw, P., Lawrence, E., Bramham, J., Brierley, B., Radbourne, C., David, A.S. (2007). A prospective study of the effects of anterior temporal lobectomy on emotion recognition and theory of mind. *Neuropsychologia* 45 (12): 2783-2790.
- Siegal, M., Varley, R. (2002). Neuronal systems involved in 'theory of mind'. *Nat Rev Neurosci* 3 (6): 463-471.
- Singer, T. (2006). The neuronal basis and ontogeny of empathy and mind reading: review of literature and implications for future research. *Neurosci Biobehav Rev* 30 (6): 855-863.
- Snowden, J.S., Gibbons, Z.C., Blackshaw, A., Doubleday, E., Thompson, J., Craufurd, D., Foster, J., Happe, F., Neary, D. (2003). Social cognition in frontotemporal dementia and Huntington's disease. *Neuropsychologia* 41 (6): 688-701.
- Stone, V.E., Gerrans, P. (2006). What's domain-specific about theory of mind? *Social neuroscience* 1 (3-4): 309-319.
- Thorbecke, R. (2007). Deficits in the perception of social rules and expressions in persons with epilepsy and their consequences for participation. *Epileptologie* 24: 149-152.

- Tombaugh, T. (2004). Trail Making Test A and B: normative data stratified by age and education. *Arch Clin Neuropsychol* 19: 203-214.
- Van Hooren, S., Versmissen, D., Janssen, I., Myin-Germeys, I., a Campo, J., Mengelers, R., van Os, J., Krabbendam, L. (2008). Social cognition and neurocognition as independent domains in psychosis. *Schizophr Res* 103 (1-3): 257-265.
- Van Overwalle, F., Baetens, K. (2009). Understanding others' actions and goals by mirror and mentalizing systems: a meta-analysis. *Neuroimage* 48 (3): 564-584.
- Vogeley, K., Bussfeld, P., Newen, A., Herrmann, S., Happe, F., Falkai, P., Maier, W., Shah, N.J., Fink, G.R., Zilles, K. (2001). Mind reading: neural mechanisms of theory of mind and self-perspective. *Neuroimage* 14 (1): 170-181.
- Vogeley, K., Fink, G.R. Perspektivwechsel und soziale Kognition. In Schneider, F., Fink, G.R. (Herausgeber), Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie. 351-360. Springer: Berlin Heidelberg New York, 2007.
- Völlm, B.A., Taylor, A.N., Richardson, P., Corcoran, R., Stirling, J., McKie, S., Deakin, J.F., Elliott, R. (2006). Neuronal correlates of theory of mind and empathy: a functional magnetic resonance imaging study in a nonverbal task. *Neuroimage* 29 (1): 90-98.
- Walpole, P., Isaac, C.L., Reynders, H.J. (2008). A comparison of emotional and cognitive intelligence in people with and without temporal lobe epilepsy. *Epilepsia* 49 (8): 1470-1474.
- Wimmer, H., Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs: Representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition* 13: 103-128.
- Woodward, T.S., Mizrahi, R., Menon, M., Christensen, B.K. (2009). Correspondences between theory of mind, jumping to conclusions, neuropsychological measures and the symptoms of schizophrenia. *Psychiatry Res* 170 (2-3): 119-123.
- Yip, J.T., Lee, T.M., Ho, S.L., Tsang, K.L., Li, L.S. (2003). Emotion recognition in patients with idiopathic Parkinson's disease. *Mov Disord* 18 (10): 1115-1122.
- Zgaljardic, D.J., Borod, J.C., Foldi, N.S., Mattis, P.J., Gordon, M.F., Feigin, A., Eidelberg, D. (2006). An examination of executive dysfunction associated with frontostriatal circuitry in Parkinson's disease. *J Clin Exp Neuropsychol* 28 (7): 1127-1144.

## Tabellen

Tabelle 8: Korrelationen Neuropsychologie und ToM-Skalen

	SPF				Empathie-Skala				Yoni			RMET
	fantasy	empathic concern	perspective taking	distress	cognitive sensitivity	emotional sensitivity	emotional concern	cognitive concern	aff	kog	phy	
Alter	0,505*	0,049	0,059	-0,412	-0,418	-0,363	-0,258	-0,339	-0,234	-0,100	-0,298	0,117
	0,004	0,797	0,755	0,024	0,022	0,049	0,168	0,067	0,230	0,611	0,124	0,539
Bildung	0,083	0,331	0,231	-0,136	-0,095	0,075	0,104	-0,057	-0,089	0,097	0,162	-0,061
	0,662	0,074	0,218	0,475	0,617	0,692	0,586	0,763	0,653	0,624	0,411	0,749
RAVLT A1-5	0,186	0,180	0,060	0,162	0,171	0,141	0,291	0,342	-0,182	0,122	0,357	0,250
	0,326	0,341	0,754	0,393	0,366	0,458	0,119	0,065	0,354	0,535	0,062	0,183
RAVLT B	0,352	0,151	0,086	0,314	0,107	0,188	0,169	0,188	-0,066	-0,015	0,174	0,308
	0,056	0,424	0,653	0,091	0,574	0,319	0,372	0,319	0,740	0,940	0,375	0,097
RAVLT A6	0,036	-0,040	-0,111	0,180	0,057	-0,071	0,073	0,218	-0,044	0,224	0,430	0,169
	0,849	0,835	0,558	0,341	0,767	0,710	0,703	0,248	0,826	0,253	0,023	0,372
RAVLT A7	0,140	0,108	-0,025	0,297	0,224	0,112	0,224	0,364	-0,136	0,089	0,504*	0,195
	0,460	0,569	0,896	0,111	0,234	0,554	0,234	0,048	0,491	0,651	0,006	0,302
ZS vorw.	-0,162	-0,061	0,201	-0,004	-0,113	-0,027	0,045	0,006	0,055	-0,058	-0,072	-0,163
	0,392	0,747	0,286	0,984	0,553	0,887	0,813	0,974	0,782	0,769	0,714	0,388
ZS rückw.	0,196	-0,050	0,078	0,249	0,074	0,200	0,106	0,003	-0,017	-0,044	0,283	0,029
	0,300	0,792	0,684	0,185	0,696	0,290	0,577	0,985	0,933	0,823	0,144	0,877
BS vorw.	-0,003	-0,158	-0,269	0,170	-0,136	-0,142	-0,095	-0,088	0,179	0,270	0,303	0,285
	0,987	0,404	0,151	0,370	0,474	0,453	0,618	0,645	0,363	0,165	0,117	0,127
BS rückw.	-0,009	-0,068	-0,306	0,012	-0,175	0,004	0,088	0,057	0,330	0,052	0,131	-0,166
	0,964	0,722	0,100	0,949	0,356	0,984	0,642	0,766	0,086	0,795	0,506	0,380
Logik	0,168	-0,014	0,338	-0,043	0,231	0,398	0,175	0,202	0,225	-0,017	0,237	-0,008
	0,374	0,942	0,068	0,822	0,219	0,029	0,355	0,284	0,251	0,933	0,225	0,965

Legende am Ende der Tabelle auf der folgenden Seite.

	SPF				Empathie-Skala				Yoni			RMET
	fantasy	empathic concern	perspective taking	distress	cognitive sensitivity	emotional sensitivity	emotional concern	cognitive concern	aff	kog	phy	
<b>WF lex.</b>	0,289	-0,052	0,026	0,079	0,180	0,232	0,060	0,190	-0,187	0,110	<b>0,564*</b>	<b>0,519*</b>
	0,121	0,786	0,892	0,676	0,342	0,217	0,753	0,314	0,341	0,578	<b>0,002</b>	<b>0,003</b>
<b>WF sem.</b>	0,275	0,100	0,003	0,013	0,330	0,267	0,206	0,282	0,174	0,445	0,228	0,165
	0,142	0,598	0,989	0,947	0,075	0,154	0,275	0,132	0,377	0,018	0,243	0,385
<b>TMT B/A</b>	-0,146	-0,275	0,147	0,133	-0,204	0,093	-0,151	-0,075	0,128	-0,073	-0,345	-0,169
	0,442	0,141	0,437	0,483	0,280	0,624	0,425	0,695	0,518	0,710	0,072	0,373

Errechnete Korrelationen zwischen Alter, Bildung, den eingesetzten neuropsychologischen Tests und den ToM-Tests, jeweils mit Subskalen. Dargestellt sind jeweils der Korrelationskoeffizient nach Pearson und das Signifikanzniveau (2-seitig).  $\alpha = 0,01$ . Zweiseitig signifikante Korrelationen sind fett gedruckt und mit \* gekennzeichnet.

**BS** – Blockspanne (vorw. – vorwärts, rückw. – rückwärts)

**Logik** – Logische Reihen

**RAVLT** – Rey Auditory Verbal Learning Test (A – Durchgänge, B – Interferenzbedingung)

**RMET** – Reading the MInd in the Eyes Test

**SPF** – Saarbrücker Persönlichkeitsfragebogen

**TMT** – Zahlenverbindungstest (B/A – Quotient der Zeiten B und A)

**WST** – Wortschatztest

**WF** – Wortflüssigkeit (lex. – lexikalisch, sem. – semantisch)

**Yoni** – Yoni-Paradigma (aff – affektive, kog – kognitive, phy – Kontrollbedingung)

**ZS** – Zahlenspanne (vorw. – vorwärts, rückw. – rückwärts)

Tabelle 9: Korrelationen Fragebögen und ToM-Skalen

	SPF				Empathie-Skala				Yoni			RMET
	fantasy	empathic concern	perspective taking	distress	cognitive sensitivity	emotional sensitivity	emotional concern	cognitive concern	aff	kog	phy	
FPI (1)	-0,124 0,515	-0,141 0,458	-0,065 0,734	-0,18 0,34	-0,001 0,996	-0,055 0,774	-0,042 0,828	-0,059 0,758	0,326 0,09	0,076 0,699	0,102 0,606	-0,21 0,264
FPI (2)	-,363 0,049	0,288 0,122	0,203 0,283	-0,153 0,418	-0,225 0,232	-0,177 0,349	0,046 0,808	-0,087 0,646	-0,021 0,917	-0,332 0,084	-0,19 0,333	-0,32 0,085
FPI (3)	0,07 0,711	0,033 0,864	-0,201 0,286	-0,039 0,839	0,227 0,228	0,009 0,964	0,106 0,576	0,167 0,378	0,117 0,554	0,085 0,666	0,288 0,137	-0,177 0,351
FPI (4)	-0,162 0,392	-0,098 0,605	-0,021 0,911	0,177 0,35	-0,178 0,345	-0,306 0,1	0,026 0,89	0,105 0,581	0,088 0,656	0,205 0,295	0,184 0,35	0,28 0,134
FPI (5)	0,291 0,119	0,229 0,224	-0,16 0,398	0,430 0,018	0,227 0,227	0,06 0,752	0,285 0,126	0,354 0,055	-0,236 0,227	0 1	0,075 0,704	0,213 0,259
FPI (6)	0,111 0,56	-0,05 0,795	-0,323 0,081	-0,089 0,639	-0,033 0,864	-0,141 0,458	-0,039 0,84	0,022 0,909	-0,12 0,542	0,064 0,747	0,264 0,175	0,036 0,851
FPI (7)	0,142 0,454	0,016 0,932	-0,184 0,329	0,265 0,157	0,232 0,218	-0,145 0,445	0,155 0,413	0,347 0,06	-0,071 0,719	0,038 0,849	0,369 0,053	0,068 0,721
FPI (8)	0,066 0,731	0,009 0,963	-0,356 0,053	0,34 0,066	0,006 0,977	-0,309 0,097	0,013 0,946	0,116 0,543	-0,04 0,841	0,165 0,401	0,284 0,143	0,137 0,47
FPI (9)	0,327 0,078	0,245 0,192	-0,174 0,357	0,451 0,012	0,410 0,025	0,035 0,853	0,359 0,051	<b>0,461*</b> <b>0,01</b>	-0,092 0,643	0,146 0,459	0,285 0,142	0,306 0,1
FPI (10)	-0,231 0,219	-0,132 0,487	-0,231 0,22	-0,135 0,477	-,393 0,032	-0,243 0,195	-0,01 0,956	-0,028 0,884	0,265 0,173	-0,095 0,631	0,102 0,605	-0,085 0,653
FPI (11)	0,2 0,288	0,061 0,748	-0,148 0,436	0,045 0,811	0,318 0,086	0,229 0,223	0,151 0,427	0,244 0,194	-0,175 0,373	-0,186 0,344	0,118 0,55	-0,021 0,913
FPI (12)	0,225 0,232	0,086 0,652	-0,124 0,514	0,433 0,017	0,078 0,683	-0,078 0,683	0,221 0,242	0,332 0,073	-0,083 0,673	0,112 0,569	0,199 0,309	0,096 0,614

Legende am Ende der Tabelle auf der folgenden Seite.

	SPF				Empathie-Skala				Yoni			RMET
	fantasy	empathic concern	perspective taking	distress	cognitive sensitivity	emotional sensitivity	emotional concern	cognitive concern	aff	kog	phy	
<b>SF-36 (1)</b>	-0,175 0,354	0,027 0,886	0,046 0,81	-0,237 0,207	-0,233 0,215	-0,105 0,579	-0,16 0,397	-0,32 0,085	-0,083 0,673	-0,222 0,257	0,037 0,853	-0,335 0,07
<b>SF-36 (2)</b>	-0,107 0,574	-0,058 0,759	0,151 0,424	-0,079 0,679	-0,236 0,21	-0,036 0,852	-0,042 0,825	-0,15 0,428	0,184 0,349	0,02 0,921	0,12 0,542	-0,333 0,072
<b>SF-36 (3)</b>	-0,107 0,572	0,094 0,619	0,058 0,76	0,285 0,126	-0,188 0,321	-0,022 0,909	0,097 0,609	0,09 0,636	0,074 0,706	0,095 0,63	0,301 0,12	0,026 0,893
<b>SF-36 (4)</b>	-0,09 0,634	0,11 0,564	0,035 0,853	-0,355 0,054	0,111 0,561	0,084 0,66	0,076 0,688	-0,009 0,96	0,33 0,086	-0,006 0,975	-0,193 0,324	-0,2 0,289
<b>SF-36 (5)</b>	-0,273 0,144	-0,1 0,6	-0,064 0,736	-0,297 0,111	-0,068 0,722	-0,049 0,797	-0,163 0,391	-0,101 0,594	0,101 0,61	-0,034 0,864	-0,092 0,64	-0,141 0,459
<b>SF-36 (6)</b>	-0,025 0,896	-0,116 0,541	0,268 0,153	-0,365 0,047	-0,071 0,71	0,111 0,559	-0,177 0,35	-0,061 0,749	0,155 0,431	0 1	0,079 0,689	0,12 0,528
<b>SF-36 (7)</b>	-0,182 0,335	0,088 0,642	-0,244 0,194	-0,152 0,424	-0,315 0,09	-0,117 0,539	-0,156 0,409	-0,157 0,408	-0,184 0,349	-0,033 0,869	-0,132 0,502	-0,081 0,671
<b>SF-36 (8)</b>	-0,334 0,071	-0,153 0,419	0,238 0,206	-0,346 0,061	-0,224 0,235	0,046 0,81	-0,223 0,235	-0,098 0,606	0,097 0,624	-0,13 0,511	-0,105 0,595	-0,039 0,837

Errechnete Korrelationen zwischen den eingesetzten Persönlichkeitsfragebögen und den ToM-Tests, jeweils mit Subskalen. Dargestellt sind jeweils der Korrelationskoeffizient nach Pearson und das Signifikanzniveau (2-seitig).  $\alpha = 0,01$ . Zweiseitig signifikante Korrelationen sind fett gedruckt und mit \* gekennzeichnet.

**FPI** – Freiburger Persönlichkeitsinventar

**RMET** – Reading the MInd in the Eyes Test

**SF-36** – Fragebogen zum allgemeinen Gesundheitszustand

**SPF** – Saarbrücker Persönlichkeitsfragebogen

**Yoni** – Yoni-Paradigma (aff – affektive, kog – kognitive, phy – Kontrollbedingung)

## Anhang

### Verzeichnis der akademischen LehrerInnen

Meine akademischen LehrerInnen an der Philipps-Universität Marburg  
waren die Damen und Herren

Adamkiewicz, Arabin, Aumüller, Barth, Bartsch, Basler, Bauer, Baum, Becker K., Becker S., Benes, Czubayko, Daut, Dodel, Donner-Banzhoff, Eggert, Eilers, Ellenrieder, Feuser, Fuchs-Winkelmann, Görg, Gress, Grzeschik, Hamer, Hassan, Hellmeyer, Hertl, Heverhagen, Höffken, Hofmann, Höglinger, Hoyer, Jansen, Kaltenborn, Kann, Kircher, Klose, Knake, König, Koolman, Kühnert, Leonhardt, Lill, Löffler, Lohoff, Maier, Maisch, Mandrek, Mennel, Michl, Moll, Moosdorf, Mueller, Mutters, Neubauer, Neumüller, Nimsky, Oertel, Pagenstecher, Plant, Printz, Renz, Richter, Riße, Röhm, Rothmund, Ruchholtz, Schäfer H., Schäfer J., Schmidt, Schneider, Schofer, Schrader, Sekundo, Tackenberg, Vogelmeier, Wagner, Weihe, Werner, Westermann und Wulf.

## Dank

Die vorliegende Arbeit wurde in der Klinik für Neurologie am Universitätsklinikum Marburg in der Arbeitsgruppe Neurologische Therapieforschung unter Leitung von Herrn Prof. Dr. med. R. Dodel angefertigt.

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. R. Dodel herzlich für seine ausgezeichnete Betreuung und kontinuierliche Motivation. Allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe möchte ich für ihre Unterstützung und das gute Arbeitsklima danken.

Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. Dipl. Psych. M. Bodden, die diese Arbeit mit ihrem unermüdlichen Engagement und ihrer konstruktiven wissenschaftlichen Betreuung überhaupt erst möglich gemacht hat.

Für die ausführlichen und hilfreichen Diskussionen und die gute Betreuung möchte ich Herrn Dr. Dipl. Psych. S. Krach danken. Mein herzlicher Dank gilt außerdem der gesamten Arbeitsgruppe BrainImaging unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. rer. nat. A. Jansen, im Speziellen Herrn Dr. Dipl. Psych. F.M. Paulus und Herrn Dr. Dipl. Phys. J. Sommer.

Frau Prof. Dr. med. S. Knake danke ich sehr dafür, dass sie mein Interesse für die Neurologie und die funktionelle Bildgebung geweckt und gefördert hat. Außerdem möchte ich ihr und Frau Dr. med. K. Menzler für die erfolgreiche Organisation und Durchführung der Datenerhebung am MRT meinen Dank aussprechen.

Für die gute Kooperation bei der Planung und Beaufsichtigung der Scan-Termine möchte ich Herrn Prof. Dr. med. Dr. rer. physiol. J.T. Heverhagen und seinem Team danken.

Allen StudienteilnehmerInnen danke ich für ihre Mitarbeit.

Zuletzt geht mein herzlicher Dank an meine Familie und meinen Freundeskreis, die mir mit viel Ausdauer motivierend und unterstützend zur Seite standen.