

Universität Bielefeld

Fachbereich Psychologie

Seminar

Soziale Kognition: Neuronale und psychologische Korrelate

Dr. E. Kalbe

Neuronale Korrelate der Theory of Mind

Stefan Scherbaum

Matrikelnummer: 1746525 (Universität Bielefeld)

4. Studiensemester, M.Sc. Cognitive Science, Universität Osnabrück

Ziegelstraße 23, 49079 Osnabrück

Stefan.Scherbaum@uos.de

Zusammenfassung

Die Theory of Mind bezeichnet die Fähigkeit von Individuen, sich in andere Individuen hineinversetzen zu können und die Welt aus deren Perspektive zu betrachten, um so Handlungen verstehen und vorhersagen zu können. Mit Hilfe moderner neurowissenschaftlicher Methoden wird heute nach den Schaltkreisen im Gehirn gesucht, die diesen Fähigkeiten zugrunde liegenden. Dabei kommen verschiedenste experimentelle Setups zum Einsatz, die unterschiedliche Aspekte der Theory of Mind untersuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass es Gehirnbereiche gibt, welche in nahezu allen Studien Aktivierungen zeigen, wie den Anterior Cingulate Cortex und die Superior Temporal Sulcus, und eher periphere Bereiche, welche je nach Aufgabentyp aktiviert sind, wie z.B. die Temporal Poles oder die Amygdala.

Inhaltsverzeichnis

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN.....	4
1 EINORDNUNG.....	5
2 EIGENSCHAFTEN DER THEORY OF MIND	5
3 ANFORDERUNGEN AN EIN SYSTEM FÜR DIE THEORY OF MIND.....	7
4 ANSÄTZE ZUR UNTERSUCHUNG DER THEORY OF MIND	8
4.1 UNTERSUCHUNG DER UNTERSCHIEDLICHEN ASPEKTE DER THEORY OF MIND	8
4.1.1 <i>Theory of Mind für motorische Aktionen.....</i>	8
4.1.2 <i>Theory of Mind als Empathie</i>	9
4.1.3 <i>Logisches Schließen und False Beliefs.....</i>	9
4.1.4 <i>Vorhersage der Aktionen anderer für ein strategisches Vorgehen</i>	10
4.2 UNTERSCHIEDLICHE EXPERIMENTELLE ANSÄTZE	10
4.2.1 <i>Untersuchung der Einzelteile oder des Gesamtsystems</i>	11
4.2.2 <i>Untersuchungen „Offline“ oder „Online“</i>	12
4.2.3 <i>Aktives Handeln oder passives Rezipieren</i>	12
4.2.4 <i>Sprachliche oder nonsprachliche Untersuchungen.....</i>	12
4.2.5 <i>Private oder soziale Intentionen.....</i>	13
4.3 VERGLEICHSMESSUNGEN	13
5 EINE KARTIERUNG DER THEORY OF MIND.....	14
5.1 ANTERIOR (PARA-)CINGULATE CORTEX	15
5.2 SUPERIOR TEMPORAL SULCUS	16
5.3 TEMPORAL POLES	16
5.4 AMYGDALAE	17
5.5 PREMOTOR CORTEX	17
5.6 ORBITOFRONTAL CORTEX	18
5.7 CEREBELLUM.....	18
6 DISKUSSION.....	19
LITERATUR.....	21

Verzeichnis der Abbildungen

ABBILDUNG 1 - EIN KLASSISCHER THEORY OF MIND-TEST FÜR KINDER (AUS C. D. FRITH & FRITH, 1999)	6
ABBILDUNG 2 - DIE AUSZAHLUNGSMATRIX IM PRISONERSDILEMMA-SPIEL (AUS RILLING ET AL., 2004)	10
ABBILDUNG 3 - MEDIALE SICHT AUF DAS GEHIRN (AUS BORDEN, 2004)	15
ABBILDUNG 4 - LATERALE SICHT AUF DIE SULCI DES GEHIRNS (AUS BORDEN, 2004)	16
ABBILDUNG 5 - LATERALE SICHT AUF DIE GYRI DES GEHIRNS (BORDEN, 2004)	17

1 Einordnung

Moderne bildgebende Verfahren, wie die funktionale Magnetresonanztomographie (fMRT) und die Positronen Emissions Tomographie (PET), erlauben es den Neurowissenschaften heute, sich mit komplexen Fragestellungen der Funktionsweise des menschlichen Gehirns auseinanderzusetzen. Im Gegensatz zu älteren Methoden, wie dem Elektro-Enzephalogramm (EEG) beim Menschen oder Zellmessungen durch Elektroden im Gehirn von Tieren, erlauben sie es, den gesamten Denkapparat des Menschen während der Erledigung einer Aufgabe zu beobachten.

Mittlerweile hat sich die kognitive Neurowissenschaft, als ein Zusammenschluss der Kognitionspsychologie und der Neurowissenschaften etabliert und setzt sich mit Hilfe dieser neuen Methoden mit vielen basalen Fragen der Funktionsweise des menschlichen Gehirns auseinander. Nun schickt sich ein neuer neurowissenschaftlicher Zweig an, auch die höheren, sozialen Gehirnfunktionen, zu enträtseln. Die „Social Cognitive Neuroscience“ (Ochsner & Lieberman, 2001) vereint die Methoden der kognitiven Neurowissenschaft mit denen der Sozialpsychologie und untersucht dabei Themen wie Bewertungen und Stereotype, die Wahrnehmung von Personen oder den Zusammenhang von Emotion und Kognition.

Ein all diese Bereiche überspannendes Thema stellt die „Theory of Mind“ (ToM) dar, also die Fähigkeit des Menschen, andere Subjekte als handelnde, denkende und fühlende Personen wahrzunehmen und sich intuitiv in die Lage und Perspektive des anderen hineinzusetzen. In dieser Arbeit wird der neurowissenschaftliche Forschungsstand zu diesem Thema dargestellt. Nach einer Definition der Eigenschaften, welche die ToM bei Menschen kennzeichnen, folgen Überlegungen, über welche Funktionen ein neuronales ToM-System verfügen muss. Im Anschluss werden experimentelle Ansätze diskutiert, mit denen die „Schaltkreise“ dieses Systems im Gehirn untersucht werden. Danach werden die aktuellen Ergebnisse der Gehirnforschung zum Thema ToM vorgestellt und die dabei gefundenen Kernelemente eines ToM-Systems abgeleitet. Die Arbeit schließt mit einer Diskussion über Aspekte der Erforschung der Theory of Mind.

2 Eigenschaften der Theory of Mind

In der Literatur werden für die im Folgenden beschriebenen Fähigkeiten die Begriffe Theory of Mind, Mentalizing (Frith & Frith, 1999), Intentional Stance (vgl. Gallagher, Jack, Roepstorff & Frith, 2002) und Mind Reading (Baron-Cohen, 1995) äquivalent eingesetzt.

Welche Eigenschaften werden diesem Phänomen zugeordnet? Gallagher & Frith (2003) beschreiben es als die Fähigkeit „to explain and predict the behaviour of ourselves and others by attributing to them

independent mental states, such as beliefs, desires, emotions or intentions.“ (Gallagher & Frith, 2003, S.77) Ein klassisches Beispiel aus einem psychologischen ToM-Test für Kinder stellt dies sehr anschaulich dar. Die Kinder erhalten die in Abbildung 1 dargestellte Geschichte und sollen anschließend beurteilen, wo Sally die Puppe suchen wird.

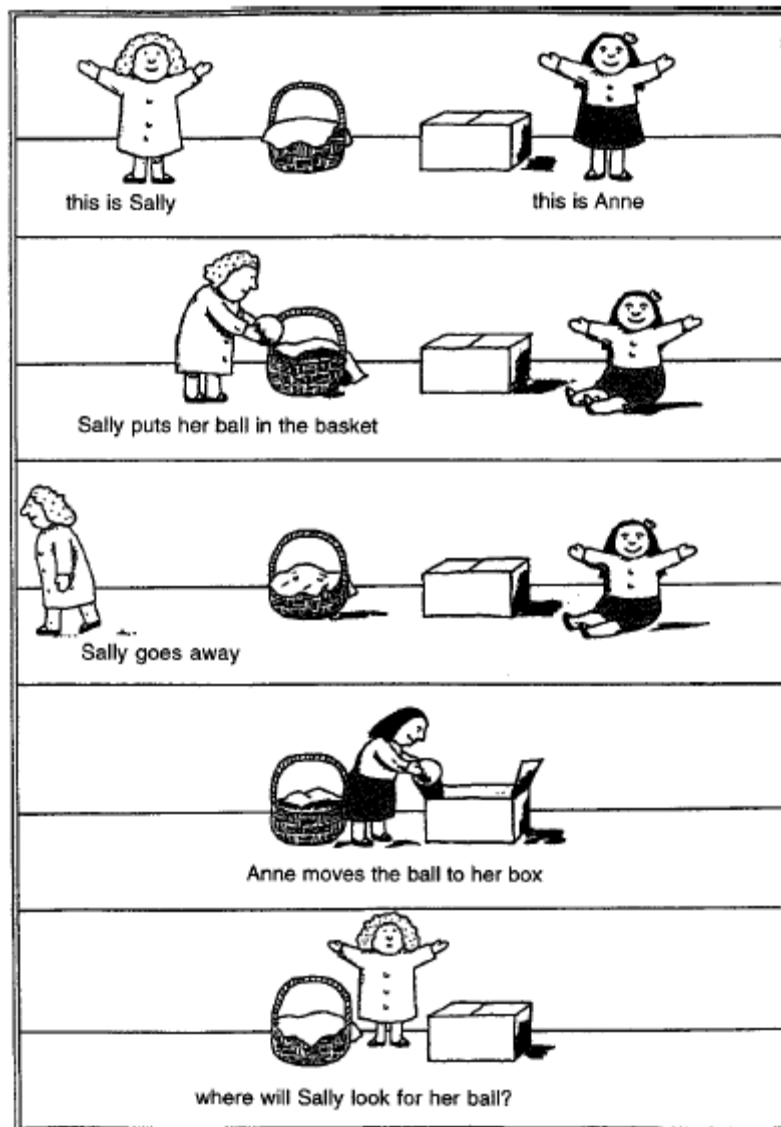


Abbildung 1 - Ein klassischer Theory of Mind-Test für Kinder (aus Frith & Frith, 1999)

So einfach diese sogenannte „False Belief“-Aufgabe wirken mag, sie ist für Kinder bis zu 4 Jahren und Autisten nicht lösbar (vgl. Stone, Baron-Cohen & Knight, 1998). Stone et al. (1998) schreiben dies der mangelnden Fähigkeit zu, „to understand that other people may not know all the things that they know and therefore that others may hold false beliefs.“ (Stone et al., 1998, S.641)

Unter der Annahme, dass die ToM der Einschätzung und der Vorhersage des Verhaltens anderer Individuen dient, spielt die Wahrnehmung von Annahmen (Beliefs) anderer eine entscheidende Rolle. Schließlich ist es nicht die von einem selbst wahrgenommene Realität, welche die Handlungen des

Neuronale Korrelate der Theory of Mind: Anforderungen an ein System für die Theory of Mind

anderen bestimmt, sondern dessen Annahmen über die Welt (vgl. Frith & Frith, 2001). Dies erfordert einen Perspektivwechsel, welcher auf die Emotionen, Ziele und letztlich auf alle das Verhalten bestimmenden mentalen Zustände ausgeweitet werden kann und somit ein vollständiges Sich-Hinein-Versetzen in den anderen erfordert. Der Interpret muss dabei einerseits die von ihm wahrgenommene Realität von der des anderen getrennt halten (der Vorgang des so genannten „decoupling“ (Gallagher & Frith, 2003)). Andererseits muss er aber die Fremdrealität in seine Beurteilungen mit einfließen lassen, denn sie hat letztlich entscheidende Auswirkungen auf das Resultat der Handlungen des anderen (vgl. Leslie, 1994). Eine weitergehende theoretische Sicht ordnet letztlich sogar die eigene Perspektive als einen Vorgang der ToM ein: Sie wird zu einer SELBST-Perspektive, welche die Interpretation und Vorhersage der eigenen Handlungen ermöglicht (vgl. Vogeley, Bussfeld, Newen et al., 2001).

Dies alles erscheint zunächst wie ein komplexer Prozess. Doch ist zu betonen, dass es sich bei diesen Vorgängen um intuitive, größtenteils unbewusste Prozesse handelt – folglich fällt es gesunden Menschen nicht auf, dass sie all dies die ganze Zeit ausführen. Menschen mit einer Störung der ToM-Fähigkeiten, wie z.B. Asperger-Patienten, können bestimmte Teile dieser Fähigkeiten bewusst erlernen und so ein relativ normales Leben führen – viele, den meisten Menschen leicht fallende, Formen des zwischenmenschlichen Umgangs, bleiben für sie aber anstrengende, bewusste Arbeit (vgl. Frith & Happe, 1999).

Die Literatur nennt zwei Ansätze, welche die Mechanismen erklären, die der ToM zugrunde liegen: Die Simulations-Theorie und die Theorie-Theorie. Die Simulations-Theorie geht davon aus, dass „we directly simulate others' cognitive processes by deploying the same cognitive mechanisms“ (Ramnani & Miall, 2004). Sie kann sich mittlerweile auf die Aufsehen erregenden Forschungsergebnisse zu Spiegelneuronen im Prämotorischen Kortex stützen (vgl. Gallese & Goldman, 1998). Die Theorie-Theorie dagegen sieht die ToM-Fähigkeiten als „based on a distinct body of theoretical knowledge acquired during the individual ontogenic development“ (Vogeley et al., 2001, S.171). Ergebnisse, die eine klare Entscheidung zwischen den beiden Theorien herbeiführen könnten, stehen bisher noch aus.

3 Anforderungen an ein System für die Theory of Mind

Aus den soeben beschriebenen Fähigkeiten leiten Frith & Frith (1999) folgende elementare Fähigkeiten eines Systems ab, welches die ToM implementiert:

- **Lebendigkeit erkennen:** Bewegung in der Umwelt kann aufgrund einer Handlung des sich bewegenden Subjekts geschehen oder durch ein Objekt (z.B. ein Stein), das aus physikalischen Gründen in Bewegung geriet. In letzterem Fall genügt eine schlichte

physikalische und lineare Betrachtungsweise, während im ersten Fall die Zuschreibung mentaler Zustände zur Erklärung und Vorhersage des künftigen Verhaltens sinnvoller ist (vgl. Dennett, 1996).

- **Aufmerksamkeitssteuerung durch Blickrichtung:** Um die Perspektive des anderen einnehmen zu können, muss man wissen, was dieser wahrnimmt. Ein grundlegender Mechanismus hierfür ist, die eigene Aufmerksamkeit auf etwas lenken zu können, das der andere gerade fixiert.
- **Zielgerichtete Aktionen erkennen:** Intentionen sind letztlich zielgerichtet und um sie erfolgreich zu interpretieren, muss ein ToM-System zielgerichtetes Handeln erkennen können.
- **Zwischen Aktionen des Selbst und anderer unterscheiden:** Ein Perspektivwechsel fordert von einem ToM-System, dass dieses die erlangten Informationen dem Beobachteten zuordnet und nicht dem Beobachter selbst. Erst so wird die getrennte Betrachtung der eigenen Position und der des anderen möglich (vgl. Leslie, 1994).

Frith & Frith (1999) sehen diese Fähigkeiten als grundlegende Fähigkeiten, welche bereits bei Tieren mit rudimentärer ToM gegeben sind. Davon ausgehend, dass evolutionäre Entwicklungen auf vorherigen aufbauen und nicht zu absoluten Neuentwicklungen führen, nehmen Frith & Frith (1999) an, dass die menschlichen ToM-Fähigkeiten, welche noch weitreichender sind, auf diesen Eigenschaften basieren.

4 Ansätze zur Untersuchung der Theory of Mind

4.1 Untersuchung der unterschiedlichen Aspekte der Theory of Mind

Mittlerweile finden sich sehr viele Studien, welche die ToM-Fähigkeiten von Menschen mit bildgebenden Verfahren untersuchen. Bei genauerer Betrachtung stellt sich aber heraus, dass viele dieser Experimente sehr unterschiedliche Aspekte untersuchen – teilweise wirft die Spannbreite dieser Aspekte sogar die Frage auf, inwiefern in unterschiedlichen Experimenten überhaupt noch das gleiche Phänomen untersucht wird. Im Folgenden werden diese verschiedenen Aspekte der ToM vorgestellt.

4.1.1 Theory of Mind für motorische Aktionen

Besonders um Daten zur Stützung der Simulations-Theorie zu finden, eignen sich Experimente, welche untersuchen, wie im Gehirn eines Beobachters motorische Aktionen eines anderen verarbeitet werden (vgl. Decety, Grezes, Costes et al., 1997; Ramnani & Miall, 2004). Ausgehend von der Theorie der Spiegelneurone (Gallese & Goldman, 1998; Rizzolatti, Fadiga, Gallese & Fogassi, 1996) suchen

diese Studien nach neuronalen Korrelaten, welche sowohl für eigene Bewegungen als auch für beobachtete zu finden sind. So untersuchen z.B. Ramnani & Miall (2004) Korrelate für geplante Bewegungen (verschiedene Fingerbewegungen als Reaktion auf verschiedene trainierte Reize). In einem Fall führen die Probanden nach Einblenden des Reizes eine entsprechende Bewegung selbst aus, im anderen Fall müssen sie Vorhersagen, welche Bewegung ein (fiktiver) Proband im Nebenraum ausüben wird. Dabei fanden sie heraus, dass sich die hierbei aktivierten Hirnregionen unterscheiden. Diese Ergebnisse können als ein Argument gegen eine reine Simulations-Theorie gewertet werden, denn hier hätten die gleichen Areale aktiviert sein müssen.

4.1.2 Theory of Mind als Empathie

Empathie, die Fähigkeit „to understand what others feel“ (Singer, Seymour, O'Doherty et al., 2004) kann als Teil oder Komplement der ToM gesehen werden. Dementsprechend untersuchen einige Studien (z.B. Calarge, Andreasen & O'Leary, 2003; Farrow, Zheng, Wilkinson et al., 2001; Singer et al., 2004) diesen emotional mitfühlenden Aspekt der ToM. Das dabei untersuchte Spektrum reicht von Studien, in denen anhand von Geschichten Empathie induziert wird, bis hin zu Setups, in welchen Versuchspersonen z.B. Schmerz fühlende Probanden live beobachten (Singer et al., 2004). Calarge et al. (2003) lassen beispielsweise in ihrer PET-Studie Versuchspersonen eine Erklärung finden, warum die Person in einer Geschichte weinend auf einer Parkbank sitzt.

4.1.3 Logisches Schließen und False Beliefs

Viele Tests und Experimente zur ToM sind Variationen des in Abbildung 1 gezeigten so genannten „False Belief“-Tests. Der Perspektivenwechsel besteht aus einer Interpretation der Situation aus Sicht einer anderen Person, um so deren (scheinbar sinnloses) Handeln erklären oder vorhersagen zu können. (Frith & Frith, 2001) Beispielhaft sei hier eine für die Untersuchung dieses Aspektes der ToM typische Kurzgeschichte, welche die Versuchspersonen bearbeiten müssen, zitiert:

„A burglar who has just robbed a shop is making his getaway. As he is running home, a policeman on his beat sees him drop his glove. He doesn't know the man is a burglar, he just wants to tell him he dropped his glove. But when the policeman shouts out to the burglar, "Hey, you! Stop!" the burglar turns round, sees the policeman and gives himself up. He puts his hands up and admits that he did the break-in at the local shop. Question: Why did the burglar do that?" (Vogeley et al., 2001)

Im Vergleich zu motorischen Aktionen und Empathie, bei welchen die Simulations-Theorie eine durchaus plausible Erklärung darstellt, erscheint bei Betrachtung des „False Belief“-Aspektes die Theorie-Theorie als einleuchtende Alternative. Die Ergebnisse von Vogeley et al. (2001) weisen allerdings darauf hin, dass auch bei diesem Aspekt der ToM keine der beiden Theorien alleine die gefundenen Korrelate erklären kann. Vielmehr scheint eine Kombination aus beiden die besten Erklärungen zu liefern.

4.1.4 Vorhersage der Aktionen anderer für ein strategisches Vorgehen

Während in „False Belief“-Studien das scheinbar unsinnige Verhalten von Akteuren erklärt werden soll, fordern andere Studien das Verwenden der ToM-Fähigkeiten in sozialen Interaktionen. Die Handlungen anderer werden vorhergesagt um das eigene strategische Verhalten darauf ausrichten zu können. In diesen Experimenten kommen vor allem aus der Spieltheorie entlehnte Setups zum Einsatz (vgl. Gallagher et al., 2002; McCabe, Houser, Ryan, Smith & Trouard, 2001; Rilling, Sanfey, Aronson, Nystrom & Cohen, 2004). So lassen z.B. Rilling et al. (2004) Versuchspersonen im so genannten Prisonersdilemma-Spiel gegen (vom Computer vorgetäuschte) Gegenspieler oder ein Computerprogramm antreten und messen dabei mit fMRT die Gehirnaktivität der Probanden. In diesem Spiel (vgl. die Auszahlungsmatrix in Abbildung 2) können sich die Spieler für den Verrat am Mitspieler oder Kooperation ihrerseits entscheiden. Ein Spiel in mehreren Runden bewirkt, dass die Spieler Überlegungen anstellen, wie sie, aufbauend auf den bisherigen Spielerfahrungen mit dem Mitspieler, ihren nächsten Zug gestalten.

		Player A (scanned)	
		Cooperate	Defect
Player B	Cooperate	\$5 (\$5)	\$6 (\$0)
	Defect	\$0 (\$6)	\$1 (\$1)

Abbildung 2 - Die Auszahlungsmatrix im Prisonersdilemma-Spiel (aus Rilling et al., 2004)

Diese Experimente motivieren die Teilnehmer, ihre ToM-Fähigkeiten aktiv einzusetzen, um ein von ihnen angestrebtes Ziel zu erreichen. Deshalb wirken sie besonders realitätsnah und untersuchen zudem einen anderen Aspekt als die unter 4.1.3 vorgestellten Studien.

4.2 Unterschiedliche Experimentelle Ansätze

Eine Untersuchung der unterschiedlichen experimentellen Ansätze findet gewisse Überlappungen mit den unter 4.1 vorgestellten unterschiedlichen Aspekten der ToM, kann aber auch neue entscheidende Unterschiede zwischen verschiedenen Studien herausarbeiten. Die im Folgenden aufgeführte Kategorisierung von ToM-Studien anhand der Gegenüberstellung verschiedener Blickwinkel stellt nur einen kleinen Ausschnitt möglicher Unterscheidungen dar. Sie verdeutlicht aber bereits die Vielseitigkeit der Setups und die damit einhergehende problematische Frage, ob bei all diesen Studien das gleiche Phänomen untersucht wird.

4.2.1 Untersuchung der Einzelteile oder des Gesamtsystems

Die in Abschnitt 3 aufgeführten Anforderungen an ein ToM-System deuten bereits eine mögliche funktionale Aufteilung des gesamten ToM-Systems in einzelne neuronale Komponenten an. Unter dieser Annahme bietet sich die Möglichkeit, das Gesamtsystem anhand einer Einzelbetrachtung seiner Teile zu untersuchen. Diese Art Grundlagenforschung wird in vielen Studien durchgeführt, teils mit dem expliziten Ziel, Komponenten der ToM zu untersuchen, teils im Rahmen der generellen Untersuchung z.B. des Wahrnehmungsapparates. So werden neuronale Korrelate z.B. für die Verarbeitung von Emotionen (Adolphs, Baron-Cohen & Tranel, 2002; Allman, Hakeem, Erwin, Nimchinsky & Hof, 2001; Lane, Fink, Chau & Dolan, 1997; Paradiso, Johnson, Andreasen et al., 1999), für Vorgänge der Selbstreferenzierung (Gusnard, Akbudak, Shulman & Raichle, 2001), für unterschiedliche Blickrichtungen (Adams, Gordon, Baird, Ambady & Kleck, 2003; Kawashima, Sugiura, Kato et al., 1999), für die Verarbeitung von beobachteten Aktionen (Decety et al., 1997; Gallese & Goldman, 1998), für die Unterscheidung zwischen selbst- und fremdverursachten Reizen (Allman et al., 2001; Blakemore, Wolpert & Frith, 2000; Hietanen & Perrett, 1993) oder für die Unterscheidung zwischen zielgerichteten und ungerichteten Bewegungen (Castelli, Happe, Frith & Frith, 2000) gefunden.

Diese eher granularen Studien haben zwei Vorteile: Zum einen haben sie einen relativ einfachen und kontrollierbaren Aufbau und zum anderen erlauben sie es, die als grundlegend vermuteten Eigenschaften nicht nur am Menschen, sondern auch an Tieren zu untersuchen.

Ausgehend von der Annahme, dass das Ganze mehr als die Summe seiner Teile sein kann, wird allerdings die Frage aufgeworfen, ob diese analytische Art der Untersuchung eines so komplexen Systems bereits alle Fragen beantworten kann. Aus diesem Grund, steht dem eben beschriebenen Bottom-Up-Ansatz ein eher top-down-orientierter Ansatz entgegen, in welchem das gesamte ToM-System in Aktion untersucht wird. Zu diesen Studien zählen alle unter 4.1 aufgeführten und viele andere (vgl. z.B. Baron-Cohen, Ring, Wheelwright et al., 1999; Calarge et al., 2003; Fletcher, Happe, Frith et al., 1995; Gallagher, Happe, Brunswick et al., 2000; Gallagher et al., 2002; McCabe et al., 2001; Ramnani & Miall, 2004; Rilling et al., 2004; Vogeley et al., 2001). Da hierfür nur Untersuchungen an Menschen in Frage kommen, bleiben letztlich nur zwei Möglichkeiten: die Anwendung noninvasiver bildgebender Verfahren an gesunden Teilnehmern und neuropsychologische Studien an Patienten. Außerdem geraten der Aufbau und die Komplexität dieser Experimente an die Grenze der Kontrollier- und Überschaubarkeit (siehe hierzu auch Abschnitt 4.3). Ihr Vorteil liegt dagegen zum einen in der oben angedeuteten Gesamtsicht des Systems, zum anderen in der Realitätsnähe und damit auch Generalisierbarkeit der Experimente.

4.2.2 Untersuchungen „Offline“ oder „Online“

Gallagher & Frith (2003) führen eine Unterscheidung experimenteller Setups in Online- und Offline-Aufgaben ein. Offline-Studien stellen die klassische Art der ToM-Studien dar, in denen Versuchspersonen z.B. eine Geschichte lesen und anschließend erklären müssen, warum die Hauptperson auf bestimmte Weise gehandelt hat (Fletcher et al., 1995) oder warum sie sich wie fühlt (Calarge et al., 2003). Diese Art Untersuchung erlaubt es, komplexe Situationen aufzubauen und gezielt die Momente der Erklärungsfindung zu untersuchen, was den Beschränkungen heutiger bildgebender Verfahren entgegenkommt.

Im Gegensatz dazu lassen die moderneren Online-Studien Versuchspersonen aktiv Entscheidungen auf Basis der Beurteilung der mentalen Zustände anderer treffen, welche sich anschließend z.B. in einem Spiel direkt positiv oder negativ auswirken (Gallagher et al., 2002; McCabe et al., 2001; Rilling et al., 2004). Diese Aufgaben sind dank des direkten Feedbacks und der aktiven Einbindung der Versuchspersonen in das Geschehen deutlich realitätsnäher und intensiver.

Aufgrund dieser Unterschiede ist es möglich, dass diese beiden Studientypen Korrelate unterschiedlicher Gehirnfunktionen untersuchen, z.B. für Gedächtniskomponenten (episodische oder eher emotionale Gedächtnisinhalte) oder Gehirnbereiche, welche vor allem beim subjektiven Finden von Entscheidungen eine Rolle spielen.

4.2.3 Aktives Handeln oder passives Rezipieren

Eine weitere Unterscheidung ist die zwischen Studien, in denen aktives Handeln auf Basis der ToM-Fähigkeiten gefordert wird, und denen, in denen die Teilnehmer vor allem passiv Wahrnehmen. Sie ist der unter 4.2.2 eingeführten Unterscheidung ähnlich, deckt sich aber nicht vollständig mit dieser. So gelten einige der dort als offline aufgeführten Studien (z.B. Calarge et al., 2003; Fletcher et al., 1995), in welchen Teilnehmer Geschichten interpretieren, hier als aktiv. Schließlich müssen die ToM-Fähigkeiten noch angewandt werden. Dagegen können andere Studien, welche z.B. den empathischen Teil der ToM untersuchen (z.B. Singer et al., 2004), als eher passiv eingestuft werden. Die Teilnehmer müssen hier nicht überlegen, sie müssen nichts erklären, sie müssen einfach nur passiv wahrnehmen und werden dabei untersucht. Dies wirft die Frage auf, ob hier nicht deutlich unterschiedliche Komponenten eines (mutmaßlich gemeinsamen) ToM-Systems untersucht werden.

4.2.4 Sprachliche oder nonsprachliche Untersuchungen

Die Frage der Verwendung von Sprache in Studien führt direkt zum in Abschnitt 2 eingeführten Streit zwischen der Simulations-Theorie und der Theorie-Theorie. Während erstere von einer eher nonsprachlichen Verarbeitung im ToM-System ausgeht, stützt sich letztere auf quasisprachliches,

erworbenes Wissen. Dementsprechend spielt die Unterscheidung in Studien, welche Sprache verwenden, und die, welche ohne Sprache auskommen, eine wichtige Rolle. Hinzu kommt, dass sprachliche Studien oftmals auf die Imaginationskraft der Teilnehmer setzen (z.B. Calarge et al., 2003; Fletcher et al., 1995), während nonsprachliche Studien die Probanden oftmals in ein Geschehen einbinden (z.B. McCabe et al., 2001; Ramnani & Miall, 2004; Rilling et al., 2004). Zu erwähnen ist allerdings, dass auch nonsprachliche Studien, z.B. mit Bildergeschichten (Varley & Siegal, 2000), nicht immer ohne Imagination auskommen.

Zusammengefasst ist anzunehmen, dass sowohl der Einsatz von Sprache an sich als auch die oftmals damit verbundene Imagination einen deutlichen Unterschied im hierfür verwendeten neuronalen System verursachen (vgl. Gallagher & Frith, 2003).

4.2.5 Private oder soziale Intentionen

Bei Walter, Adenzato, Ciaramidaro et al. (2004) findet sich die Unterscheidung zwischen der Anwendung der ToM auf private und soziale Intentionen. Typische Situationen für das Ableiten einer privaten Intention sind beispielsweise: Eine Person steht mit einer Glühbirne vor einer Leiter; eine Person schiebt eine Pizza in den Ofen. Soziale Intentionen dagegen sind z.B.: Eine Person deutet für jemand anderen am Tischende auf eine Flasche um anzudeuten, dass sie diese haben möchte; eine Person deutet auf einen Sitz im Zug, um zu erfahren, ob dieser noch frei ist. Selbst zukunftsgerichtete soziale Intentionen können von privaten unterschieden werden, wie z.B.: Eine Person bereitet ein romantisches Dinner vor. (vgl. Walter et al., 2004)

Für diese Unterscheidung wurden deutlich unterschiedliche Aktivierungsmuster gefunden. Dies wirft die Frage auf, inwiefern vorhergehende Studien bei der statistischen Auswertung ihrer Daten (und Mittelung der sich nun als prinzipiell verschieden herausgestellten Ergebnisse) Aktivierungsmuster übersehen oder womöglich falsch interpretiert haben.

Des Weiteren deutet diese unerwartete neue Kategorisierung von Stimuli (Private und soziale Geschichten) an, dass die ToM ein äußerst komplexes Konstrukt ist, welches (besonders in Top-Down-Studien) schwer zu untersuchen ist und für welches experimentelle Setups schwer zu erstellen sind.

4.3 Vergleichsmessungen

Besonders bei den bildgebenden Top-Down-Studien (siehe 4.2.1) stellt sich die Frage nach geeigneten Kontrollbedingungen. Folgende Situationen/Stimuli werden beispielsweise für die notwendigen Vergleichsmessungen herangezogen:

- Interpretieren physikalischer Geschichten im Vergleich zu ToM-Geschichten, z.B.: Das Sonnenlicht scheint durch eine Lupe und zündet Papier an (Vogeley et al., 2001).

- Lesen unzusammenhängender Satzsammlungen im Vergleich zu ToM-Geschichten (Fletcher et al., 1995).
- Vorlesen „nicht ToM-Elemente enthaltender“ Geschichten im Vergleich zum Erzählen einer Geschichte, warum eine Person sich traurig fühlt (Calarge et al., 2003).
- Spielen gegen eine Zufallsreihenfolge von Zügen oder ein „intelligentes“ Computerprogramm im Vergleich zum Spiel gegen einen Menschen (Gallagher et al., 2002; McCabe et al., 2001; Rilling et al., 2004).

Die Komplexität der in diesen Studien stattfindenden Vorgänge birgt z.B. das Risiko, dass die Aktivierung von Komponenten, die eigentlich Teile des ToM-Systems sind, in der Kontrollbedingung durch unzureichende Vorsichtsmaßnahmen herausgefiltert werden. So könnte z.B. der Fall eintreten, dass bei anscheinend physikalischen Vorgängen „fälschlicherweise“ trotzdem ToM-Fähigkeiten genutzt werden (was einer unangebrachten Verwendung des „Intentional Stance“ im Vergleich zum eigentlich angebrachten „Physical Stance“ entspräche (vgl. Dennett, 1996)). In der Tat fanden Rilling et al. (2004) Aktivierungen der für die ToM typischen Gehirnareale, wenn die Teilnehmer wissentlich gegen ein Computerprogramm spielten, nicht aber beim Spiel gegen ein zufallsgesteuertes Programm. Die Teilnehmer könnten also versucht haben, das Spiel des „intelligenten“ Programms mit Hilfe ihrer ToM-Fähigkeiten zu verstehen, anstatt es rational zu analysieren.

Ein großer Vorteil der auf Spielen mit menschlichen und Computergegnern basierten ToM-Studien ist, dass ihre Kontrollbedingungen den ToM-Bedingungen fast vollständig ähneln. Der einzige Unterschied ist der zwischen den Gegnern, weshalb hier die Vergleichbarkeit der Aufgaben bis auf den ToM-Teil angenommen werden kann (vgl. Gallagher & Frith, 2003). Im Gegensatz dazu sind die oben aufgeführten Kontrollaufgaben anderer Studien stark unterschiedlich zur jeweiligen ToM-Aufgabe.

Dies alles verdeutlicht noch einmal die Problematik der ToM-Studien, die auf eine hohe Betrachtungsebene zielen. Das Finden geeigneter Kontrollbedingungen birgt bei diesen Versuchen noch stärker als bei weniger komplexen Experimenten vielfältige, teils sicher auch noch unentdeckte, Probleme.

5 Eine Kartierung der Theory of Mind

Im Folgenden werden die in ToM-Studien aktivierten Gehirnbereiche und die ihnen jeweils zugeschriebenen Funktionen dargestellt. Dabei werden diese Bereiche als Kernregionen oder Peripherie eines möglichen ToM-Systems im Gehirn kategorisiert.

Goldman, 1998). Die Aktivität der Spiegelneuronen korreliert hoch mit dem Ausführen bestimmter zielgerichteter Aktionen. Das Besondere ist, dass sie auch aktiviert werden, wenn beobachtete Personen ähnliche Aktionen ausführen. Kanonische Neuronen zeigen ein ähnliches Verhalten. Sie feuern beim Benutzen eines Objektes und auch beim reinen Betrachten eines Objektes.

Diese Forschungsergebnisse scheinen die Simulations-Theorie zu unterstützen: Aktionen anderer werden durch Eigensimulation verstanden. Allerdings ist das Spiegeln der Spiegelneuronen stark eingeschränkt. Es gilt z.B. nicht für Werkzeuggebrauch (Tai, Scherfler, Brooks, Sawamoto & Castiello, 2004) und auch nicht für indirekt bestimmte Aktionen (Ramnani & Miall, 2004).

So bleibt der Premotor Cortex als eher peripheres ToM-Areal auf relativ einfache Aufgaben beschränkt, wie sie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben wurden.

5.6 Orbitofrontal Cortex

Der Orbitofrontal Cortex (in Abbildung 5 als OG verzeichnet) ist laut Damasio (1994) eines der wichtigsten Areale für die Steuerung sozialen Verhaltens. Menschen mit Verletzungen in diesem Bereich zeigen Symptome wie die falsche Einschätzung komplexer Situationen und Probleme beim Treffen von Entscheidungen (Bechara et al., 2003). Dementsprechend fanden Stone et al. (1998) eher sehr spezielle und subtile Beeinträchtigungen von OG-Patienten in ToM-Aufgaben. Diese beschränkten sich auf das Erkennen von Fauxpas-Situationen, während normale ToM-Aufgaben (ähnlich zu der in Abbildung 1 gezeigten) den Versuchspersonen keine Probleme bereiteten.

Sabbagh (2004) vermutet im OG die Funktion zur Dekodierung mentaler Zustände (im Gegensatz zum Nachdenken über mentale Zustände).

Insgesamt allerdings kann die Wichtigkeit des OG bei ToM-Aufgaben in Frage gestellt werden. Die Funktion des OG wird auch als Zentrale für das Handeln nach moralischen Normen gesehen (vgl. Damasio, 1994) und somit müssen die Fauxpas-Erkennungsfehler der OG-Patienten nicht mit Problemen des Perspektivwechsels (als ToM-Fähigkeit) verbunden sein. Auch Sabbaghs Ergebnisse sprechen dem OG eher eine periphere Rolle zu. Des Weiteren deutet auch die Tatsache, dass Aktivierungen des OG in anderen Studien nur sehr selten gefunden wurden, auf einen eher geringen Einfluss des OG auf die ToM-Fähigkeiten hin.

5.7 Cerebellum

Eine Aktivierung des Cerebellum wurde in vielen Studien zur ToM gefunden, wurde aber bisher kaum eingehend untersucht. Die Aufmerksamkeit der Neurowissenschaft liegt erst seit relativ kurzer Zeit auf der Mitwirkung des Cerebellum bei den nonmotorischen kognitiven Funktionen. Ein weiterer Erkenntniszuwachs ist hier in Zukunft also zu erwarten (Timmann-Braun, 2003). Daneben scheint das

Cerebellum auch eine Rolle bei der Verarbeitung von Emotionen zu spielen (vgl. z.B. Paradiso et al., 1999), wodurch auch hier ein gewisser Einfluss auf die ToM-Fähigkeiten zu finden sein könnte.

6 Diskussion

In den vorangegangenen Abschnitten wurden experimentelle Ansätze zur Erforschung der Theory of Mind vorgestellt, die dabei gefundenen aktivierten Hirnareale präsentiert und ihre Rolle für die ToM-Fähigkeiten des Menschen diskutiert.

Mittlerweile wurden viele Erkenntnisse zur ToM gefunden und für bestimmte Gehirnbereiche, wie den Anterior Cingulate Cortex oder die Superior Temporal Sulcus besteht eine gewisse Sicherheit, dass sie an den ToM-Fähigkeiten des Menschen beteiligt sind. Andere Hirnareale können eher als aufgabenabhängige Peripherie gesehen werden. Besonders für diese Gehirnbereiche sind viele Ergebnisse sehr inkonsistent. Das kann an den unterschiedlichen Setups der Studien und den unterschiedlichen Aspekten der ToM liegen, welche in Abschnitt 4 vorgestellt wurden.

In diesem Zusammenhang muss die Frage gestellt werden, inwiefern es sich in den verschiedenen Studien nur um die Untersuchung verschiedener Aspekte der ToM handelt oder ob die ToM als komplexes psychologisch-philosophisches Konstrukt nicht zu unscharf für die naturwissenschaftliche Erforschung ist. Mögen Empathie, das Nachvollziehen motorischen Verhaltens und die Strategiefindung in Spielen auf den ersten Blick ähnliche Vorgänge sein, so sind sie bei genauerer Betrachtung doch extrem unterschiedliche Prozesse. Die Suche nach den gemeinsamen Gehirnarealen für die *eine* Theory of Mind könnte dadurch behindert werden, dass das untersuchte Konstrukt selbst auf einer zu hohen Abstraktionsebene definiert ist. Genauere Definitionen und präziser ausgearbeitete Fragestellungen sind hier gefragt und könnten Fortschritte bringen.

Eine weitere Frage, die bei Sichtung der Literatur aufgeworfen wird, ist die nach möglichen Geschlechtsunterschieden und entsprechenden neuronalen Korrelaten bei der Anwendung der ToM-Fähigkeiten. So werden zwar z.B. von Baron-Cohen (2003) theoretische Konstrukte zur ToM bei Frauen und Männern entwickelt, in der empirischen neurowissenschaftlichen Forschung gibt es aber bisher keine Studien zu diesem Thema – selbst in den vorhandenen Studien wurden etwaige Unterschiede nicht nachträglich untersucht. Dies verwundert angesichts der großen Menge Literatur, die sich mit Geschlechtsunterschieden, besonders auch beim zwischenmenschlichen Verhalten, beschäftigt.

Am Beispiel der Erforschung der Theory of Mind zeigt sich eindrucksvoll, welche Erkenntnis-Fortschritte durch das Zusammenwirken der Psychologie und der Hirnforschung erreicht werden können. Die Ergebnisse dieser Forschung können zum Verständnis von damit verbundenen

Krankheiten wie Autismus oder dem Williams-Syndrom beitragen und so auch langfristig zu einer Verbesserung der Behandlung dieser Patienten führen. Gleichzeitig zeigen sich hier aber auch die Probleme eine Forschung, die mit naturwissenschaftlichen Methoden hochkomplexe psychologische Konstrukte untersucht. Das finden präziser Fragestellungen und der Aufbau exakter Experimente werden in diesem Feld aufgrund der Komplexität des Untersuchungsgegenstandes ein kritischer, immer wieder zu hinterfragender Punkt bleiben.

Literatur

- Adams, R. B., Jr., Gordon, H. L., Baird, A. A., Ambady, N. & Kleck, R. E. (2003). Effects of gaze on amygdala sensitivity to anger and fear faces. Science, 300(5625), 1536.
- Adolphs, R., Baron-Cohen, S. & Tranel, D. (2002). Impaired recognition of social emotions following amygdala damage. J Cogn Neurosci, 14(8), 1264-1274.
- Allman, J. M., Hakeem, A., Erwin, J. M., Nimchinsky, E. & Hof, P. (2001). The anterior cingulate cortex. The evolution of an interface between emotion and cognition. Ann N Y Acad Sci, 935, 107-117.
- Baron-Cohen, S. (1995). Mindblindness : an essay on autism and theory of mind. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Baron-Cohen, S. (2003). The essential difference : men, women and the extreme male brain. London: Allen Lane.
- Baron-Cohen, S., Ring, H. A., Wheelwright, S., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Simmons, A., et al. (1999). Social intelligence in the normal and autistic brain: an fMRI study. Eur J Neurosci, 11(6), 1891-1898.
- Barracough, N. E., Xiao, D., Baker, C. I., Oram, M. W. & Perrett, D. I. (2005). Integration of Visual and Auditory Information by Superior Temporal Sulcus Neurons Responsive to the Sight of Actions. J. Cogn. Neurosci., 17(3), 377-391.
- Bechara, A., Damasio, H. & Damasio, A. R. (2003). Role of the amygdala in decision-making. Ann N Y Acad Sci, 985, 356-369.
- Blakemore, S. J., Wolpert, D. & Frith, C. (2000). Why can't you tickle yourself? Neuroreport, 11(11), R11-16.
- Borden, C. (2004). Neuroanatomy Atlas. (Online). Verfügbar unter: <http://www.psychology.nottingham.ac.uk/staff/cr1/anatomy/home.html> (20.11.2004)
- 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.
- Bush, G., Luu, P. & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. Trends Cogn Sci, 4(6), 215-222.
- Calarge, C., Andreasen, N. C. & O'Leary, D. S. (2003). Visualizing how one brain understands another: a PET study of theory of mind. Am J Psychiatry, 160(11), 1954-1964.
- Castelli, F., Happe, F., Frith, U. & Frith, C. (2000). Movement and mind: a functional imaging study of perception and interpretation of complex intentional movement patterns. Neuroimage, 12(3), 314-325.
- Damasio, A. R. (1994). Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain. London: Papermac.
- Decety, J., Grezes, J., Costes, N., Perani, D., Jeannerod, M., Procyk, E., et al. (1997). Brain activity during observation of actions. Influence of action content and subject's strategy. Brain, 120 (Pt 10), 1763-1777.
- Dennett, D. C. (1996). Kinds of minds : toward an understanding of consciousness (1st ed.). New York, NY: BasicBooks.
- Farrow, T. F., Zheng, Y., Wilkinson, I. D., Spence, S. A., Deakin, J. F., Tarrrier, N., et al. (2001). Investigating the functional anatomy of empathy and forgiveness. Neuroreport, 12(11), 2433-2438.
- Fletcher, P. C., Happe, F., Frith, U., Baker, S. C., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S., et al. (1995). Other minds in the brain: a functional imaging study of "theory of mind" in story comprehension. Cognition, 57(2), 109-128.
- Frith, C. & Frith, U. (2001). The Biological Basis of Social Interaction. Current Directions in Psychological Science, 10(5), 151-155.
- Frith, C. D. & Frith, U. (1999). Interacting minds--a biological basis. Science, 286(5445), 1692-1695.

- Frith, U. & Happe, F. (1999). Theory of Mind and Self-Consciousness: What Is It Like to Be Autistic? Mind and Language, *14*(1), 82-89.
- Gallagher, H. L. & Frith, C. D. (2003). Functional imaging of 'theory of mind'. Trends Cogn Sci, *7*(2), 77-83.
- Gallagher, H. L., Happe, F., Brunswick, N., Fletcher, P. C., Frith, U. & Frith, C. D. (2000). Reading the mind in cartoons and stories: an fMRI study of 'theory of mind' in verbal and nonverbal tasks. Neuropsychologia, *38*(1), 11-21.
- Gallagher, H. L., Jack, A. I., Roepstorff, A. & Frith, C. D. (2002). Imaging the intentional stance in a competitive game. Neuroimage, *16*(3 Pt 1), 814-821.
- Gallese, V. & Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. Trends Cogn Sci, *2*(12), 493-501.
- Gusnard, D. A., Akbudak, E., Shulman, G. L. & Raichle, M. E. (2001). Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity: relation to a default mode of brain function. Proc Natl Acad Sci U S A, *98*(7), 4259-4264.
- Hietanen, J. K. & Perrett, D. I. (1993). Motion sensitive cells in the macaque superior temporal polysensory area. I. Lack of response to the sight of the animal's own limb movement. Exp Brain Res, *93*(1), 117-128.
- Kawashima, R., Sugiura, M., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Ito, K., et al. (1999). The human amygdala plays an important role in gaze monitoring. A PET study. Brain, *122* (Pt 4), 779-783.
- Lane, R. D., Fink, G. R., Chau, P. M. & Dolan, R. J. (1997). Neural activation during selective attention to subjective emotional responses. Neuroreport, *8*(18), 3969-3972.
- Leslie, A. M. (1994). Pretending and believing: issues in the theory of ToMM. Cognition, *50*(1-3), 211-238.
- McCabe, K., Houser, D., Ryan, L., Smith, V. & Trouard, T. (2001). A functional imaging study of cooperation in two-person reciprocal exchange. Proc Natl Acad Sci U S A, *98*(20), 11832-11835.
- Ochsner, K. N. & Lieberman, M. D. (2001). The emergence of social cognitive neuroscience. Am Psychol, *56*(9), 717-734.
- Paradiso, S., Johnson, D. L., Andreasen, N. C., O'Leary, D. S., Watkins, G. L., Ponto, L. L., et al. (1999). Cerebral blood flow changes associated with attribution of emotional valence to pleasant, unpleasant, and neutral visual stimuli in a PET study of normal subjects. Am J Psychiatry, *156*(10), 1618-1629.
- Puce, A., Allison, T., Bentin, S., Gore, J. C. & McCarthy, G. (1998). Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. J Neurosci, *18*(6), 2188-2199.
- Ramnani, N. & Miall, R. C. (2004). A system in the human brain for predicting the actions of others. Nat Neurosci, *7*(1), 85-90.
- Rilling, J. K., Sanfey, A. G., Aronson, J. A., Nystrom, L. E. & Cohen, J. D. (2004). The neural correlates of theory of mind within interpersonal interactions. Neuroimage, *22*(4), 1694-1703.
- Rizzolatti, G. & Fadiga, L. (1998). Grasping objects and grasping action meanings: the dual role of monkey rostroventral premotor cortex (area F5). Novartis Found Symp, *218*, 81-95; discussion 95-103.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V. & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. Brain Res Cogn Brain Res, *3*(2), 131-141.
- Sabbagh, M. A. (2004). Understanding orbitofrontal contributions to theory-of-mind reasoning: implications for autism. Brain Cogn, *55*(1), 209-219.
- Singer, T., Seymour, B., O'Doherty, J., Kaube, H., Dolan, R. J. & Frith, C. D. (2004). Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. Science, *303*(5661), 1157-1162.
- Stone, V. E., Baron-Cohen, S. & Knight, R. T. (1998). Frontal lobe contributions to theory of mind. J Cogn Neurosci, *10*(5), 640-656.
- Tai, Y. F., Scherfler, C., Brooks, D. J., Sawamoto, N. & Castiello, U. (2004). The human premotor cortex is 'mirror' only for biological actions. Curr Biol, *14*(2), 117-120.
- Timmann-Braun, D., Maschke, M. (2003). Das Kleinhirn ganz groß. Essener Unikate, *22*, 18-29.

- Varley, R. & Siegal, M. (2000). Evidence for cognition without grammar from causal reasoning and 'theory of mind' in an agrammatic aphasic patient. Curr Biol, 10(12), 723-726.
- Vogeley, K., Bussfeld, P., Newen, A., Herrmann, S., Happe, F., Falkai, P., et al. (2001). Mind reading: neural mechanisms of theory of mind and self-perspective. Neuroimage, 14(1 Pt 1), 170-181.
- Walter, H., Adenzato, M., Ciaramidaro, A., Enrici, I., Pia, L. & Bara, B. G. (2004). Understanding intentions in social interaction: the role of the anterior paracingulate cortex. J Cogn Neurosci, 16(10), 1854-1863.