

**Reflexive soziale Aufmerksamkeitsorientierung:  
Verhalten, Hirnaktivierung und Effekte der fMRT-Schichtführung**

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Schneider, Maximilian  
aus Wiesbaden

Gießen 2024

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen  
Zentrum für Psychiatrie  
Arbeitsgruppe Kognitive Neurowissenschaften (CNS@ZPG)

Gutachter: Herr Prof. Dr. Gebhard Sammer

Gutachter: Frau Prof. Dr. G.A. Krombach

Tag der Disputation: 05.05.2025

Meiner Mutter gewidmet.

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Theoretischer Hintergrund zu sozialen Aufmerksamkeitsprozessen</b> .....	<b>4</b>
2.1 Von der Blickbeobachtung zur Theory-of-Mind.....	4
2.1.1 Blickreize als Träger sozialer Information: Direkter und abgewandter Blick..	4
2.1.2 Gaze-Following, Joint-Attention und Theory-of-Mind .....	5
2.1.3 Die ontogenetische Entwicklung von Gaze-Following- und Joint-Attention- Fähigkeiten.....	7
2.1.4 Die ontogenetische Entwicklung von Theory-of-Mind-Fähigkeiten.....	8
2.1.5 Psychopathologische Aspekte von Gaze-Following, Joint-Attention und Theory-of-Mind .....	8
2.2 Visuelle räumliche Aufmerksamkeitsorientierung.....	10
2.2.1 Peripheres vs. zentrales Cueing .....	10
2.2.2 Zentrale Blickhinweisreize .....	12
2.2.3 Zentrale Blick- und Pfeilhinweisreize im Vergleich .....	14
2.3 Neurophysiologische Korrelate zur Verarbeitung von Gesichtern.....	16
2.3.1 Das Kern-System nach Haxby et al. (2000).....	18
2.4 Neurophysiologische Korrelate zur Verarbeitung von Blickreizen .....	19
2.4.1 Amygdala.....	20
2.4.2 Sulcus temporalis superior .....	21
2.5 Neurophysiologische Korrelate von Joint-Attention.....	22
2.5.1 Das Mentalisierungssystem nach Pfeiffer et al. (2013) .....	24
2.5.2 Das motivational-affektive System nach Pfeiffer et al. (2013).....	25
2.5.3 Das Spiegelneuronen-System nach Pfeiffer et al. (2013) .....	26
2.6 Neurophysiologische Korrelate der visuellen räumlichen Aufmerksamkeitsorientierung .....	27
2.7 Neurophysiologische Korrelate von zentralem Cueing mit Blick- und Pfeilhinweisreizen .....	29

2.7.1 Cueing-Studien mit direktem Vergleich von zentralen Blick- und Pfeilhinweisreizen.....	30
2.7.2 Cueing-Studien mit indirektem Vergleich von zentralen Blick- und Pfeilhinweisreizen.....	33
2.7.3 Cueing-Studien mit zentralen Blick- und Pfeilhinweisreizen in der Zusammenschau.....	34
<b>3. Theoretischer Hintergrund zum Einfluss der fMRT-Schichtführung auf die Messung der hämodynamischen Aktivierung .....</b>	<b>36</b>
<b>4. Fragestellung .....</b>	<b>39</b>
4.1 Hauptfragestellung: Verhalten und Hirnaktivierung bei der reflexiven sozialen Aufmerksamkeitsorientierung .....	39
4.1.1 Herleitung der Hauptfragestellung.....	39
4.1.2 Experimentelle Konzeption .....	41
4.1.3 Behaviorale Korrelate .....	43
4.1.4 Hämodynamische Korrelate.....	43
4.2 Nebenfragestellung: Effekte der fMRT-Schichtführung auf die gemessene hämodynamische Aktivierung.....	44
4.2.1 Herleitung der Nebenfragestellung und experimentelle Konzeption.....	44
4.2.2 Hypothesen zur Überprüfung von Effekten der fMRT-Schichtführung.....	45
<b>5. Methoden .....</b>	<b>46</b>
5.1 Stichprobe.....	46
5.2 Versuchsdesign und Variablen .....	46
5.2.1 Experimentelles Design .....	46
5.2.2. Experimentelle Subdesigns .....	48
5.2.2.1 Verhalten der Gesamtstichprobe .....	48
5.2.2.2 Hämodynamische Aktivierung der Gesamtstichprobe.....	48
5.2.2.3 Verhalten und hämodynamische Aktivierung hinsichtlich der fMRT-Schichtführung .....	49
5.3 Verteilung der Gesamtstichprobe und Kontrolle von Störvariablen .....	50

5.4 Stimulusmaterial .....	51
5.5 Versuchsanordnung .....	53
5.5.1 Aufbau eines experimentellen Trials .....	53
5.5.2 Abschnitte und Blöcke der Versuchsanordnung.....	54
5.6 Messdatenerfassung.....	55
5.6.1 Verhalten.....	55
5.6.2 Hämodynamische Aktivierung .....	55
5.6.3 fMRT-Schichtführung.....	57
5.7 Allgemeiner Versuchsablauf und Rahmenbedingungen .....	58
5.8 Datenauswertung .....	59
5.8.1 Verhaltensdaten.....	59
5.8.2 fMRT-Daten.....	60
<b>6. Ergebnisse.....</b>	<b>64</b>
6.1 Verhaltensdaten der Gesamtstichprobe (Hypothese 1) .....	64
6.2 fMRT-Daten der Gesamtstichprobe (Hypothese 2).....	66
6.2.1 Kontrast „soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize“ bei sozialen Zielreizen und SOA 100 ms.....	66
6.2.2 Kontrast nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize bei sozialen Zielreizen und SOA 100 ms.....	69
6.2.3 Kontrast soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms.....	71
6.2.4 Kontrast nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms.....	73
6.2.5 Soziale vs. nicht-soziale Zielreize (Gesamtstichprobe).....	75
6.3 Verhaltensdaten der fMRT-Schichtführungsgruppen (Hypothese 3).....	75
6.4 fMRT-Daten der Schichtführungsgruppen (Hypothese 4) .....	78
6.4.1 Kontrast „soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize“ bei sozialen Zielreizen und SOA 100 ms.....	79

6.4.2 Kontrast „nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize“ bei sozialen Zielreizen und SOA 100 ms.....	80
6.4.3 Kontrast „soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize“ bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms.....	81
6.4.4 Kontrast „nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize“ bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms.....	82
6.4.5 Soziale vs. nicht-soziale Zielreize (Schichtführung) .....	83
<b>7. Diskussion der behavioralen und hämodynamischen Korrelate der Gesamtstichprobe (Hauptfragestellung) .....</b>	<b>84</b>
7.1 Unterschiede auf der Verhaltensebene zwischen sozialen und nicht-sozialen Reizbedingungen (Hypothese 1) .....	84
7.2 Unterschiede in der hämodynamischen Aktivierung zwischen sozialen und nicht-sozialen Reizbedingungen (Hypothese 2) .....	86
7.2.1 Aktivierungen bei der Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen .....	87
7.2.1.1 Gyrus temporalis medius.....	88
7.2.1.2 Gyrus lingualis .....	89
7.2.1.3 Gyrus frontalis medius .....	90
7.2.2 Aktivierungen bei den Kombinationen von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen sowie sozialen Hinweis- mit nicht-sozialen Zielreizen .....	91
7.2.2.1 Gyrus fusiformis.....	92
7.2.2.2 Visueller Cortex .....	92
7.2.3 Aktivierungen bei nicht-sozialen Hinweisreizen .....	94
7.2.3.1 Gyrus occipitalis medius .....	94
7.2.3.2 Lobulus parietalis superior .....	94
7.2.4 Keine Aktivierungsdifferenzen bei den miteinander kontrastierten Zielreiz-Typen .....	95
7.2.5 Das Ausbleiben erwartbarer Aktivierungen.....	96
7.3 Zusammenfassung und Fazit in Bezug auf die Hauptfragestellung .....	97

<b>8. Diskussion der Befunde zur fMRT-Schichtführung (Nebenfragestellung) .....</b>	<b>102</b>
8.1 Vergleichbarkeit der fMRT-Schichtführungsgruppen auf der Verhaltensebene (Hypothese 3) .....	102
8.2 Der Einfluss der fMRT-Schichtführung auf die gemessene hämodynamische Aktivierung (Hypothese 4) .....	103
<b>9. Limitationen.....</b>	<b>106</b>
9.1 Eingrenzung der betrachteten Variablen .....	106
9.1.1 Keine Analyse der SOA-Bedingung von 800 ms .....	106
9.1.2 Keine Analyse der hämodynamischen Aktivierung durch die Kongruenz- Bedingung .....	106
9.2 Limitationen durch die Stichprobe und individuelle Einflussfaktoren.....	107
9.3 Limitationen durch das fMRT-Messverfahren .....	108
9.4 Validität in Bezug auf die Hauptfragestellung .....	108
9.5 Validität in Bezug auf die Nebenfragestellung.....	110
<b>10. Zusammenfassung.....</b>	<b>111</b>
<b>11. Summary .....</b>	<b>113</b>
<b>12. Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>114</b>
<b>13. Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>117</b>
<b>14. Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>119</b>
<b>15. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>122</b>
<b>16. Publikationsverzeichnis .....</b>	<b>143</b>
<b>17. Ehrenwörtliche Erklärung .....</b>	<b>144</b>
<b>18. Danksagung.....</b>	<b>145</b>

## 1. Einleitung

Soziale Interaktion hat eine essenzielle Funktion für die Entwicklung eines Menschen. Nur durch den Kontakt mit anderen Menschen können adäquate kognitive Fähigkeiten erlernt werden. Bei diversen psychischen Erkrankungen bestehen Störungen der sozialen Kognition, welche das Eingehen und Aufrechterhalten funktionaler sozialer Beziehungen erschweren. Betroffene erleben dadurch häufig einen hohen Leidensdruck.

Insbesondere schizophreiforme und Autismus-Spektrum-Störungen werden mit spezifischen sozialen Kognitionsdefiziten im Bereich von Theory-of-Mind-Fähigkeiten in Verbindung gebracht. „Theory-of-Mind“ (ToM) ist definiert als ein Prozess, bei dem Annahmen über Bewusstseinsvorgänge eines anderen Menschen getroffen werden. Diese können bspw. Gedanken, Emotionen oder intentionales Verhalten betreffen. Damit eine ToM überhaupt entstehen kann, ist die Wahrnehmung von bedeutsamen Informationen über einen Interaktionspartner erforderlich. So kann die Beobachtung der Blickrichtung einer anderen Person Hinweise auf deren Aufmerksamkeitsfokus geben. Wenn die beobachtende Person dem Blick des Gegenübers mit dem eigenen Blick hin zu einem peripheren Objekt folgt, entsteht die soziale Aufmerksamkeitssituation der Joint-Attention (JA). In dieser ist der Fokus beider Personen auf dasselbe Objekt gerichtet. Die Fähigkeit zur Etablierung von JA kann als eine Vorstufe von ToM-Prozessen angesehen werden.

Zugrundeliegende Prozesse von JA können mit dem Gaze-Cueing-Paradigma operationalisiert werden. Im Gaze-Cueing-Paradigma wird eine JA-ähnliche Situation hergestellt. Dabei wird einer Testperson ein zentraler Blickhinweisreiz („Gaze-Cue“) präsentiert, dessen Pupillen auf ein zeitlich versetzt erscheinendes Objekt in der Peripherie, d.h. kongruent zu einem Zielreiz, gerichtet sind. Zusätzlich wird eine Versuchsbedingung mit einem dem Präsentationsort des Zielreizes entgegengerichteten (inkongruenten) Blick eingesetzt. Die Versuchsperson soll dann schnellstmöglich auf das Auftauchen des Zielreizes, z.B. mit einem Tastendruck, reagieren. Die Schnelligkeit der dabei gemessenen Reaktionszeit gibt Hinweise auf die kognitive Verarbeitungseffizienz bzw. die Aufmerksamkeitsleistung. Es konnte vielfach gezeigt werden, dass in kongruenten Bedingungen schnellere Reaktionszeiten als in inkongruenten Bedingungen auftreten. Solche Erleichterungseffekte durch die Kongruenz-Bedingung konnten auch in Cueing-Paradigmen beobachtet werden, in denen das Zeitintervall zwischen der Präsentation des Hinweis- und des Zielreizes kurz war und die Versuchspersonen wussten, dass der Zielreiz mit einer

größeren Wahrscheinlichkeit auf der inkongruenten Seite erscheinen würde. Insgesamt legen diese Befunde nahe, dass beim Gaze-Cueing ein, durch den Blickhinweisreiz ausgelöster, reflexiver Aufmerksamkeitsprozess stattfindet. In der bisherigen Forschung gibt es daneben Belege dafür, dass zentral präsentierte symbolische Hinweisreize, wie z.B. Pfeile, ähnliche Erleichterungseffekte bewirken können. Dies wirft die Frage auf, ob der menschliche Blick, als sozialer Reiz, außergewöhnlich salient für die Aufmerksamkeitsorientierung ist.

Um den Einfluss sozialer Reize auf die Aufmerksamkeitsorientierung zu explorieren, wurden in der vorliegenden Untersuchung die Reaktionen von 52 gesunden Versuchspersonen auf zentral im Blickfeld präsentierte Blick- und Pfeilhinweisreize in einem Cueing-Paradigma miteinander verglichen. Zudem wurde ein weiterer Faktor in das Paradigma eingeführt, welcher den sozialen Kontext der untersuchten Situation erweitern sollte: Der Zielreiz wurde, neben einer nicht-sozialen, auch in einer sozialen Variante präsentiert. Der soziale Hinweisreiz bestand dabei aus einem menschlichen Gesicht mit abgewandtem, der soziale Zielreiz aus einem menschlichen Gesicht mit geradeaus gerichtetem Blick. Als nicht-sozialer Hinweisreiz wurde ein geometrisches Pfeilmuster, als nicht-sozialer Zielreiz ein ungerichtetes geometrisches Muster verwendet. Die Effekte der vier verschiedenen Reiz-Typen wurden dann, in den sich daraus ergebenden Kombinationsmöglichkeiten, in einer Reaktionszeitaufgabe mit Variation der Kongruenz-Bedingung untersucht. Dabei wurde bewusst ein kurzes Zeitintervall von 100 ms zwischen Auftreten des Hinweis- und Zielreizes gewählt, um möglichst exogen gesteuerte bzw. reflexive Aufmerksamkeitsprozesse abzubilden.

Zur Quantifizierung von Unterschieden in der neurokognitiven Verarbeitung der sozialen und nicht-sozialen Reize wurden zum einen die Verhaltensdaten aus der Reaktionszeitaufgabe miteinander verglichen. Zum anderen wurden hämodynamische Korrelate der Hirnaktivierung mittels funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT) erfasst. Insgesamt konnten dadurch Rückschlüsse auf spezifische neuronale Verarbeitungsmuster der reflexiven sozialen Aufmerksamkeitsorientierung gezogen werden. Diese könnten dazu beitragen, pathophysiologische Entstehungsprozesse von psychischen Erkrankungen mit sozialem Kognitionsdefizit zu verstehen.

Eine Nebenfragestellung der Arbeit beschäftigte sich mit dem Einfluss der Messmodalitäten auf die Ergebnisse von fMRT-Untersuchungen. Vorangegangene Forschungsarbeiten legen nahe, dass die Wahl des Schichtführungswinkels einen Einfluss auf die Mes-

sung der hämodynamischen Aktivierung (BOLD-Signale) haben kann. Um dies zu überprüfen, wurden die unter verschiedener Winkeleinstellung erhobenen fMRT-Daten zweier Gruppen innerhalb der Stichprobe miteinander verglichen.

## **2. Theoretischer Hintergrund zu sozialen Aufmerksamkeitsprozessen**

Zur sozialen Aufmerksamkeitsorientierung und den damit verbundenen kognitiven Prozessen wurde in den letzten ca. 20 Jahren, auch unter Aspekten neuer technischer Möglichkeiten, ein weites Spektrum an wissenschaftlichen Arbeiten publiziert. Neben den nachfolgenden theoretischen Grundlagen soll auf einige Review-Artikel verwiesen werden, die ein näheres Verständnis zum Stand der Forschung ermöglichen. Zum Gaze-Cueing-Paradigma wird der Artikel „Gaze Cueing of Attention: Visual Attention, Social Cognition, and Individual Differences“ von Frischen et al. (2007) empfohlen. Einen Zugang zur neuronalen Verarbeitung von Blickreizen liefern Carlin & Calder (2013) mit „The neural basis of eye gaze processing“. Joint-Attention-Prozesse werden differenziert im Review „From gaze cueing to dual eye-tracking: Novel approaches to investigate the neural correlates of gaze in social interaction“ von Pfeiffer et al. (2013) dargestellt. Um einen Überblick zu neuronalen Korrelaten von Aufmerksamkeitsprozessen im Allgemeinen zu erhalten, wird die Arbeit „Dorsal and Ventral Attention Systems: Distinct Neural Circuits but Collaborative Roles“ von Vossel et al. (2014) vorgeschlagen.

### **2.1 Von der Blickbeobachtung zur Theory-of-Mind**

#### **2.1.1 Blickreize als Träger sozialer Information: Direkter und abgewandter Blick**

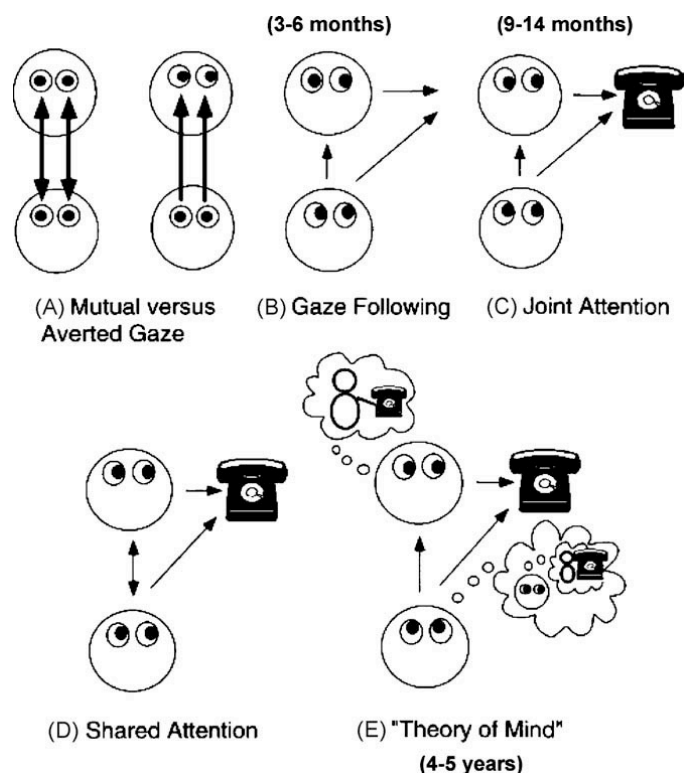
Viele soziale Interaktionen zwischen zwei Individuen beginnen mit einem gegenseitigen bzw. direkten Blickkontakt, der sowohl Wahrnehmung als auch Handlung ist (Pfeiffer et al., 2013). Es konnte beobachtet werden, dass ein direkter Blick die Identifizierung von Gesichtern sowie das Erkennen von Gesichtsausdrücken (Adams Jr & Kleck, 2005) und Geschlecht (Macrae et al., 2002) erleichtert. Auch konnte eine affektive Beeinflussung durch den gegenseitigen Blick aufgezeigt werden: Personen mit direktem Blick werden als attraktiver wahrgenommen (Mason et al., 2005) und Gegenstände mit Bezug zu dieser Person werden mehr gemocht, als das gleiche Objekt ohne diese Verbindung (Strick et al., 2008). Außerdem werden Gesichter mit direktem Blick eher wahrgenommen (vgl. Coelho et al., 2006; Von Grünau & Anston, 1995) und besser erinnert als Gesichter mit abgewandtem Blick (Mason et al., 2004). Daneben scheint ein zentral präsentiertes Gesicht mit direktem Blick, im Gegensatz zu einem mit abgewandtem Blick, die Wahrneh-

mung von peripheren Zielreizen zu verlangsamen, was für eine größere Salienz des direkten Blicks spricht (Senju & Hasegawa, 2005). Ein direkter Blick signalisiert kommunikative Absichten und lässt die verbale Interaktion zwischen Menschen wahrscheinlicher werden (Cary, 1978). Verlängerter Augenkontakt kann aber auch als Tendenz zur Aggression des Gegenübers wahrgenommen werden, was zu einer erhöhten Hautleitfähigkeit, im Vergleich zu einem beobachteten abgewandten Blick, führt (Nichols & Champness, 1971). Ein abgewandter Blick hingegen ist ein starker Hinweis darauf, dass die Aufmerksamkeit eines anderen Individuums nicht auf das beobachtende Gegenüber, sondern auf eine andere Person oder ein Objekt in der Umgebung gerichtet ist (Pfeiffer et al., 2013). Menschen neigen dazu den eigenen Blick in Richtung ihrer Handlungen und Wünsche zu orientieren (Frischen et al., 2007). Entsprechend können daraus Rückschlüsse auf die Aufmerksamkeitsorientierung und damit auf Intentionen und zugrundeliegende Kognitionen gezogen werden (Itier & Batty, 2009). Das nächste Kapitel befasst sich mit der Fähigkeit aus visuellen Informationen, wie z.B. dem Beobachten von Blickfolgebewegungen, eine „Theory of Mind“ zu entwickeln.

### **2.1.2 Gaze-Following, Joint-Attention und Theory-of-Mind**

Ein wichtiger Bestandteil sozialer Kognition ist die Fähigkeit, das Verhalten anderer Menschen in Beziehung zu deren mentalen Zuständen, wie Intentionen, Wünschen oder Überzeugungen, zu setzen. Dies wurde von Premack & Woodruff (1978) als „Theory-of-Mind“ (ToM) bezeichnet. Neben dem verbalen Ausdruck können auch Körperbewegungen als Anhaltspunkte für Annahmen über Bewusstseinsvorgänge in anderen Personen genutzt werden. Als starker Indikator für intentionales Verhalten können insbesondere Augenbewegungen dienen, da die Blickrichtung typischerweise anzeigt, wohin die Aufmerksamkeit einer anderen Person gerichtet ist (vgl. Frischen et al., 2007; Itier & Batty, 2009). Die individuelle Entwicklung von ToM-Fähigkeiten beschränkt sich nicht nur auf visuelle Aspekte, da auch von Geburt an blinde Menschen solche entwickeln können, und bei deren Einsatz die gleichen Hirnregionen aktiviert werden wie bei Sehenden (vgl. Bedny et al., 2009; Koster-Hale et al., 2014). Jedoch bietet die Beobachtung von Gesicht und Blick eine Fülle an sozialen Informationen (Itier & Batty, 2009). Studien wie z.B. von Calder et al. (2002) zeigen, dass bei der Bearbeitung von ToM-Aufgaben Hirnregionen beteiligt sind, die auch bei Aufgaben zur Blickverarbeitung aktiv sind. Für Baron-

Cohen (1995) ist das Entschlüsseln der Blickrichtung des Gegenübers gar integraler Bestandteil von ToM-Fähigkeiten. Der Entwicklung einer ToM auf Grundlage der visuellen Wahrnehmung scheinen mehrere, in der Komplexität der Hirnleistung unterschiedliche, Prozesse voranzugehen. Grundlegend ist zunächst die Fähigkeit, akkurate Blickfolgebewegungen („Gaze-Following“) durchzuführen, d.h. das einfache Orientieren des eigenen Blicks am Blick des Gegenübers mit daraus resultierender Veränderung des Gesichtsfelds (Frischen et al., 2007). Eine darauf aufbauende Aufmerksamkeitsleistung ist die „Joint-Attention“ (JA). Hierbei richten zwei Menschen ihre visuelle Aufmerksamkeit explizit auf dasselbe Objekt, weil der eine Mensch die Aufmerksamkeitshinweise des anderen nutzt (vgl. Emery, 2000; Itier & Batty, 2009). Bei der „Shared-Attention“ richten zwei Personen, wie bei der JA, ihre Aufmerksamkeit auf dasselbe Objekt, sind sich jedoch zusätzlich über den Aufmerksamkeitsfokus der jeweils anderen bewusst (Emery, 2000). Damit stellen sie sicher, dass sie ihre Aufmerksamkeit auf dasselbe Ziel richten (Itier & Batty, 2009).



**Abbildung 1: Schematische Darstellung verschiedener sozialer Situationen, in denen Blickreize genutzt werden (A-E).** In Klammern das ungefähre Alter, in dem die Entwicklung der entsprechenden Fähigkeit stattfindet (aus „Neural bases of eye and gaze processing: The core of social cognition“ von R.J. Itier und M. Batty, 2009, Neuroscience and Biobehavioral Reviews 33 (2009), S 848. Copyright 2009 bei Elsevier Science Ltd. Wiedergabe mit Genehmigung).

### **2.1.3 Die ontogenetische Entwicklung von Gaze-Following- und Joint-Attention-Fähigkeiten**

Die Fähigkeit zum Gaze-Following (GF) entsteht bereits früh im Leben eines Menschen, wobei das genaue Auftrittsalter umstritten ist (Emery, 2000). Es ließ sich zeigen, dass beim Beobachten von aktiven Blickverschiebungen eines auf einem Computerbildschirm abgebildeten Gesichts, schon 3 Monate alte Säuglinge (Hood et al., 1998) und sogar Neugeborene (Farroni et al., 2004) Blicksakkaden in dieselbe Richtung durchführen. Eine Voraussetzung dafür scheint ein direkter Augenkontakt vor der beobachtbaren Blickverschiebung zu sein (Farroni et al., 2003). Bei 9 Monaten alten Kindern konnte beobachtet werden, dass Blickfolgebewegungen auch bei statischen Reizen auftraten, dies jedoch nur, wenn sie bereits spontane Blickfolgebewegungen zeigten. Wenn sie letzteres noch nicht entwickelt hatten, benötigten sie dazu die Wahrnehmung der Kopfbewegung in dieselbe Richtung (Moore et al., 1997). Erwachsene hingegen orientieren ihre Blickrichtung konstant an der Blickrichtung des Gegenübers (Bayliss et al., 2005). Wichtig für das Hervorrufen von Blickfolgebewegungen bei sehr jungen Kindern scheint also ein direkter Blick sowie eine dynamische Blickkomponente zu sein (Frischen et al., 2007). Joint-Attention (JA) tritt ungefähr nach 9 bis 14 Monaten auf, was zusätzlich zur Fähigkeit zum GF das Erkennen von richtungsanzeigenden Gesten und das daraus folgende Fixieren des Objekts umfasst (Baron-Cohen et al., 1997). Ab ungefähr 12 bis 18 Monaten ist es Kleinkindern möglich auch Objekte außerhalb ihres Blickfeldes im Rahmen von JA zu fokussieren (Butterworth & Jarrett, 1991).

Für die Entwicklung von GF- und JA-Fähigkeiten werden unterschiedliche Annahmen diskutiert. So könnten diese durch die Aktivierung eines angeborenen zerebralen Moduls entstehen, welches auf das visuelle Erscheinungsbild von Augen und anderen aufmerksamkeitsorientierenden nonverbalen Verhaltensweisen reagiert (vgl. Baron-Cohen, 1995; Perrett & Emery, 1994). Andere Ansätze gehen eher von lerntheoretisch erklärbaren Mechanismen aus, die sich aus der Assoziation zwischen der kontrastreichen Augenregion (schwarze Pupille vs. weiße Sklera), aufmerksamkeitserregenden Objekten in der Umgebung und Belohnungslernen ergeben könnten (Moore & Corkum, 1994). Die frühe Entwicklung von JA-Fähigkeiten lässt auf eine besondere Wichtigkeit für die soziale Kognition schließen. Diese sind bspw. für den Spracherwerb (vgl. Baldwin, 1995; Baron-Cohen et al., 1997) oder das Erkennen von Gefahrenhinweisen anderer Menschen (Friesen & Kingstone, 1998) von Bedeutung. Ein junges Kind wird z.B., während jemand auf ein

bellendes Tier schaut und „Hund“ sagt, seine Aufmerksamkeit am Blick der anderen Person ausrichten und so das gesagte Wort mit dem Tier verknüpfen (Itier & Batty, 2009).

#### **2.1.4 Die ontogenetische Entwicklung von Theory-of-Mind-Fähigkeiten**

ToM-Fähigkeiten können nach Penn et al. (2006) hierarchisch nach zunehmender Komplexität in Fähigkeiten erster und zweiter Ordnung eingeteilt werden (vgl. auch Brüne, 2005). Fähigkeiten erster Ordnung ermöglichen das Erkennen von nicht der Realität entsprechenden Überzeugungen anderer Menschen, was z.B. mit dem „Sally-and-Anne“-Test überprüft werden kann (Wimmer & Perner, 1983). Für das Verstehen von bspw. Ironie sind ToM-Fähigkeiten zweiter Ordnung notwendig, die den Denkenden in die Lage versetzen, über die buchstäbliche Bedeutung der Worte hinaus die tatsächliche Absicht des Sprechenden zu erkennen (Langdon et al., 2002). Allgemeiner ausgedrückt ermöglichen solche Fähigkeiten das komplexe Verständnis davon, dass es möglich ist, falsche Vorstellungen über die Vorstellungen einer anderen Person zu haben (Penn et al., 2006). ToM-Fähigkeiten erster Ordnung treten in der Regel im Alter von 4 bis 5 Jahren auf (vgl. Astington & Barriault, 2001; Mitchell & Lacohee, 1991). Vierjährige Kinder können bspw. darauf schließen, dass jemand an etwas denkt, wenn seine Augen ohne etwas Besonderes zu fixieren nach oben gerichtet sind (Baron-Cohen, 1995). Vor dem 5. Lebensjahr sind ToM-Fähigkeiten unter Einbeziehung von Blickhinweisen noch recht störanfällig, z.B. wenn ein Pfeil in eine andere Richtung zeigt als der Blick eines anderen Menschen (Pellicano & Rhodes, 2003). Im Alter von ungefähr 5 Jahren lernen Kinder, dass der Blick Informationen beinhalten kann, die Menschen vor ihnen verstecken wollen – sie lernen also, dass sie eine Blickbeobachtung nutzen können, um Täuschungen zu identifizieren (Frischen et al., 2007). ToM-Fähigkeiten zweiter Ordnung manifestieren sich je nach Komplexität ungefähr zwischen dem 6. und 11. Lebensjahr (Baron-Cohen et al., 1999a). Ab einem Alter von ca. 7 Jahren werden bei der Analyse der Blickrichtung ähnliche Hirnregionen wie bei Erwachsenen aktiviert (Mosconi et al., 2005).

#### **2.1.5 Psychopathologische Aspekte von Gaze-Following, Joint-Attention und Theory-of-Mind**

Beeinträchtigungen in der Verarbeitung von Blickreizen, als grundlegende soziale Hinweise auf Gesichtsidentität, Emotionen und das Verstehen von mentalen Zuständen,

scheinen ein Kernproblem vieler Erkrankungen mit sozialem Kognitionsdefizit zu sein (vgl. Frischen et al., 2007; Itier & Batty, 2009). Damit werden u.a. Symptome bei Autismus-Spektrum-Störungen, Schizophrenie, Turner-, Fragile-X- und Capgras-Syndrom sowie Fetalem Alkohol-Syndrom in Verbindung gebracht (Itier & Batty, 2009). Im Folgenden werden ausgewählte Erkenntnisse zu den, in der Forschung viel beachteten, Autismus-Spektrum- und schizophreniformen Störungen dargestellt.

Nach Baron-Cohen (1997) und Baron-Cohen et al. (1999b) resultieren die sozialen Interaktionsdefizite bei Menschen mit Autismus hauptsächlich aus ToM-Defiziten, die auf Beeinträchtigungen der Verarbeitung sozialer Blickinformationen zurückzuführen sind. Normal entwickelte Erwachsene scheinen beim Beobachten eines Gesichts die Augen- und Mundregion im gleichen Maße zu untersuchen (Mertens et al., 1993), während Menschen mit Autismus Augenkontakt oft vermeiden (Dalton et al., 2005). Ein vollständiges Fehlen von JA (als Vorstufe von ToM-Fähigkeiten) im Alter von 18 Monaten kann auf eine spätere Autismus-Diagnose hinweisen (Baron-Cohen et al., 1996). Insgesamt weisen Studien zu Autismus nicht auf eine allgemeine Beeinträchtigung der visuellen Aufmerksamkeit und eigenen Blickorientierung (Itier & Batty, 2009), sondern eher auf Defizite beim Entnehmen relevanter sozialer Informationen aus der Augenregion hin (Nation & Penny, 2008).

Auch bei Menschen mit Schizophrenie scheinen kognitive und affektive Schwierigkeiten mit ToM-Defiziten zusammenzuhängen (Frischen et al. 2007). Typischerweise zeigen an Schizophrenie Erkrankte Störungen der sog. Ich-Umwelt-Grenze (Langdon et al., 1997). So haben Betroffene bspw. Schwierigkeiten, selbst beobachtete eigene Handlungen von denen anderer zu unterscheiden (Frith et al., 2000). Dies deutet auf eine kognitive Überaktivität in Bezug auf ToM-Prozesse hin (Quintana et al., 2001). Franck et al. (1998, 2002) konnten zeigen, dass sich, ähnlich wie bei Autismus-Spektrum-Störungen, die Fähigkeiten zur Bestimmung der Blickrichtung nicht signifikant von Gesunden unterscheiden. Langdon et al., (2006) fanden gar Hinweise darauf, dass Menschen mit Schizophrenie eine übermäßig sensitive reflexive Blickorientierung aufweisen.

Die frühe Entwicklung von GF- über JA- bis hin zu ToM-Fähigkeiten, wie auch die Befunde bzgl. deren unterschiedlichen Ausprägung in klinischen Populationen, weisen auf deren Bedeutsamkeit für adäquate soziale Kognitionsprozesse hin. Die Erkenntnisse dazu sind teils heterogen und bedürfen weiterer Erforschung, um eine vollständigere Betrachtung zu ermöglichen. In den folgenden Abschnitten werden grundlegende Konzepte der sozialen Aufmerksamkeit vorgestellt, die in Bezug zu JA- bzw. ToM-Fähigkeiten stehen.

## 2.2 Visuelle räumliche Aufmerksamkeitsorientierung

Gerrig & Zimbardo (2015) definieren Aufmerksamkeit als einen „Zustand fokussierten Bewusstseins auf eine Teilmenge der verfügbaren perzeptuellen Information“. Eine Selektion, insbesondere der visuellen Information ist wichtig, um die relevanten Informationen aus der Fülle an Sinnesreizen zu extrahieren (Frischen et al., 2007). Die Steuerung der Aufmerksamkeitsorientierung lässt sich nach Frischen et al. (2007) grundsätzlich in zwei Formen unterscheiden, die sog. „Bottom-up“- und „Top-down“-Kontrolle. Die Bottom-Up-gesteuerte Orientierung auf exogene Stimuli erfolgt reflexiv bzw. automatisch, d.h. ist nicht willentlich beeinflussbar und „Stimulus-gesteuert“. Dagegen findet die Top-Down-kontrollierte Aufmerksamkeitslenkung willentlich statt, kann durch endogene Prozesse gelenkt werden und ist „Ziel-gesteuert“ (vgl. Frischen et al., 2007). Posner (1980) unterscheidet auf der Verhaltensebene zwischen offener und verdeckter Aufmerksamkeitsorientierung. Offenes Orientieren meint dabei die direkt beobachtbare Ausrichtung von sensorischen Rezeptoren und den damit verbundenen Körperteilen in Richtung eines aufmerksamkeitserregenden Objekts. Dadurch ist es möglich die Aufnahme und Verarbeitung relevanter Informationen zu verbessern. Verdecktes Orientieren hingegen beschreibt die Ausrichtung eines inneren Mechanismus auf äußere Reize, ohne dass eine von außen sichtbare Reaktion stattfindet. Dieser Prozess kann mithilfe der Messung der Reaktionsgenauigkeit oder der Reaktionszeiten als Maß für die Verarbeitungseffizienz in einem Cueing-Paradigma, welches eine räumliche Orientierung erfordert, objektiviert werden (Frischen et al., 2007).

### 2.2.1 Peripheres vs. zentrales Cueing

Posner & Cohen (1984) setzten ein peripheres Cueing-Paradigma zur Untersuchung der verdeckten räumlichen Aufmerksamkeitsorientierung ein (vgl. Abbildung 2A), welches im Folgenden beschrieben wird.

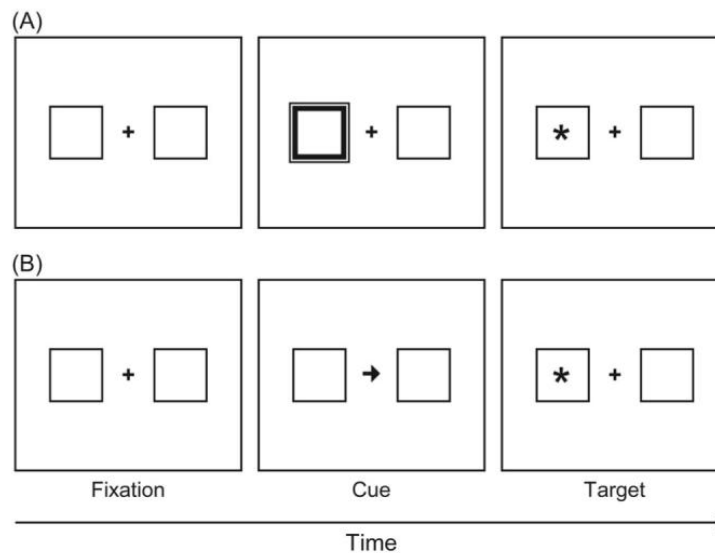
Rechts und links einer zentralen Blickfixierungsmarkierung ist jeweils eine Platzhalterbox im peripheren Sichtfeld positioniert. Nach kurzem Aufleuchten einer dieser Boxen („Cue“, Hinweisreiz) erscheint in derselben oder der anderen Box ein Zielreiz, auf dessen Sichtbarkeit mit einem Tastendruck reagiert werden soll. Als Variablen in diesem Paradigma können die Zeit zwischen der Präsentation des Hinweis- und des Zielreizes (sog. „Stimulus-Onset-Asynchrony“, SOA), sowie deren kongruentes („Cueing“) oder inkongruentes Auftreten variiert werden. Posner & Cohen (1984) konnten feststellen, dass die

Reaktionszeiten schneller waren, wenn der Hinweis- und der Zielreiz auf derselben Seite (also kongruent) präsentiert wurden. Dieser Erleichterungseffekt durch die Kongruenz-Bedingung (Cueing-Effekt, Kongruenz-Effekt) konnte auch in Untersuchungen beobachtet werden, in denen die Anweisung zum Ignorieren des Hinweisreizes gegeben wurde und der Zielreiz im Verlauf des Experiments häufiger an der dem Hinweisreiz entgegengesetzten Stelle erschien (Remington et al., 1992). Da die Tendenz zur Reaktion auf den Hinweisreiz hierbei nicht unterdrückt werden kann wird diese als automatisch bzw. reflexiv angesehen, und spricht für eine Zunahme der verdeckten Aufmerksamkeitsorientierung (Frischen et al., 2007).

Im Gegensatz zu peripheren Hinweisreizen wird angenommen, dass die Verarbeitung zentral präsentierter, symbolischer Hinweisreize (vgl. Abbildung 2B), wie z.B. ein Pfeil oder das Wort „Rechts“, zumindest teilweise willkürlicher Kontrolle unterliegt, da diese eine Interpretation erfordert (Frischen et al., 2007). Zwar lässt sich beim Einsatz zentraler, ähnlich wie bei peripheren Hinweisreizen, ein Kongruenz-Effekt beobachten (vgl. die folgenden Kapitel 2.2.2 und 2.2.3), was auf eine automatische Orientierungsreaktion hinweist. Jedoch scheint der Cueing-Effekt von Faktoren wie Asymmetrie (Lambert et al., 2006) oder Farbeigenschaften des zentralen Hinweises (Pratt & Hommel, 2003) abzuhängen. Auch kann die reflexive Orientierung bei zentralen, im Vergleich zu peripheren Hinweisreizen, unterdrückt werden, wenn die den Versuchspersonen gegebenen Informationen der Aufgabenanforderung widersprechen (Ristic et al., 2002). Daneben ist sie stör anfälliger gegenüber kompetitiven Reizen (Müller & Rabbitt, 1989).

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor für die Aufmerksamkeitsreaktion durch zentrale und periphere Hinweisreize scheint die Länge der SOA zu sein. Der größte Kongruenz-Effekt tritt bei peripheren Hinweisreizen bei einer SOA von ca. 100 ms auf, während bei zentralen Hinweisreizen der maximale Effekt bei ungefähr 300 ms erzielt werden kann (Cheal & Lyon, 1991). Nach ca. 150-350 ms nimmt die Auswirkung der Kongruenz bei peripheren Hinweisreizen ab (Müller & Findlay, 1988), wohingegen der Cueing-Effekt bei zentralen Hinweisreizen bei Erreichen seines Maximums konstant zu bleiben scheint (Frischen et al., 2007). Einen Erklärungsversuch für die rasche Abnahme des Cueing-Effekts bei peripheren Hinweisreizen liefern Posner & Cohen (1984). Sie gehen davon aus, dass bei einem plötzlichen Reiz in der visuellen Peripherie sowohl aktivierende als auch hemmende Prozesse initiiert werden. Wenn ein Reiz in enger zeitlicher Nähe zum vorherigen Reiz am selben Ort auftritt, überwiegen die aktivierenden Impulse, was zu einer schnelleren Reaktionszeit führt. Tritt der Reiz in einem größeren zeitlichen Abstand

auf, dominieren die hemmenden Impulse und die Reaktionszeiten werden langsamer. Der Nutzen einer solchen zweifachen Orientierungsreaktion könnte in dem schnelleren Erkennen von neuen Ereignissen in der Peripherie liegen und wird als „Inhibition of Return“ (IOR) bezeichnet (Frischen et al., 2007; vgl. dazu auch Greene et al., 2009; Maylor & Hockey, 1985; Posner & Cohen, 1984).



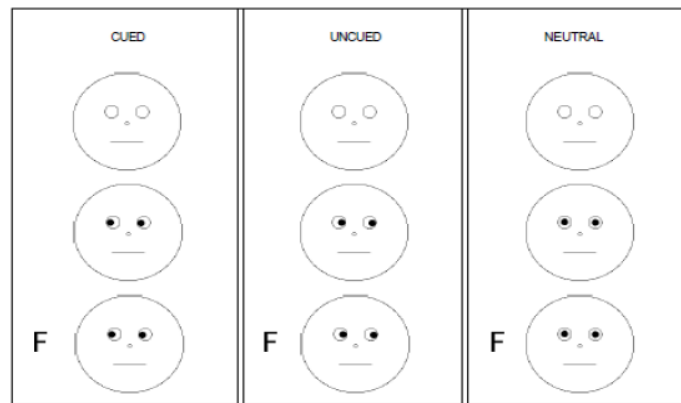
**Abbildung 2: Cueing-Paradigma mit peripherem Hinweisreiz (A) und zentralem Hinweisreiz (B).** In A wird die Sequenz eines kongruenten Versuchs, in B die eines inkongruenten Versuchs dargestellt (aus „Gaze Cueing of Attention: Visual Attention, Social Cognition, and Individual Differences“ von A. Frischen, A.P. Bayliss and S.P. Tipper, 2007, Psychological Bulletin 2007, Vol. 133, No. 4, S. 702. Copyright 2007 The American Psychological Association. Wiedergabe mit Genehmigung).

### 2.2.2 Zentrale Blickhinweisreize

Aufgrund der Bedeutsamkeit von Blickreizen als Träger von großem sozialem Informationsgehalt, fand deren Integration in ein zentrales Cueing-Paradigma statt (Frischen et al., 2007). Friesen & Kingstone (1998) führten eine der ersten Studien mit zentralen Blickhinweisreizen in einem an das Cueing-Paradigma von Posner & Cohen (1984) angelehnten Experiment durch (vgl. Abbildung 3). In diesem sog. „Gaze-Cueing“-Paradigma wurden die Pupillen eines schematisch dargestellten Gesichts als Hinweisreiz verwendet. Die Zielreize bestanden aus Abbildungen der Buchstaben „F“ oder „T“. Es gab insgesamt drei Bedingungen, bei denen die SOAs von 105 ms, 300 ms, 600 ms und 1005 ms in gleicher Häufigkeit variiert wurden. Bei der kongruenten Bedingung erschien der Buchstabe auf der Seite der Blickrichtung, bei der inkongruenten auf deren entgegengesetzter Seite und bei der neutralen zufällig rechts oder links neben den geradeaus gerichteten Pupillen. Die

Versuchspersonen sollten in drei verschiedenen Aufgaben-Typen jeweils mit einem Tastendruck reagieren. In der ersten Aufgabe sollten sie nur das Erscheinen des Zielreizes erkennen, in der zweiten diesen lokalisieren und in der dritten dessen Identität („F“ oder „T“) angeben. Die Hinweisreize waren vorbekannt nicht-prädiktiv, d.h. den Teilnehmenden war bewusst, dass diese keine statistische Aussagekraft über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Zielreize hatten. Als Ergebnis ermittelten sie einen Erleichterungseffekt für kongruente Bedingungen bei den drei kürzeren SOAs (SOA 105 ms: Bei zwei Aufgaben-Typen, SOA 300 ms und 600 ms: Bei allen drei Aufgaben-Typen), hingegen keinen bei der langen SOA von 1005 ms. Die Autoren schlossen aus ihren Ergebnissen, dass zentrale Blickhinweisreize, ähnlich wie periphere Hinweisreize, reflexiv verarbeitet werden (vgl. Friesen & Kingstone, 1998).

In einer Untersuchung von Driver et al. (1999) wurden Fotografien eines Gesichts mit nach rechts oder links abgewandten Blick als nicht-prädiktive naturalistische zentrale Hinweisreize verwendet. Als Zielreiz sollten die Testpersonen wie in der Studie von Friesen & Kingstone (1998) zwei Buchstaben voneinander unterscheiden. Ihre Befunde zeigten Cueing-Effekte bei SOAs von 300 ms und 700ms, nicht jedoch bei 100 ms. In einer weiteren Versuchsbedingung wurde den Teilnehmenden mitgeteilt, dass der Zielreiz viermal häufiger in der inkongruenten Bedingung erschien. Hierbei fanden sie bei der SOA von 300 ms einen Kongruenz-Effekt, bei der SOA von 700 ms war der Effekt umgekehrt. Sie interpretierten ihre Befunde so, dass sich die Versuchspersonen in der SOA-Bedingung von 300 ms automatisch orientierten, da sie gegen ihr eigentliches Wissen um den Auftrittsort des Zielreizes handelten. In der SOA-Bedingung von 700 ms hingegen schienen die Teilnehmenden ihre Aufmerksamkeit willkürlich zu lenken (vgl. Driver et al., 1999). Diese Ergebnisse konnten von Downing et al. (2004) in einer ähnlichen Studie repliziert werden. Zudem konnten sie einen Cueing-Effekt unter der Verwendung einer Abbildung von einer nach rechts oder links abgewandten Zunge als Hinweisreiz bei kurzer SOA feststellen. Dabei konnte jedoch, im Unterschied zu den Blickhinweisreizen, durch eine Verringerung der Vorhersagbarkeit der Kongruenz-Effekt bei längerer SOA unterdrückt werden. Downing et al. (2004) schlossen daraus, dass Blickhinweise insofern besondere Reize seien, als dass sie durch Top-down-gesteuerte Orientierungsreaktionen weniger beeinflussbar zu sein scheinen.



**Abbildung 3: Gaze-Cueing-Paradigma mit schematischen Stimuli.** Links: Kongruenter Versuch; Mitte: Inkongruenter Versuch; Rechts: Neutraler Versuch (aus „The eyes have it! Reflexive orienting is triggered by nonpredictive gaze“ von C.K. Friesen und A. Kingstone, 1998, *Psychonomic Bulletin & Review* 1998, 5 (3), S. 491. Copyright 1998 Psychonomic Society, Inc. Wiedergabe mit Genehmigung).

### 2.2.3 Zentrale Blick- und Pfeilhinweisreize im Vergleich

Cueing-Effekte konnten ebenfalls beim Einsatz zentraler symbolischer Hinweisreize beobachtet werden. Tipples (2002) präsentierte seinen Testpersonen zentrale nicht-prädiktive Pfeilhinweisreize. Nach SOAs von 100 ms oder 300 ms erfolgte das Einblenden der Zielreize (Buchstaben „O“ oder „X“). Er stellte unter beiden SOA-Bedingungen einen Kongruenz-Effekt fest, weshalb er die Verarbeitung von Pfeilreizen als automatisch und exogen gesteuert einordnete. Viele darauffolgende Studien untersuchten Unterschiede in der Verarbeitung zentraler Blick- und Pfeilhinweisreize.

Dabei scheint insbesondere die Länge der SOA von Bedeutung zu sein. In zahlreichen Studien wurden robuste Cueing-Effekte bei SOAs zwischen ca. 300-700 ms sowohl für Blick-, als auch für Pfeilhinweisreize gefunden (vgl. Akiyama et al., 2008; Bayliss & Tipper, 2005; Downing et al., 2004; Driver et al., 1999; Engell et al., 2010; Friesen & Kingstone, 1998; Joseph et al., 2015; Langdon et al., 2006; Quadflieg et al., 2004; Ristic et al., 2002; Sato et al., 2009; Tipper et al., 2008). Hingegen konnten bei SOAs von 100-200 ms, neben ähnlich starken Kongruenz-Effekten für beide Hinweisreiz-Typen (vgl. Akiyama et al., 2008; Friesen & Kingstone, 1998; Galfano et al., 2012; Greene et al., 2009; Hietanen et al., 2006; Quadflieg et al., 2004; Ristic et al., 2002; Tipples, 2002), in einigen Untersuchungen auch keine Cueing-Effekte durch Blickhinweisreize ermittelt werden (vgl. Bayliss & Tipper, 2005; Downing et al., 2004; Driver et al., 1999). Bei SOAs >900 ms wurde für Blickhinweisreize vielfach ein Ausbleiben oder eine Abschwächung

des Cueing-Effekts beobachtet (vgl. Friesen et al., 2004; Friesen & Kingstone, 1998; Greene et al., 2009). Eine Ausnahme stellt die Studie von Ristic et al. (2002) dar, in der für Blick- und Pfeilhinweisreize Kongruenz-Effekte bei einer SOA von 1005ms gezeigt werden konnten. Frischen et al. (2007) gehen bei der Verarbeitung von Cueing-Aufgaben mit langen SOAs, aufgrund des mehrheitlichen Fehlens des Kongruenz-Effekts, von endogenen und anderen interferierenden kognitiven Prozessen aus.

Neben der SOA wurden andere Einflussfaktoren auf die Verarbeitung zentraler Blick- und Pfeilhinweisreize in Cueing-Paradigmen untersucht. So konnte gezeigt werden, dass das biologische Geschlecht den Gaze-Cueing-Effekt beeinflussen kann. Männer scheinen im Vergleich zu Frauen einen schwächeren Kongruenz-Effekt zu zeigen, was mit höheren Werten im Autismus-Spektrum-Quotienten nach Baron-Cohen et al. (2001) einhergeht (vgl. Alwall et al., 2010; Bayliss et al., 2005). Andere Studien konnten, den vorherigen Erkenntnissen entgegengesetzt, Hinweise dafür finden, dass Menschen mit Autismus ähnliche Kongruenz-Effekte zeigen wie Gesunde (Kuhn et al., 2010; Pruett et al., 2011). Auch konnte ein Einfluss des Lebensalters auf den Gaze-Cueing-Effekt beobachtet werden. Slessor et al. (2016) zeigten in einer Studie mit dem Vergleich von Blick- und Pfeilhinweisreizen, dass ältere Erwachsene bei Blickhinweisreizen einen schwächeren Cueing-Effekt zeigten als jüngere. Bei Pfeilhinweisreizen ergaben sich hingegen keine Unterschiede zwischen den Altersgruppen. Slessor et al. (2016) schlossen daraus, dass ältere Erwachsene Blickhinweise weniger als junge Erwachsene nutzen um JA-Situationen herzustellen und vermuteten in dieser Altersgruppe Schwierigkeiten in der visuellen Dekodierung kritischer Informationen der Augenregion.

Daneben ergaben sich Hinweise auf eine veränderte Verarbeitung von Blickhinweisreizen in Cueing-Paradigmen bei Menschen mit Schizophrenie. Akiyama et al. (2008) beobachteten eine geringere Ausprägung des Kongruenz-Effekts bei Menschen mit Schizophrenie für Blick- im Vergleich zu Pfeilhinweisreizen. Dazu widersprüchliche Ergebnisse lieferten Langdon et al. (2006), welche eine übermäßig sensitive reflexive Blickorientierung von Menschen mit Schizophrenie nahelegen.

Einen weiteren Einflussfaktor auf den Cueing-Effekt scheint die Vigilanz darzustellen. In einer Studie mit gesunden Testpersonen fanden Marotta et al. (2014) Hinweise darauf, dass der Kongruenz-Effekt bei verminderter Vigilanz infolge von Schlafdeprivation bei Blickhinweisreizen resistenter im Vergleich zu Pfeilhinweisreizen zu sein scheint.

Insgesamt erscheinen die Studienergebnisse zur Verarbeitung von zentralen Blick- und Pfeilhinweisreizen auf der Verhaltensebene heterogen. Der überwiegende Anteil von Untersuchungen konnte robuste Kongruenz-Effekte bei SOAs zwischen 300-700 ms für Blick- und Pfeilhinweisreize aufzeigen, sodass dabei vorwiegend von exogen gesteuerten Aufmerksamkeitsprozessen ausgegangen werden kann. Bei kürzeren SOAs von 100-200 ms ergaben sich, neben ähnlich robusten Effekten für Blick- und Pfeilhinweisreize, auch Hinweise auf weniger stark ausgeprägte Cueing-Effekte für Blickhinweisreize. Einige Studien weisen jedoch auch auf eine Sonderstellung der Verarbeitungsprozesse von Blickhinweisreizen als biologisch relevante Stimuli, insbesondere unter Umständen von psychischer Erkrankung und Belastung, hin.

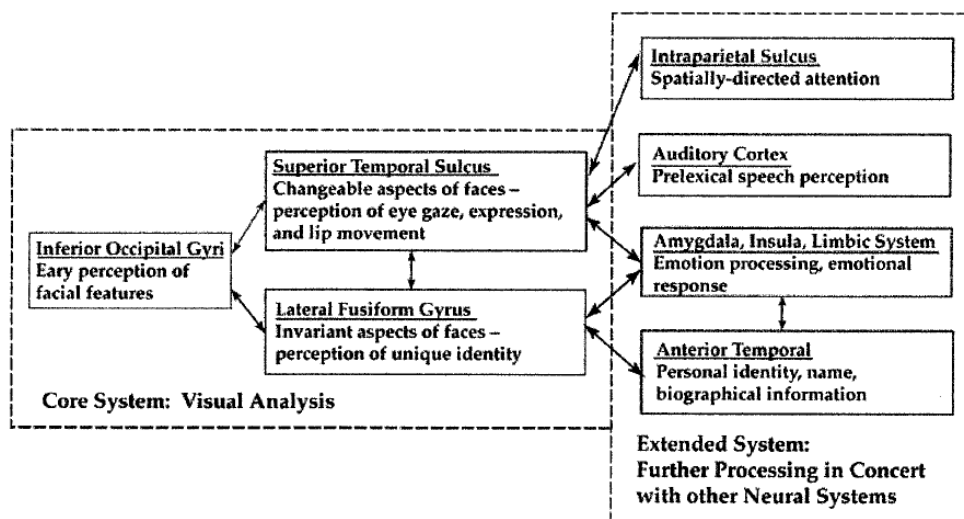
Bisher wurden hinsichtlich JA- bzw. ToM-Prozessen und deren Operationalisierung mithilfe des Gaze-Cueing-Paradigmas theoretische Grundlagen dargelegt, die sich vor allem auf messbares Verhalten, wie bspw. Reaktionszeiten, bezogen. Um die dem Verhalten zugrundeliegenden neuronalen Prozesse zu objektivieren, wurden, wie auch in der vorliegenden Untersuchung, neurophysiologische und bildgebende Verfahren eingesetzt. Nachfolgend werden Ansätze und Ergebnisse aus diesen Bereichen der Kognitionsforschung vorgestellt.

### **2.3 Neurophysiologische Korrelate zur Verarbeitung von Gesichtern**

Haxby et al. (2000) entwickelten ein Modell zur neurophysiologischen Verarbeitung von Gesichtern (vgl. Abbildung 4). Dieses lässt sich auf funktioneller Ebene in ein Kern- und ein erweitertes System aufgliedern. Das Kern-System übernimmt spezifisch die Analyse von Informationen aus dem Beobachten von Gesichtern. Das erweiterte System besteht aus Netzwerkstrukturen für höhere kognitive Funktionen. In diesen findet die weitere reziproke Verarbeitung der gefilterten Information aus dem Kern-System statt. Drei bilaterale anatomische Strukturen bilden das Kern-System: Der Gyrus occipitalis inferior (IOG), der Gyrus fusiformis lateralis (FFG) und der Sulcus temporalis superior (STS). Nach Haxby et al. (2000) findet im IOG eine frühe Wahrnehmung von Gesichtsmerkmalen statt. Diese Information wird dann vom IOG an den FFG und den STS übermittelt. Im FFG läuft vor allem die Analyse von unveränderlichen Gesichtsmerkmalen wie Identität oder Geschlecht ab. Der STS hingegen ist auf veränderliche Strukturen von Gesichtern wie Mimik und Blickrichtung, die im Besonderen für kommunikative bzw. soziale

Prozesse von Bedeutung sind, spezialisiert. In das erweiterte System zur Gesichtswahrnehmung werden neuronale Subsysteme miteinbezogen, die im Zusammenspiel mit dem Kern-System für spezifische Verarbeitungsanforderungen rekrutiert werden. So wird das Kern-System durch den intraparietalen Sulcus (IPS) und insbesondere durch das frontale Augenzentrum (FEF) zum System für räumliche Orientierung und Wahrnehmung erweitert. Dieses integriert dann Informationen über die Aufmerksamkeitsorientierung anderer, wie bspw. die Blickrichtung und Kopfposition. Zur Prozessierung von emotionalen Gesichtszügen interagiert das Kern-System mit der Amygdala und der Insula. Das auditorisch-verbale Verständnis, für z.B. das Lippenlesen, geschieht in Verbindung mit dem Gyrus temporalis superior (STG). Durch neuronale Verbindungen zwischen dem Kern-System und dem anterioren Temporallappen findet die Integration von biografisch-semantischem Wissen, wie bspw. die Zuordnung von Namen und Gesichtern, statt (vgl. Haxby et al. 2000).

Im Folgenden werden Befunde zur Involvierung des Kern-Systems in die neurophysiologische Verarbeitung von Gesichtern vorgestellt. Areale des erweiterten Systems erfahren, aufgrund von weitreichenden Überschneidungen mit Funktionen der Blickwahrnehmung, der Etablierung von JA-Prozessen und der visuellen räumlichen Aufmerksamkeit, in den darauffolgenden Kapiteln nähere Betrachtung.



#### **Abbildung 4: Modell des neuronalen Netzwerks zur Verarbeitung von Gesichtern**

(aus „The distributed human neural system für face perception“ von J. Haxby, E.A. Hoffman und M.I. Gobbini, 2000, Trends in Cognitive Sciences Volume 4, Issue 6, Seite 230. Copyright 2000 bei Elsevier Science Ltd. Wiedergabe mit Genehmigung).

### 2.3.1 Das Kern-System nach Haxby et al. (2000)

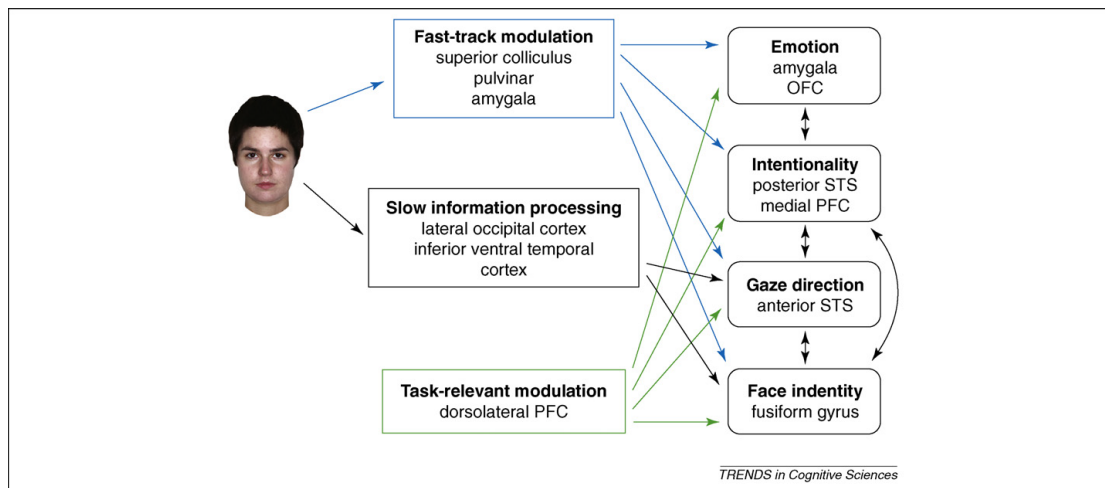
In einer fMRT-Studie zur neurophysiologischen Verarbeitung von Gesichtsidentität und Blickwahrnehmung generierten Hoffman & Haxby (2000) grundlegende Erkenntnisse für ihr Modell zur Gesichtswahrnehmung. Sie konnten beobachten, dass eine Aufmerksamkeitsverschiebung der Testpersonen auf die Gesichtsidentität einer Fotografie eine erhöhte Aktivierung im FFG und IOG auslöste. Wenn die Teilnehmenden aufgefordert waren ihre Aufmerksamkeit auf die Blickrichtung des abgebildeten Gesichts zu richten, wurde der STS vermehrt aktiviert (vgl. Hoffman & Haxby, 2000). Diese Ergebnisse konnten Lee et al. (2010) durch eine Studie mit Einsatz der fMRT und MEG unterstützen. In dieser wurden drei verschiedene Bedingungen miteinander verglichen: Eine dynamische, in welcher die Versuchspersonen ein Video von, durch Schauspieler dargestellten, sich verändernden kongruenten Augen- und Kopfbewegungen (direkter und abgewandter Blick) sahen, eine statische, in welcher Fotos der genannten Aufmerksamkeitsverschiebung gezeigt wurden und eine Kontrollbedingung mit unspezifischem Inhalt. Lee et al. (2010) stellten fest, dass die STS-Aktivität in der dynamischen Bedingung, im Vergleich zu den anderen beiden, deutlich erhöht war. Die Aktivität des FFG und IOG war hingegen in der dynamischen und statischen Bedingung, im Vergleich zur Kontroll-Bedingung, ähnlich ausgeprägt und nur geringgradig höher in der dynamischen. Unter Berücksichtigung der Befunde von Gobbini & Haxby (2007) führten die Autoren die erhöhte STS-Aktivierung in der dynamischen Bedingung auf eine größere Salienz des bewegten Reizes in Bezug auf die Interpretation der sozialen Intentionalität zurück. Das ähnliche Aktivierungsmuster von FFG und IOG in der dynamischen und statischen Bedingung sahen Lee et al. (2010) als Bestätigung für die schon im Modell von Haxby et al. (2000) beschriebene Spezifität jener Areale für die Analyse unveränderlicher Gesichtsmerkmale. Die geringe Erhöhung der Aktivierung von FFG und IOG zugunsten der dynamischen Bedingung schrieben sie der leichten Veränderung der Gesichtsstruktur durch den abweichenden Betrachtungswinkel zu (vgl. dazu auch Schultz & Pilz, 2009). Im Vergleich der Beobachtung von direktem und abgewandtem Blick konnte im STS und IOG kein Unterschied festgestellt werden, der FFG wurde dagegen stärker durch einen direkten Blick aktiviert (vgl. Lee et al., 2010). Ein vergleichbares Ergebnis zur Aktivierung des FFG ermittelten George et al. (2001), sowie deren Unabhängigkeit von der Kopfposition einer Gesichtsdarstellung. Pelphrey et al. (2003) hingegen konnten in der Aktivierung des FFG keinen Unterschied zwischen direktem und abgewandtem Blick feststellen, sodass die

Bedeutung der Art des Blicks für die FFG-Aktivierung aktuell unklar erscheint. Für die Gesichtserkennung scheint auch die wechselseitige Konnektivität insbesondere von FFG und IOG entscheidend zu sein. Hinweise dafür fanden Rossion et al. (2003) in einer Einzelfall-Läsionsstudie mit einem an Prosopagnosie erkrankten Patienten.

Im gegenwärtigen Kapitel wurden Hirnareale dargestellt, welche in Bezug auf die neuronale Verarbeitung von Gesichtern von Relevanz sind. Es konnte gezeigt werden, dass wahrscheinlich unterschiedliche Regionen für die Verarbeitung von variablen und unveränderlichen Merkmalen von Gesichtern verantwortlich sind. Da insbesondere die Augen zu den informationsvermittelnden veränderlichen Gesichtsstrukturen gehören, wird die Blickverarbeitung, insbesondere in Bezug auf die Rolle des STS, im nächsten Abschnitt einer präziseren Analyse unterzogen.

#### **2.4 Neurophysiologische Korrelate zur Verarbeitung von Blickreizen**

Zur neurophysiologischen Verarbeitung von Blickreizen stellten Senju & Johnson (2009) ein Modell vor (vgl. Abbildung 5). Demnach werden Blickreize zunächst über eine subkortikale schnelle Route, bestehend aus Colliculus superior, Pulvinar und Amygdala, verarbeitet. Diese Areale stehen in Verbindung mit Zentren des sog. „sozialen Gehirns“, wo eine komplexe Weiterverarbeitung stattfindet. Das soziale Gehirn besteht aus kortikalen Zentren, die für die Prozessierung von beobachteter Emotion (orbitofrontaler Cortex), Intention (posteriorer STS, medialer präfrontaler Cortex), Blickrichtung (anteriorer STS) und Gesichtsidentität (FFG) zuständig sind. Die über die schnelle subkortikale Route an die kortikalen Areale weitergeleiteten Signale interagieren mit Informationen über den sozialen Kontext und Aufgabenanforderungen aus dem dorsolateralen präfrontalen Cortex. Diese Verarbeitungsprozesse werden gleichzeitig durch visuelle Informationen aus einer langsamen kortikalen Route, ausgehend vom lateralen occipitalen Cortex und vom inferiorem ventralen temporalen Cortex, moduliert (vgl. Senju & Johnson, 2009). Nachfolgend wird die Beteiligung von Amygdala und STS an der Blickverarbeitung einer genaueren Analyse unterzogen.



### **Abbildung 5: Modell zur neurophysiologischen Verarbeitung von Blickreizen**

(aus „The eye contact effect: mechanisms and development“ von A. Senju und M. H. Johnson, 2009, Trends in Cognitive Sciences. Volume 13, Issue 3, S. 130. Copyright 2008 bei Elsevier Science Ltd. Wiedergabe mit Genehmigung).

#### **2.4.1 Amygdala**

Eine Funktion der Amygdala in der Verarbeitung von Blickreizen wird durch diverse Studienergebnisse unterstützt. Auf Verhaltensebene zeigten Untersuchungen an Personen mit Amygdala-Läsion eine starke Reduktion von direktem Augenkontakt während Unterhaltungen mit anderen Menschen (Spezio et al., 2007) und Defizite bei reflexiven Blickfolgebewegungen (Gamer et al., 2013). Abweichende Ergebnisse werden in einer Studie von Mormann et al. (2015) berichtet, welche über den Einsatz von intrazerebralen Elektroden in der Amygdala bei Epilepsie-Patienten eine Aktivierung bei der Erkennung von Gesichtern mit neutralem Gesichtsausdruck, nicht jedoch bei der Bestimmung deren Blickrichtung, fanden. Mormann et al. (2015) gehen daher, im Gegensatz zu Senju & Johnson (2009), von einer überwiegend kortikalen Verarbeitung von Blickreizen aus. In einer fMRT-Studie von George et al. (2001) mit gesunden Testpersonen konnte eine erhöhte gemeinsame Aktivität von FFG und Amygdala beim Beobachten eines direkten Blicks ermittelt werden. Das Beobachten eines abgewandten Blicks hingegen bewirkte eine vermehrte gemeinsame Aktivierung von FFG und dem Sulcus intraparietalis (IPS), der mit Aufmerksamkeitsverschiebungen hin zur Peripherie assoziiert wird (vgl. George et al., 2001). In Bezug auf Unterschiede in der Verarbeitung von direktem und abgewandtem Blick ließen sich Hinweise auf eine Lateralisierung der Funktion der Amygdala finden. Kawashima et al. (1999) stellten in einer PET-Studie fest, dass die linke Amygdala

durch das Beobachten von direktem und abgewandtem Blick gleichermaßen aktiviert wurde. Die rechte Amygdala hingegen zeigte bei direktem Augenkontakt vermehrt Aktivität. Kawashima et al. (1999) vermuteten daher eine Spezifität der rechten Amygdala für die Verarbeitung eines direkten Blicks und eine allgemeinere Rolle der linken Amygdala in der Interpretation der Blickrichtung. Die grundsätzliche Bedeutung der Amygdala für die Blickverarbeitung konnten Burra et al. (2013) in einer fMRT-Studie mit einem Patienten mit bilateraler Läsion im primären visuellen Cortex demonstrieren, welche zum vollständigen Verlust des bewussten Sehens führte. Sie stellten beim, durch die Läsion für den Patienten unbewussten, Betrachten eines direkten, im Vergleich zu einem abgewandten Blick, eine erhöhte Aktivität der rechten Amygdala fest. Daneben beobachteten sie eine funktionelle Konnektivität der rechten Amygdala mit einem größeren Netzwerk, welches mit der Gesichts- und Blickverarbeitung assoziiert ist. Damit konnten Burra et al. (2013) zeigen, dass die Amygdala auch ohne intakten primären visuellen Cortex aktiviert wird.

#### **2.4.2 Sulcus temporalis superior**

Pelphrey et al. (2004) untersuchten in einer fMRT-Studie die Effekte auf die Hirnaktivierung beim Beobachten eines virtuellen Mannes, der auf die Versuchspersonen zukam und diese währenddessen, ausgehend von einem neutralen Blick, direkt anschaute oder den Blick abwendete. In beiden Bedingungen wurde der Sulcus temporalis superior (STS) aktiviert, wobei der direkte Blick eine stärkere Aktivierung hervorrief. Die Aktivierung war in beiden Bedingungen stark rechtsseitig lateralisiert. Nach Carlin & Calder (2013) geben einige (fMRT-)Studien Hinweise auf eine von posterior nach anterior gerichtete Spezialisierung des STS für die Verarbeitung einer beobachteten Blickrichtung. Carlin et al. (2011) konnten demonstrieren, dass die Wahrnehmung von Blickrichtungsinformationen, unabhängig von der Kopfausrichtung und anderen physischen Bildmerkmalen, insbesondere bilateral im anterioren STS (aSTS) eine Aktivierung erzeugt. Des Weiteren ergaben sich Hinweise darauf, dass die aSTS-Aktivierung eine von der Blickrichtung abhängige Lateralisierung zeigt (vgl. Carlin et al. 2011). Calder et al. (2007) stellten beim Beobachten eines nach links gerichteten Blicks eine vermehrte Aktivität im rechten aSTS im Vergleich zum linken und umgekehrt bei entgegengesetzten Bedingungen fest. Der posteriore STS (pSTS) scheint weniger spezifisch für die Analyse der Blickrichtung, sondern vor allem sensitiv für den sozialen Kontext von Blickbewegungen zu sein

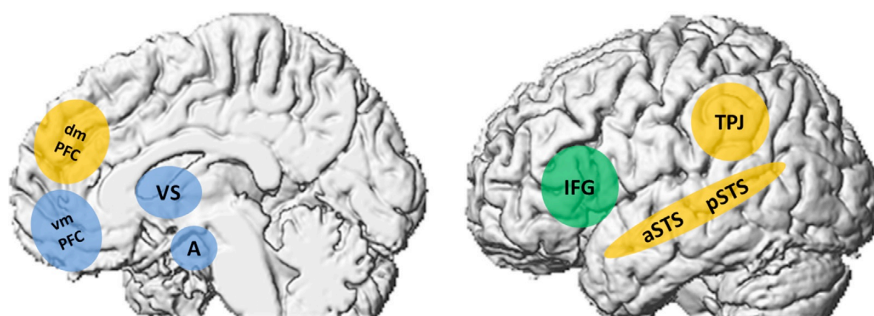
(Pfeiffer et al., 2013). Dahingehend wird dem pSTS eine Funktion in der Analyse von Intentionen (Pelphrey et al., 2003) und Joint-Attention-Prozessen (Carlin & Calder, 2013) zugeschrieben. Eine erhöhte Aktivität des pSTS bei der Verarbeitung von Joint-Attention-Aufgaben konnten Studien von Materna et al. (2008), sowie Redcay et al. (2010) und (2012) aufzeigen. Redcay (2008) beschreibt für den pSTS eine Funktion im Beobachten von aufmerksamkeitsorientierendem Verhalten, wie z.B. Gestik, Körper- und Kopfhaltung und deren kommunikativen Aspekten. So könnte der pSTS auch als die initiale Station in der Hierarchie der Blickverarbeitung eingeordnet werden, da dieser gleichzeitig die Kopfstellung mitanalysiert (vgl. Carlin & Calder, 2013; Lee et al., 2010). Außerdem scheint nur eine Aktivierung im pSTS bei direktem Blick zu erfolgen, wenn der Beobachter diesen als sozial bzw. kommunikativ intendiert wahrnimmt (Senju & Johnson, 2009). Daneben konnten Belege dafür gefunden werden, dass der (insbesondere rechte) pSTS besonders stark beim Beobachten von inkongruentem Verhalten aktiviert wird (Pfeiffer et al., 2013). Dies ist bspw. der Fall, wenn die Blickrichtung eines Akteurs nicht mit einem potentiell aufmerksamkeitserregenden Zielreiz übereinstimmt (Pelphrey et al., 2003) oder eine Person, die sich trotz vorher gezeigtem ablehnenden Gesichtsausdruck, für ein unbeliebtes statt für ein beliebtes Objekt entscheidet (Vander Wyk et al., 2009). Die Verarbeitung visueller Reize, insbesondere von Blicken und Gesichtern, umfasst nur einen Teil der vielschichtigen Abläufe, die im Rahmen von Joint-Attention-Prozessen von Bedeutung sind. Im nachfolgenden Kapitel werden zusätzliche Bereiche des Gehirns betrachtet, die im Zusammenhang mit der Prozessierung von Joint-Attention-Situationen zu stehen scheinen.

## **2.5 Neurophysiologische Korrelate von Joint-Attention**

Joint-Attention (JA) entsteht wenn ein Individuum dem Blick eines anderen folgt und dadurch seine visuelle Orientierung ändert (Itier & Batty, 2009). Dabei ist sich das beobachtende Individuum darüber bewusst, dass es den Aufmerksamkeitsfokus eines anderen teilt (vgl. Emery, 2000; Pfeiffer et al., 2013). Unter Berücksichtigung der im Modell von Senju & Johnson (2009) postulierten Ergebnisse zur Blickverarbeitung, kreierte Pfeiffer et al. (2013) ein Modell zur neurophysiologischen Verarbeitung von JA (vgl. Abbildung 6). Die Autoren gehen von drei funktionell interagierenden Teilsystemen aus, die an der Etablierung von JA beteiligt sind: Dem motivational-affektiven System, dem Mentalisierungssystem und dem Spiegelneuronen-System. Das motivational-affektive

System besteht aus der Amygdala, dem ventrale Striatum (VS) und dem ventromedialen präfrontalen Cortex (vmPFC). Die Amygdala erhält Informationen aus früh im Ablauf der Blickverarbeitung eingebundenen Arealen und wird durch verhaltensrelevante Reize, wie dem direkten Blick, aktiviert. Dem VS wird von Pfeiffer et al. (2013) die Funktion eines intrinsischen Motivator für JA zugeschrieben. Das VS projiziert auf präfrontale Areale, wie insbesondere den vmPFC, welche Funktionen in Mentalisierungs- und Bewertungsprozessen haben. Der vmPFC ist in das Erkennen von kommunikativen Absichten und in die affektive Bewertung von Handlungen anderer Personen involviert. Pfeiffer et al. (2013) fassen den anterioren und posterioren Sulcus temporalis superior (aSTS und pSTS), den dorsomedialen präfrontalen Cortex (dmPFC) sowie die Temporoparietale Junction (TPJ) zum System für Mentalisierungsprozesse zusammen. Der aSTS ist für die spezifische Verarbeitung von Blickinformationen zuständig. Der pSTS ist an der Verarbeitung allgemeiner Informationen über soziale Aufmerksamkeit, wie Kopf- und Körperhaltung, beteiligt. Der dmPFC und die TPJ sind für das Erkennen und Interpretieren mentaler Zustände anderer Individuen relevant. Dem Spiegelneuronen-System, vor allem bestehend aus dem Gyrus frontalis inferior (IFG), wird hauptsächlich eine Funktion in der Ausrichtung des eigenen Blicks am Blick einer anderen Person zugeschrieben (vgl. Pfeiffer et al., 2013).

Im Folgenden werden, bezogen auf das Modell von Pfeiffer et al. (2013), Studienergebnisse zu den an der Verarbeitung von JA beteiligten Hirnarealen vorgestellt. Die Funktionen der Amygdala sowie des STS wurden bereits in den Kapiteln 2.4.1 und 2.4.2 beschrieben.



**Abbildung 6: An der neuronalen Verarbeitung von Joint-Attention beteiligte Hirnareale**

(aus „From gaze cueing to dual eye-tracking: Novel approaches to investigate the neural correlates of gaze in social interaction“ von U. J. Pfeiffer, K. Vogeley und L. Schilbach, 2013,

Neuroscience and Biobehavioral Reviews, Volume 37, Issue 10, Part 2, S. 2519. Copyright 2013 bei Elsevier Science Ltd. Wiedergabe mit Genehmigung).

### 2.5.1 Das Mentalisierungssystem nach Pfeiffer et al. (2013)

Neben dem in Kapitel 2.4.2 bereits betrachteten STS ordnen Pfeiffer et al. (2013) den dmPFC und die TPJ in ein Mentalisierungssystem ein. Diese Areale werden nachfolgend einer genaueren Betrachtung unterzogen.

Vogeley et al. (2001) ermittelten eine deutliche Aktivierung des dmPFC in einer fMRT-Studie, die Versuchspersonen während des Lesens einer Kurzgeschichte untersuchte, welche zum Verständnis Theory-of-Mind-Fähigkeiten (ToM-Fähigkeiten; vgl. Kapitel 2.1.2) erforderte. Ähnliche Befunde, die ebenfalls eine Funktion des dmPFC in der Anwendung von Mentalisierungsfähigkeiten nahelegen, erhoben Gallagher et al. (2000) in einer Testaufgabe zur Interpretation von Cartoons. Walter et al. (2004) konnten die Relevanz der sozialen Situation für die Aktivierung des dmPFC in einer fMRT-Untersuchung aufzeigen. Sie fanden eine größere Aktivität des dmPFC bei der Interpretation von kommunikativen, im Vergleich zu nur auf die Person bezogenen, Intentionen. Auch konnte eine Abhängigkeit der Aktivierung des dmPFC von der Miteinbeziehung des Individuums in die betrachtete Situation demonstriert werden. Schilbach et al. (2006) ermittelten eine stärkere Aktivierung im dmPFC, wenn Testpersonen Animationen von virtuellen Personen sahen, die ihren Blick auf die Teilnehmenden selbst richteten und dabei eine sozial relevante Mimik aufwiesen, als wenn dieses Verhalten gegenüber einer anderen Person gezeigt wurde. Dieser Befund wird durch eine Studie von Kampe et al. (2003) unterstützt, die eine vergleichbare Aktivierung des dmPFC sowohl durch einen gegenseitigen Blick als auch durch den Ruf des Namens der Testpersonen beobachteten.

Einige Untersuchungen erweiterten das Konzept der JA, um einen größeren Realitätsbezug herzustellen (Pfeiffer et al., 2013). Mundy & Newell (2007) unterschieden dahingehend in die vom untersuchten Individuum ausgehende „Initiating-Joint-Attention“ (IJA) und die Reaktion des Individuums auf die „Einladung“ dazu durch ein anderes Individuum im Sinne einer „Responding-Joint-Attention“ (RJA). In einer fMRT-Studie von Redcay et al. (2012) wurden Testpersonen einer RJA-, einer IJA- sowie einer Kontroll-Situation mithilfe von „face-to-face“-Interaktion mit dem Versuchsleiter per Video-Stream ausgesetzt. In der RJA-Situation sollten die Teilnehmenden dem Blick des Versuchsleiters hin zu einem peripheren Ziel folgen. Die IJA-Situation bestand darin, dass die Teilnehmenden den Versuchsleiter mit ihrem eigenen Blick zum Anschauen des Ziels bewegen sollten. In der Kontroll-Situation sollte, bei geschlossenen Augen des Versuchsleiters, nur auf das Erscheinen des Ziels reagiert werden. Redcay et al. (2012) fanden bei

beiden JA-Bedingungen eine verstärkte Aktivität im dmPFC im Vergleich mit der Kontroll-Bedingung. Ähnliche Resultate veröffentlichten auch Williams et al. (2005) und Schilbach et al. (2010).

Auch die vorwiegend rechtsseitige TPJ scheint für die Antizipation mentaler Zustände anderer Individuen von Bedeutung zu sein (Saxe, 2006). In der Studie von Redcay et al. (2012) wurde bei der RJA-Bedingung eine verstärkte Aktivierung der rechten TPJ bei der RJA-, im Vergleich zur IJA-Bedingung, registriert. In Bezug auf ein Experiment mit dem Ziel eine IJA-Situation zu schaffen, fanden Gordon et al. (2013) vor allem ein gesteigertes Aktivitätsmuster der rechten TPJ beim Nichtreagieren der anderen Person auf die IJA-Versuche der Teilnehmenden. Krall et al. (2015) differenzierten in ihrer Metaanalyse zur TPJ einen anterioren und einen posterioren Anteil der rechten TPJ. Die rechte posteriore TPJ scheint den Autoren zufolge vor allem in ToM-Fähigkeiten involviert zu sein und zeigt funktionelle Verbindungen zu den typischen ToM-Regionen. Der rechte anteriore Anteil hingegen werde sowohl bei ToM-Aufgaben als auch bei der Reorientierung eines Aufmerksamkeitsfokus aktiviert und zeige eine gleichzeitige Aktivierung mit anderen Netzwerken für Aufmerksamkeit (vgl. Krall et al., 2015).

Die Funktion der TPJ in Bezug auf die visuelle räumliche Aufmerksamkeitsorientierung erfährt in Kapitel 2.6 eine nähere Betrachtung.

### **2.5.2 Das motivational-affektive System nach Pfeiffer et al. (2013)**

Pfeiffer et al. (2013) fassen den ventromedialen präfrontalen Cortex (vmPFC), das ventrale Striatum (VS) sowie die Amygdala zu einem motivational-affektiven System zusammen. In der in Kapitel 2.5.1 beschriebenen Studie von Redcay et al. (2012) wurde in beiden JA-Bedingungen eine verstärkte Aktivierung des vmPFC im Vergleich zur Kontrolle gefunden, welche in der RJA-Situation ausgeprägter war. Das Aktivierungsmuster weitete sich in der RJA-Bedingung auch auf den benachbarten medialen orbitofrontalen Cortex (mOFC) aus. Da der mOFC als Teil des Belohnungssystems angesehen werden kann (Rolls et al., 2020), schlossen Redcay et al. (2012) darauf, dass dessen Aktivierung mit der Antizipation von Belohnung durch die RJA-Situation zusammenhing. Pfeiffer et al. (2013) führten die Aktivierung von Regionen im mOFC eher auf die allgemein kooperative Natur von Blickhinweisreizen zurück, da in einer Metaanalyse von Peters & Büchel (2010) dem mOFC eher eine Funktion in der Verarbeitung subjektiver hedonistischer Erfahrungen beigemessen wird. Auch Schilbach et al. (2010) konnten die Aktivierung

des vmPFC in einer RJA-Situation ermitteln. In der gleichen Studie wurde das VS durch eine IJA-Situation aktiviert. Dies interpretierten Schilbach et al. (2010) als möglichen Hinweis auf eine Beteiligung des Belohnungssystems an der sozialen Blickverarbeitung. Eine Untersuchung von Pfeiffer et al. (2014) konnte ebenfalls die Aktivierung des VS in blickbezogenen sozialen Interaktionen belegen, indem sie eine sozial gesteuerte mit einer computergesteuerten Interaktion verglichen. Die Beteiligung der Amygala an JA-Prozessen konnte ebenso in einigen Studien nachgewiesen werden (vgl. z.B. Gordon et al., 2013; Redcay et al., 2010; vgl. auch Kapitel 2.4.1).

### **2.5.3 Das Spiegelneuronen-System nach Pfeiffer et al. (2013)**

Um Hirnregionen, die an JA-Prozessen beteiligt sind, besser differenzieren zu können, wurden zunehmend interaktive Studienmodelle verwendet. Ein solches stellt das „Hyperscanning“-Paradigma dar, bei dem die Hirnaktivität von zwei sich miteinander in Interaktion befindenden Personen simultan gemessen wird (Montague et al., 2002). Saito et al. (2010) verwendeten dieses Prinzip in einer fMRT-Studie, bei der sie zwei Testpersonen eine JA-Aufgabe live über ein Eye-Tracking-Verfahren ausführen ließen. Parallel dazu maßen sie deren Hirnaktivität, welche sie dann zueinander in Relation setzten. Dabei fanden sie, neben den bei JA-Studien typischerweise involvierten Arealen, eine erhöhte Aktivierung des rechten Gyrus frontalis inferior (IFG). Der rechte IFG wird als eine Komponente des parietofrontalen Spiegelneuronen-Systems diskutiert, die sowohl für die Ausführung, als auch für die Beobachtung von Handlungen in sozialem Kontext und den damit verbundenen mentalen Repräsentationen von Bedeutung ist (Rizzolatti & Sinigaglia, 2010). So ist bei JA-Aufgaben durch den imitativen Aspekt der Blickverschiebung eine Aktivität im rechten IFG erwartbar (Pfeiffer et al., 2013). Damit übereinstimmende Ergebnisse wurden von Lachat & George (2012) in einer EEG-Hyperscanning-Studie gefunden. Dagegen wurde keine Involvierung des Spiegelneuronen-Systems in Studien mit passiver JA-Anforderung (vgl. u.a. Materna et al., 2008; Williams et al., 2005) oder anderen interaktiven JA-Studien gefunden (vgl. u.a. Redcay et al., 2010, 2012; Schilbach et al., 2010). Diese Diskrepanz erscheint aktuell unklar und könnte auf die Verwendung von unterschiedlichen experimentellen Designs zurückzuführen sein (Pfeiffer et al., 2013).

Bei JA-Prozessen orientieren Menschen ihren Blick an dem eines Gegenübers, um ihre visuelle Aufmerksamkeit auf ein Objekt in der Peripherie zu richten. Das folgende Kapitel beschäftigt sich dahingehend mit grundlegenden neurophysiologischen Konzepten zur visuellen räumlichen Aufmerksamkeit.

## **2.6 Neurophysiologische Korrelate der visuellen räumlichen Aufmerksamkeitsorientierung**

In ihrem Review-Artikel postulierten Corbetta & Shulman (2002) ein Konzept von zwei anatomisch und funktionell getrennten Aufmerksamkeitssystemen. Das vorwiegend rechtslateralisierte ventrale frontoparietale System besteht aus der Temporoparietalen Junction (TPJ) und dem ventralen frontalen Cortex. Anatomisch kann die TPJ in den Lobulus parietalis inferior sowie den Gyrus temporalis superior untergliedert werden. Der ventrale frontale Cortex besteht vorwiegend aus dem Gyrus frontalis medius (MFG) und dem Gyrus frontalis inferior (IFG). Dem gegenübergestellt wird ein bilaterales dorsales frontoparietales System, das den intraparietalen Sulcus (IPS) und das frontale Augenfeld (FEF) umfasst. Das ventrale frontoparietale System soll für die Bottom-Up- bzw. exogen gesteuerte Aufmerksamkeitslenkung, d.h. die weitgehend automatische Reaktion auf verhaltensrelevante unerwartete Reize, zuständig sein. Dem dorsalen frontoparietalen System wird die Top-Down- bzw. endogene Kontrolle der Aufmerksamkeitsorientierung beigegeben, die bewusst und willkürlich erfolgen kann (vgl. Corbetta & Shulman, 2002). Einige Untersuchungen ergaben Hinweise auf die anatomisch-funktionelle Trennung beider Netzwerke. Fox et al. (2006) konnten in einer fMRT-Studie zeigen, dass eine funktionelle Konnektivität innerhalb der Anteile des ventralen und dorsalen frontoparietalen Netzwerks sowohl bei expliziten aufmerksamkeitserfordernden Aufgaben als auch bei Ruheaktivität ohne Aufgabenanforderung klar voneinander abgrenzbar war. Ähnliche Resultate ermittelten He et al. (2007) in der Untersuchung von Menschen mit Neglect. De Schotten et al. (2011) und Umarova et al. (2010) fanden die Trennbarkeit der beiden Systeme in Konnektivitätsanalysen der weißen Substanz bestätigt. Auch konnte beobachtet werden, dass bei Aufgaben, die Top-Down-regulierte Aufmerksamkeit erfordern, ventrale frontoparietale Areale, wie die TPJ, in ihrer Aktivität unterdrückt werden, während dorsale frontoparietale Areale, wie der IPS und das FEF, aktiv sind (vgl. Shulman et al., 2003, 2007; Todd et al., 2005). Vossel et al. (2014) deuten die Inhibition der ventralen frontoparietalen Areale in diesem Zusammenhang als Filtermechanismus, der den Fokus

auf die Aufgabenanforderung zentriert und eine Ablenkung durch irrelevante Reize verhindert. Dieser und andere ähnliche Befunde (vgl. bspw. Chica et al., 2011; DiQuattro & Geng, 2011; Fox et al., 2006) legen nahe, dass es weitläufige Interaktionen zwischen ventralem und dorsalen frontoparietalen System gibt. Die flexible Kontrolle der Aufmerksamkeit scheint nur durch eine dynamische Interaktion zwischen beiden Systemen möglich zu sein (Vossel et al., 2014). Hinweise dafür konnten auch Doricchi et al. (2010) in einer fMRT-Studie mit zentralem Cueing finden. In dieser wurden prädiktive und nicht-prädiktive symbolische Hinweisreize verwendet. Erwartungsgemäß wurde eine Deaktivierung der rechten TPJ bei prädiktiven Hinweisreizen beobachtet, da die Verarbeitung dieser vor allem endogene Aufmerksamkeitsprozesse erforderte. Daneben konnte gezeigt werden, dass linke und rechte TPJ, unabhängig von der Vorhersagekraft der Hinweisreize, unterschiedlich aktiviert werden, wenn Diskrepanzen zwischen hingewiesenem und tatsächlichem Auftrittsort des Zielreizes beobachtet werden. So wurden bei inkongruenten Versuchen die rechte und linke TPJ aktiviert, bei kongruenten jedoch nur die linke TPJ. Doricchi et al. (2010) nach spricht dies für eine gemeinsame Funktion von rechter und linker TPJ bei exogen getriggerten Reorientierungsprozessen, die bei einem Abweichen von der endogenen „Aufmerksamkeits-Schablone“ erforderlich werden. In der Studie konnte zudem beobachtet werden, dass die Aktivierung von rechtem MFG und IFG zunahm, wenn inkongruente Versuche auf viele hochprädiktive Versuche, im Sinne einer gestörten endogenen Erwartung, folgten (vgl. Doricchi et al., 2010). Eine ähnliche fMRT-Studie von Kincade et al. (2005) konnte demonstrieren, dass bei willkürlichen Verschiebungen der Aufmerksamkeit das FEF und der IPS aktiviert werden. Daneben wurde eine Beteiligung des FEF und anderen dorsalen frontoparietalen Regionen an stimulusgelenkten Aufmerksamkeitsverschiebungen beobachtet. Kincade et al. (2005) schlossen daraus auf eine teilweise Überlappung beider Aufmerksamkeitssysteme. Für die TPJ konnten sie eine starke Aktivierung durch exogene Stimuli feststellen. Diese schien jedoch sehr von der Relevanz der Stimuli für das Verhalten bzw. die Aufgabenstellung abhängig zu sein, da verhaltensirrelevante saliente Umgebungsreize keine Aktivitätserhöhung in der TPJ zur Folge hatten (vgl. Kincade et al., 2005).

In der Zusammenschau konnten einige Untersuchungen Evidenz für die anatomisch-funktionelle Trennung der von Corbetta & Shulman (2002) vorgeschlagenen Aufmerksamkeitssysteme erbringen (vgl. De Schotten et al., 2011; Fox et al., 2006; He et al., 2007; Shulman et al., 2003, 2007; Todd et al., 2005; Umarova et al., 2010). Andererseits lassen sich zahlreiche Hinweise darauf finden, dass die beiden Netzwerke eine gemeinsame und

sich ergänzende Funktion bei der Integration exogener und endogener Aufmerksamkeitskontrolle bekleiden (vgl. Chica et al., 2011; Corbetta et al., 2008; DiQuattro & Geng, 2011; Fox et al., 2006; Geng & Mangun, 2011; Kucyi et al., 2012; Vossel et al., 2011, 2014). An sozialen Aufmerksamkeitsprozessen scheint insbesondere die TPJ beteiligt zu sein (vgl. Doricchi et al., 2010; Kincade et al., 2005; Vossel et al., 2014).

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Verhaltens- und neurophysiologischen Grundlagen der Aufmerksamkeitsprozesse untersucht, welche an der Entstehung von Joint-Attention beteiligt zu sein scheinen und die Basis für die Durchführung von (Gaze-)Cueing-Aufgaben bilden. Die nachfolgenden Kapitel befassen sich mit Forschungsarbeiten, welche spezifisch mit zentralen Blick- und Pfeilhinweisreizen durchgeführte Cueing-Aufgaben verglichen haben.

## **2.7 Neurophysiologische Korrelate von zentralem Cueing mit Blick- und Pfeilhinweisreizen**

Die Verarbeitung von beobachteten Blickreizen ermöglicht eine reflektorische Orientierung des eigenen Blicks im Sinne einer visuellen räumlichen Aufmerksamkeitsverschiebung, sodass beide Augenpaare der Interaktionspartner auf dasselbe Objekt gerichtet sind. Dadurch entsteht die Situation der Joint-Attention. Dieser Prozess wurde in vorangehenden Studien, wie auch in der vorliegenden Untersuchung, versucht mithilfe des Gaze-Cueing-Paradigmas zu operationalisieren. Beim Gaze-Cueing entsteht ein Reaktionszeitvorteil durch das Beobachten von kongruent auftretendem Blickhinweis- und Zielreiz (vgl. Kapitel 2.2.2). Es konnte auch gezeigt werden, dass zentrale Pfeilsymbole einen vergleichbare automatische Aufmerksamkeitsorientierung initiieren können (vgl. Kapitel 2.2.3). Dahingehend stellt sich die Frage, ob die neuronale Verarbeitung von Blick- und Pfeilhinweisreizen unterschiedliche Hirnareale beansprucht. Im Folgenden werden Ergebnisse von Studien vorgestellt, die ein sehr ähnliches Konzept wie die vorliegende Arbeit verfolgten: Den Vergleich neurophysiologischer Korrelate von zentralen Cueing-Aufgaben mit Blick- und Pfeilhinweisreizen.

### 2.7.1 Cueing-Studien mit direktem Vergleich von zentralen Blick- und Pfeilhinweisreizen

In einer fMRT-Studie der Arbeitsgruppe CNS@ZPG verglichen Lockhofen et al. (2014) den Einfluss von nicht-prädiktiven zentralen Blick- und Pfeilhinweisreizen auf die Hirnaktivierung. Dabei verwendeten sie als Blickhinweisreize naturalistische Schwarz-Weiß-Fotografien mit abgewandtem Blick. Im direkten Vergleich beider Reiz-Typen konnten sie in Ganzkopfanalysen bei Blickhinweisreizen linksseitig Aktivierungen in Arealen des Gyrus occipitalis superior und der Calcarinen Region, sowie rechtsseitig im Cuneus, Gyrus occipitalis inferior, Cerebellum und Gyrus temporalis medius finden. Für Pfeilhinweisreize zeigten sie Aktivierungen bilateral in Regionen des Gyrus occipitalis medius, sowie rechtsseitig im Gyrus occipitalis superior und Lobulus parietalis superior auf. In Region-of-Interest-Analysen ermittelten sie bilateral erhöhte Aktivierungen im Sulcus temporalis superior (STS) und Gyrus fusiformis (FFG) für Blick- im Vergleich zu Pfeilhinweisreizen. Konnektivitätsanalysen konnten außerdem für Blickhinweisreize funktionelle Verbindungen des STS zum intraparietalen Sulcus (IPS) und dem frontalen Augengfeld (FEF) sowie des FFG zum IPS und der Amygdala darstellen. Lockhofen et al. (2014) fassten ihre Befunde für Blickhinweisreize dahingehend zusammen, dass diese vornehmlich eine Aktivierung occipitotemporaler Regionen bewirkten, wohingegen durch Pfeilhinweisreize occipitoparietale Regionen aktiviert wurden. Aus diesem Aktivierungsmuster schlossen sie, dass die Verarbeitung von Pfeil-, im Vergleich zu Blickhinweisreizen, möglicherweise einem eher willkürlichen Prozess unterliegen könnte (vgl. Lockhofen et al., 2014).

Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Engell et al. (2010), die in einer fMRT-Untersuchung ebenfalls naturalistische Blick- mit Pfeilhinweisreizen miteinander verglichen. Sie konnten für Blickhinweisreize stärkere Aktivierungen in extrastriatalen visuellen Regionen, occipitotemporalen Arealen, medialen (Hippocampus und Amygdala) und ventralen temporalen Regionen, sowie in Arealen des Gyrus frontalis medius und inferior aufzeigen. Durch Pfeilhinweisreize wurden hingegen verstärkt Regionen im linken Parietallappen (IPS und Gyrus postcentralis) sowie im Gyrus praecentralis aktiviert. Im Gegensatz zur Studie von Lockhofen et al. (2014), wurden in der Untersuchung von Engell et al. (2010) außerdem Vergleiche zwischen richtungskongruenten und -inkongruenten Einzelversuchen angestellt. Dabei wurden für inkongruente, im Vergleich zu kongruenten Be-

dingungen, durch Pfeilhinweisreize verstärkte Aktivierungen im Bereich der rechtseitigen Temporoparietalen Junktion (TPJ) und des Gyrus frontalis inferior (IFG), welche von Corbetta & Shulman (2002) dem ventralen Aufmerksamkeitssystem zugeordnet werden, detektiert. Für Blickhinweisreize konnten keine solche Unterschiede ermittelt werden. Diesen Befund interpretierten Engell et al. (2010) so, dass Pfeilhinweisreize primär das dorsale Aufmerksamkeitssystem aktivierten und erst bei der Reorientierungsreaktion in einem inkongruenten Versuch das ventrale Aufmerksamkeitssystem verstärkt miteinbezogen werde. Da durch Blickhinweisreize jedoch unabhängig von der Kongruenz eine gleichbleibende Aktivierung des ventralen frontoparietalen Netzwerks ausgelöst wurde, schlossen sie auf eine automatischere Verarbeitung von Blickhinweisreizen (vgl. Engell et al., 2010).

Hinweise zur Involvierung des ventralen Aufmerksamkeitssystems bei der Verarbeitung von Blickhinweisreizen fanden ebenfalls Joseph et al. (2015) in einer fMRT-Untersuchung mit naturalistischen Blickhinweisreizen. Dabei untersuchten sie insbesondere die Rückorientierung in inkongruenten Bedingungen. Sie konnten für Blick- im Vergleich zu Pfeilhinweisen eine stärkere Rekrutierung des ventralen Aufmerksamkeitssystems (vor allem der TPJ), aber auch von Teilen des dorsalen frontoparietalen Netzwerks im Bereich des rechten Gyrus praecentralis aufzeigen. Daraus leiteten sie ab, dass die Prozessierung von Blick- und Pfeilhinweisreizen wahrscheinlich ähnliche Hirnareale beansprucht, Blickhinweisreize jedoch in diesen stärkere Aktivierungen induzieren würden (vgl. Joseph et al., 2015).

Callejas et al. (2014) führten eine ähnlich konzipierte Forschungsarbeit durch, in der die Orientierungsreaktionen auf kongruente und die Reorientierungsreaktionen auf inkongruente naturalistische Blick- und Pfeilhinweisreize miteinander verglichen wurden. Im Gegensatz zu den vorgenannten Untersuchungen wurden jedoch prädiktive Hinweisreize (mit einer Vorhersagewahrscheinlichkeit von 75%) verwendet. Die Autoren konnten Hinweise dafür finden, dass Blick- und Pfeilhinweisreize größtenteils die gleichen neuronalen Netzwerke aktivierten, jedoch gewisse Modulationen durch die Art des Hinweisreizes bedingt wurden. Diese umfassten für die Orientierungsreaktionen durch Pfeilhinweisreize stärkere Aktivierungen im linken IPS, sowie bilateral in mittleren temporalen Regionen und dem lateralen occipitalen Cortex. Für Blickhinweisreize konnten dagegen größere Effekte im rechten posterioren IPS festgestellt werden. Insgesamt konnten sie für Pfeilhinweisreize stärkere Aktivierungsmuster in Regionen finden, die in das dorsale Auf-

merksamkeitssystem miteinbezogen werden. Da diesem eher eine Funktion in der endogenen Aufmerksamkeitskontrolle zugeschrieben wird, schlossen Callejas et al. (2014) auf eine größere Automatisierung der Verarbeitung von Blickhinweisreizen. In der Studie konnten weiterhin Aktivierungen in Arealen des posterioren STS und des FFG bei der Prozessierung von Blickhinweisreizen gefunden werden, die aber keine Unterschiede bezüglich Orientierungs- und Reorientierungsreaktion aufwiesen. In Konnektivitätsanalysen konnten für Blickhinweise stärkere Verbindungen zwischen pSTS, FFG, posteriorem IPS und IFG gefunden werden als für Pfeilhinweisreize. Dies interpretierten die Autoren als Korrelat einer möglichen Informationsvermittlung über den Blickhinweisreiz an Strukturen des ventralen und des dorsalen Aufmerksamkeitssystems (vgl. Callejas et al., 2014).

Im Gegensatz zu den vorgenannten Untersuchungen, in denen naturalistische Hinweisreize verwendet wurden, führten Tipper et al. (2008) eine fMRT-Studie durch, in der ein nicht-prädiktiver zentraler Hinweisreiz eingesetzt wurde, der entweder als Auge im Profil oder als Kopf eines Pfeils wahrgenommen werden konnte. Vor den Cueing-Versuchen wurden die Teilnehmenden instruiert, den Stimulus als Auge oder als Pfeil wahrzunehmen. Damit konnte die Hirnaktivierung bei der Aufmerksamkeitsorientierung durch soziale und nicht-soziale Reize unter Beibehaltung eines konstanten physikalischen Stimulus verglichen werden. Größtenteils fanden die Autoren ähnliche Aktivierungsmuster für Blick- und Pfeilhinweisreize. Beide Arten von Hinweisreizen aktivierten bilateral Regionen im Bereich des IPS, des Lobus parietalis superior, der TPJ (Lobulus parietalis inferior und posteriorer Gyrus temporalis superior), des anterioren Gyrus temporalis superior, des dorsalen frontalen Cortex (Gyrus frontalis medius und Gyrus frontalis superior) und des occipitalen Cortex. Im direkten Vergleich der als Blick- oder Pfeilhinweisreiz wahrgenommenen Bedingung konnten für Blickhinweisreize größere Aktivierungen bilateral in Arealen des Gyrus occipitalis medius, sowie rechtsseitig im Gyrus frontalis medius und Gyrus praecentralis inferior gefunden werden. Ihre Befunde deuteten die Autoren so, dass Blick- und Pfeilhinweise die gleichen Aufmerksamkeitsnetzwerke aktivierten, jedoch durch die Salienz der sozialen Komponente des Blicks im Vergleich zu Pfeilhinweisreizen insbesondere ventrale frontale Regionen verstärkt aktiviert würden (vgl. Tipper et al., 2008).

### 2.7.2 Cueing-Studien mit indirektem Vergleich von zentralen Blick- und Pfeilhinweisreizen

Neben den bisher dargestellten Studien, die Blick- und Pfeilhinweisreize direkt miteinander kontrastierten, wurden auch Untersuchungen durchgeführt, die diesen Vergleich indirekt anstellten, indem sie die beiden Hinweisreiz-Typen jeweils mit einer neutralen Bedingung verglichen. Hietanen et al. (2006) präsentierten ihren Testpersonen in einer fMRT-Studie mit zentralem Cueing-Paradigma als Hinweisreiz ein schematisches Gesicht mit abgewandtem Blick. Die Hirnaktivierung kontrastierten sie mit einer neutralen Bedingung, in der ein geradeaus gerichteter Blick gezeigt wurde. Analog dazu setzten sie Pfeilhinweisreize ein, die mit einer neutralen Bedingung (horizontaler Strich) verglichen wurden. Für Blickhinweisreize ermittelten Hietanen et al. (2006) verstärkte Aktivierungen in Arealen des linken Gyrus occipitalis inferior (IOG), sowie des rechten IOG, Gyrus occipitalis medius (MOG), Gyrus fusiformis (FFG) und Gyrus temporalis inferior (ITG). Für Pfeilhinweisreize konnten sie Aktivierungen in ähnlichen Regionen finden (bilateral in IOG und MOG, rechtsseitig in FFG und ITG), die jedoch räumlich stärker ausgedehnt waren. Zusätzlich fanden sie Aktivierungen durch Pfeilhinweisreize bilateral im Gyrus temporalis medius (MTG), rechtsseitig im Precuneus, im frontalen (FEF) und supplementären Augenfeld (SEF), sowie linksseitig im Lobulus parietalis inferior und Gyrus post-centralis. In einem zusätzlichen Analyseschritt stellten sie einen direkten Vergleich von Pfeil- mit Blickhinweisen an. Dabei fanden sie verstärkte Aktivierungen für Pfeilhinweisreize im linken MTG, ITG, MOG, Gyrus frontalis medius (bzw. FEF) und superior (bzw. SEF) sowie im rechten Precuneus und Gyrus frontalis superior (bzw. SEF). In einer Kontrastierung der neutralen Bedingungen konnten sie für das Gesicht mit dem direkten Blick größere Aktivierungen linksseitig in FFG und MOG, sowie rechtsseitig im FFG aufzeigen. Aus ihren Ergebnissen schlossen die Autoren, dass bei der Aufmerksamkeitsorientierung durch Blick- und Pfeilhinweisreize unterschiedliche kortikale Netzwerke involviert werden. Insbesondere die Verarbeitung von Pfeilhinweisreizen sei dabei assoziiert mit Hirnarealen, die eine Funktion in der willkürlichen Aufmerksamkeitskontrolle erfüllten. Blickhinweisreize würden hingegen, aufgrund der begrenzt umschriebenen Aktivierungen, eher reflexiv verarbeitet (vgl. Hietanen et al., 2006).

Sato et al. (2009) führten eine fMRT-Studie mit dem Vergleich von directionalen Hinweisreizen mit nicht-directionalen (neutralen) Stimuli durch. Dabei kontrastierten sie, neben Bedingungen, die Fotografien von Gesichtern mit abgewandtem und direktem Blick

zeigten, auch Handzeigegesten und Pfeilhinweise mit ihren jeweiligen neutralen Bedingungen. Die Untersuchung konnte viele Gemeinsamkeiten in der Prozessierung der drei Reiz-Typen aufzeigen: Sowohl Blick-, als auch Pfeil- und Handzeigegesten, induzierten rechtsseitig größere Aktivierungen im STS, im Lobulus parietalis inferior, im IFG und in Arealen des occipitalen Cortex im Kontrast zu nicht-direktionalen Reizen. Ähnlich wie Hietanen et al. (2006) konnten sie für Pfeilhinweisreize zusätzlich beteiligte Regionen im rechten Gyrus temporalis medius und inferior, sowie im linken Lobulus parietalis superior identifizieren. Daneben ermittelten sie eine Aktivierung der rechten Amygdala einzig durch Blickhinweisreize. In einem weiteren Vergleich von kongruenten mit inkongruenten Bedingungen stellten Sato et al. (2009) eine größere Aktivierung des posterioren Gyrus temporalis medius in kongruenten Aufgabenteilen fest (vgl. Sato et al., 2009). Ihre Resultate sprechen den Autoren nach für weitgehende Gemeinsamkeiten in den zugrundeliegenden Mechanismen der Verarbeitung automatischer Aufmerksamkeitsverschiebungen durch Blick-, Pfeil- und Handzeigegesten.

### **2.7.3 Cueing-Studien mit zentralen Blick- und Pfeilhinweisreizen in der Zusammenschau**

Insgesamt erscheinen die Ergebnisse von vergleichenden Gaze- und Arrow-Cueing-Studien heterogen. Einige Autoren betonen die Gemeinsamkeiten in der neuronalen Verarbeitung von Blick- und Pfeilhinweisreizen (vgl. Callejas et al., 2014; Joseph et al., 2015; Sato et al., 2009; Tipper et al., 2008), andere eher die Unterschiede (vgl. Engell et al., 2010; Hietanen et al., 2006; Lockhofen et al., 2014). Der Prozessierung von Blickhinweisreizen wird in verschiedenen Forschungsarbeiten eine vorwiegend reflexive Verarbeitung zugeschrieben, die sich in der Aktivierung ventraler Aufmerksamkeitsnetzwerke ausdrückt (vgl. Engell et al., 2010; Joseph et al., 2015). Durch Pfeilhinweisreize wurden in einigen Studien eher Komponenten des dorsalen Aufmerksamkeitssystems aktiviert, dem eher eine Funktion in der willkürlichen Aufmerksamkeitskontrolle beigemessen wird (vgl. Callejas et al., 2014; Engell et al., 2010; Hietanen et al., 2006; Lockhofen et al., 2014). Jedoch konnte auch für Blickhinweisreize eine Beteiligung des dorsalen Aufmerksamkeitssystems gezeigt werden (vgl. Callejas et al., 2014; Joseph et al., 2015). Ein Teil der Untersuchungen konnte hingegen keine bedeutenden Unterschiede der beiden Hinweisreiz-Typen in Bezug auf die Hirnaktivierung feststellen (vgl. Sato et al., 2009;

Tipper et al., 2008). Auch bezüglich der Involvierung temporaler Areale, die in Zusammenhang mit der Blick- und Gesichtsverarbeitung gebracht werden (FFG und STS; vgl. Kapitel 2.3 und 2.4) differieren die Ergebnisse. In den Forschungsarbeiten von Callejas et al. (2014) und Lockhofen et al. (2014) induzierten Blickhinweisreize eine stärkere Aktivierung in FFG und STS. Sato et al. (2009) konnten ähnliche Aktivierungen durch beide Hinweisreiz-Typen, Hietanen et al. (2006) gar vermehrte Aktivierungen durch Pfeilhinweisreize in den genannten Arealen aufzeigen.

### **3. Theoretischer Hintergrund zum Einfluss der fMRT-Schichtführung auf die Messung der hämodynamischen Aktivierung**

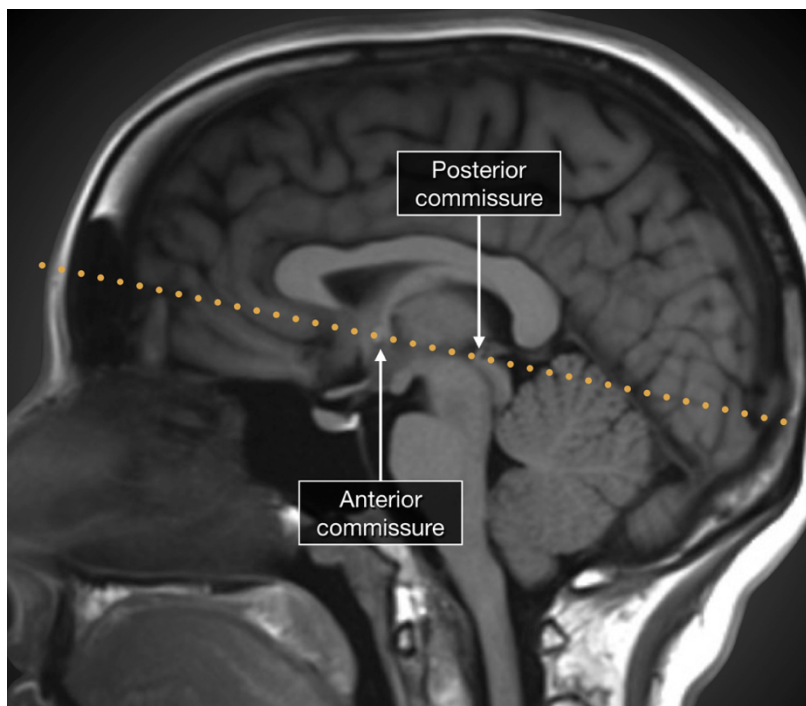
Die Magnetresonanztomografie (MRT) ist ein Schnittbildverfahren, welches zur Darstellung des menschlichen Gehirns geeignet ist. Für die vorliegende Untersuchung wurde eine spezielle Form der MRT eingesetzt: Die echoplanare Bildgebung (EPI). Mit dieser ist es möglich, eine gesamte Schicht innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde zu akquirieren, sodass sich eine hohe zeitliche Auflösung ergibt (Stöcker & Shah, 2007). Dadurch ist die EPI empfindlich für Signalveränderungen, die durch den Sauerstoffgehalt des Bluts hervorgerufen werden, was als „Blood-Oxygenation-Level-Dependency“ (BOLD) bezeichnet wird (Logothetis, 2003; Ogawa et al., 1990; für eine genauere Beschreibung des BOLD-Effektes vgl. Kapitel 5.6.2). Der BOLD-Effekt kann in der MRT zur indirekten Erfassung des Hirnstoffwechsels und damit als Korrelat der neuronalen Aktivität genutzt werden. Dieses Verfahren wird dann funktionelle MRT (fMRT) genannt (Stöcker & Shah, 2007).

Ein Problem bei der MR-Bildgebung stellt das Auftreten von Artefakten dar. So kann es, neben physiologischen (z.B. Bewegungsartefakte durch Atmung oder Herzschlag), auch zu messmethodischen Artefakten, bspw. durch unterschiedliche Suszeptibilitätsgradienten, kommen (Deichmann et al., 2003). Allkemper (2006) definiert Suszeptibilität als die „Magnetisierbarkeit einer Substanz“. Da verschiedene Gewebe im menschlichen Körper unterschiedlich magnetisierbar sind, wird ein von außen einwirkendes Magnetfeld, wie es bei der MRT eingesetzt wird, in unterschiedlichem Maße verändert. Dadurch entstehen lokale Magnetfeldinhomogenitäten bzw. veränderte Magnetfeldgradienten, die zu Signalverlusten führen können. In besonderem Maße treten solche Gradienten an Grenzflächen zwischen Gewebe (stark magnetisierbar) und Luft (nur vernachlässigbar magnetisierbar) auf (vgl. Allkemper, 2006). Dementsprechend können Artefakte vor allem in der Messung von Hirnarealen entstehen, in deren Umgebung Hirngewebe an pneumatisierte Knochen und Sinus bzw. an Knochengewebe im Allgemeinen grenzt. Als artefaktanfällige Regionen wurden insbesondere inferior gelegene Hirnareale beschrieben: Der inferiore frontale bzw. orbitofrontale Cortex (insbesondere der Gyrus rectus und der Gyrus orbitalis medialis), der mediale und inferiore Temporallappen (inklusive des Gyrus fusiformis) und die Amygdala (vgl. Deichmann et al., 2003; Devlin et al., 2000; Lipschutz et al.,

2001; Merboldt et al., 2001; Ojemann et al., 1997). Um grenzflächenbedingte Signalauslösungen zu reduzieren, kann u.a. eine veränderte Schichtführung eingesetzt werden (vgl. Deichmann et al., 2003; Merboldt et al., 2001; Ojemann et al., 1997). Durch die Neigung der Schichtführung wird eine Umverteilung von Suszeptibilitätsgradienten in Schicht- und Phasenkodierrichtung erreicht (Deichmann et al., 2003). Der Winkel der Schichtführungsneigung ist durch die Abweichung von einer transversalen Ebene, die durch die anteriore und posteriore Commissur verläuft, definiert, wobei ein positiver Winkel die Kippung des anterioren Teils dieser Ebene in Richtung der Füße anzeigt (Weiskopf et al., 2006; vgl. Abbildung 7). Für die fMRT der Amygdala konnte bspw. eine verminderte Signalauslöschung durch eine coronare (frontale) im Vergleich zu einer transversalen (axialen) Schichtorientierung erzielt werden (Merboldt et al., 2001). Deichmann et al. (2003) konnten zeigen, dass ein Neigungswinkel von  $+30^\circ$  zur Transversalebene eine bestmögliche Erfassung des orbitofrontalen Cortex (OFC) erlaubt. Dies wird unterstützt durch Ergebnisse von Gottfried et al. (2002), welche mit derselben Schichtorientierung eine Aktivierung des posterioren OFC, der Amygdala und des primären olfaktorischen Cortex durch Geruchsreize nachweisen konnten. Eine adäquate Signalerfassung für den inferioren Temporallappen konnten De Panfilis & Schwarzbauer (2005) ebenfalls u.a. mit Optimierung der Schichtführung erreichen. Aus den Ergebnissen der o.g. Studien und eigenen Untersuchungen entwarfen Weiskopf et al. (2006) eine Karte für das Gehirn, welche die optimale Einstellung für die fMRT-Untersuchung eines jeden Voxel darstellt. Nach Weiskopf et al. (2006) ist, neben der Wahl des Schichtführungswinkels, dessen Abstimmung mit der Phasenkodierrichtung und dem z-Shimming-Gradienten für eine optimale BOLD-Signalübertragung notwendig. Der z-Shimming-Gradient wirkt suszeptibilitätsbedingten Gradienten in der Durchgangsebene des gerichteten Magnetfelds entgegen. Eine optimale Schichtorientierung kann dazu beitragen den suszeptibilitätsinduzierten Gradienten in der Phasenkodierrichtung klein genug zu halten, um Signalauslösungen zu verhindern. Dazu sollte für die Phasenkodierrichtung eine zur Schichtführung passende Polarität gewählt werden. So konnte unter Applikation einer positiven Phasenkodierrichtung bspw. eine BOLD-Signalverbesserung bei negativer Winkelveränderung der Schichtführung für den temporalen Gehirnpol sowie den posterioren OFC ermittelt werden. Adäquate BOLD-Signale für den Gyrus temporalis inferior und den anterioren OFC stellten sich hingegen bei positiver Schichtneigung ein. Regionen, die sich nicht an der Unterseite des Gehirns befinden, sind dagegen nur unwesentlich sensibel für eine Veränderung der o.g. drei Parameter, sodass sich das Vorzeichen des

optimalen Schichtorientierungswinkels wie die Polarität der Phasenkodierrichtung verhält (vgl. Weiskopf et al., 2006).

Resümierend kann angenommen werden, dass Grenzflächenartefakte bei der fMRT vor allem an inferioren Hirnarealen auftreten können. Diese können durch optimierte Mess-einstellungen, wie der Anpassung des Neigungswinkels der Schichtführung, vermindert werden. Jedoch scheint es aufgrund der Form des Gehirns und dessen Lage im Schädel nicht möglich zu sein eine generelle optimierte Einstellung für alle inferioren Hirnbereiche zu finden. Daraus kann geschlossen werden, dass jede Winkeleinstellung der Schichtführung mit etwaigen Defiziten in der Abbildung von BOLD-Signalen einhergeht.



**Abbildung 7:** Imaginäre Linie zwischen anteriorer und posteriorer Commissur (Transversalebene), an welcher üblicherweise der Schichtführungswinkel in der fMRT orientiert wird (modifizierte Grafik aus Gaillard, 2017; Copyright: CC BY-NC-SA 3.0 - Lizenz).

## 4. Fragestellung

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Haupt- und eine Nebenfragestellung untersucht. Diese werden in den nachfolgenden Kapiteln 4.1 und 4.2 getrennt voneinander betrachtet.

### 4.1 Hauptfragestellung: Verhalten und Hirnaktivierung bei der reflexiven sozialen Aufmerksamkeitsorientierung

#### 4.1.1 Herleitung der Hauptfragestellung

Das Beobachten der Blickrichtung einer anderen Person kann Hinweise auf deren Aufmerksamkeitsfokus liefern. Bei unmittelbarem Blickkontakt stehen zwei Personen meist im Zentrum der Aufmerksamkeit der jeweils anderen, ein abgewandter Blick hingegen kann die Aufmerksamkeitsorientierung des Gegenübers in Richtung eines peripheren Objekts anzeigen (vgl. Frischen et al., 2007; Itier & Batty, 2009). Wenn die beobachtende Person dem Blick des Gegenübers mit dem eigenen Blick hin zu einem peripheren Objekt folgt, entsteht Joint-Attention (JA). In dieser sozialen Situation ist der Aufmerksamkeitsfokus beider Personen auf dasselbe Objekt gerichtet (Emery, 2000). Die Fähigkeit zur Etablierung von JA kann als eine Vorstufe von Theory-of-Mind-Prozessen angesehen werden (Baron-Cohen, 1995), welche es erlauben, Annahmen über mentale Zustände anderer Menschen zu treffen (Premack & Woodruff, 1978). Die ontogenetische Entwicklung von JA findet schon in einem sehr frühen Lebensalter statt und trägt zur Entwicklung adäquater sozialkognitiver Fähigkeiten bei (vgl. Baron-Cohen et al., 1997; Butterworth & Jarrett, 1991; Mundy, 2018). Es wird angenommen, dass Defizite in JA-Fähigkeiten ursächlich an verschiedenen psychischen Erkrankungen mit sozialem Kognitionsdefizit, wie z.B. Autismus oder Schizophrenie, beteiligt sein können (vgl. Baron-Cohen et al., 1999b; Frischen et al., 2007; Itier & Batty, 2009; Mundy, 2018; Quintana et al., 2001). Zugrundeliegende Prozesse von JA können mit dem Gaze-Cueing-Paradigma operationalisiert werden (vgl. Frischen et al., 2007; Pfeiffer et al., 2013). Friesen & Kingstone (1998) setzten erstmalig das Gaze-Cueing-Paradigma ein, um verdeckte Aufmerksamkeitsprozesse durch Blickhinweisreize zu untersuchen. Dazu modifizierten sie ein von Posner (1980) bzw. Posner & Cohen (1984) etabliertes Cueing-Paradigma mit peripheren Hinweisreizen. Im Gaze-Cueing-Paradigma wird eine JA-ähnliche Situation erzeugt. Dabei wird einer Testperson ein zentraler Blickhinweisreiz („Gaze-Cue“) präsentiert, dessen

Pupillen auf ein zeitlich versetzt erscheinendes Objekt in der Peripherie, d.h. kongruent zu einem Zielreiz, gerichtet sind. Zusätzlich wird eine Versuchsbedingung mit einem dem Präsentationsort des Zielreizes entgegengerichteten (inkongruenten) Blick eingesetzt. Die Versuchsperson soll dann schnellstmöglich auf das Auftauchen des Zielreizes, bspw. mit einem Tastendruck, reagieren. Die Schnelligkeit der dabei gemessenen Reaktionszeit gibt Hinweise auf die kognitive Verarbeitungseffizienz bzw. die Aufmerksamkeitsleistung (vgl. Frischen et al., 2007; Friesen & Kingston, 1998).

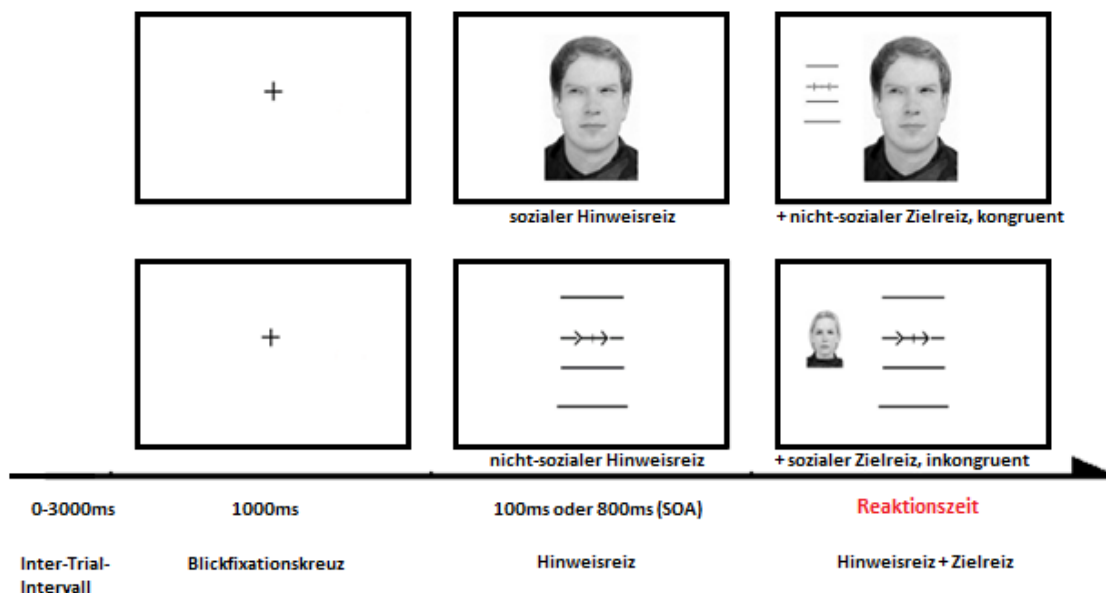
In zahlreichen Untersuchungen mit nicht-prädiktiven Blickhinweisreizen konnte gezeigt werden, dass in kongruenten Bedingungen schnellere Reaktionszeiten als in inkongruenten Bedingungen auftreten, d.h. Erleichterungseffekte durch die Kongruenz-Bedingung entstehen (vgl. dazu Gaze-Cueing-Studien von Akiyama et al., 2008; Bayliss & Tipper, 2005; Downing et al., 2004; Driver et al., 1999; Engell et al., 2010; Friesen & Kingstone, 1998; Galfano et al., 2012; Joseph et al., 2015; Langdon et al., 2006; Quadflieg et al., 2004; Ristic et al., 2002; Sato et al., 2009; Tipper et al., 2008). Nicht-prädiktiv bedeutet, den Testpersonen ist bewusst, dass der Hinweisreiz statistisch keinen Aussagewert über den Auftrittsort des Zielreizes liefert. Dadurch wird den Teilnehmenden kein Anreiz zur willentlichen bzw. endogenen Aufmerksamkeitslenkung gegeben. Kongruenz-Effekte konnten auch in Gaze-Cueing-Paradigmen beobachtet werden, in denen das Zeitintervall zwischen der Präsentation des Hinweis- und des Zielreizes kurz war und die Versuchspersonen wussten, dass der Zielreiz mit einer größeren Wahrscheinlichkeit auf der inkongruenten Seite erscheinen würde (vgl. Driver et al., 1999; Downing et al., 2004). Insgesamt legen diese Befunde nahe, dass beim Gaze-Cueing ein, durch den Blickhinweisreiz ausgelöster, exogen bzw. Stimulus-gesteuerter Aufmerksamkeitsprozess im Sinne eines reflexiven Vorgangs stattfindet (vgl. Frischen et al., 2007).

In der bisherigen Forschung ergaben sich daneben einige Belege dafür, dass zentral präsentierte nicht-prädiktive symbolische Hinweisreize, wie z.B. Pfeile, ähnliche Erleichterungseffekte in Bezug auf die Reaktionszeiten in Cueing-Paradigmen bewirken können (vgl. dazu Cueing-Studien mit Pfeilhinweisreizen von Akiyama et al., 2008; Bayliss & Tipper, 2005; Downing et al., 2004; Driver et al., 1999; Engell et al., 2010; Friesen & Kingstone, 1998; Galfano et al., 2012; Hietanen et al., 2006; Joseph et al., 2015; Langdon et al., 2006; Quadflieg et al., 2004; Ristic et al., 2002; Sato et al., 2009; Tipper et al., 2008; Tipples, 2002). Durch diese Ergebnisse besteht Unklarheit darüber, ob der menschliche Blick, als sozialer Reiz, außergewöhnlich salient für die Aufmerksamkeitsorientierung ist. Daraus können zwei Forschungsfragen abgeleitet werden:

1. Ist die visuelle räumliche Aufmerksamkeitsorientierung unterschiedlich in Bezug auf soziale Blickhinweisreize und symbolische Pfeilhinweisreize?
2. Unterliegen soziale Blickhinweisreize und symbolische Pfeilhinweisreize einer unterschiedlichen neurophysiologischen Verarbeitung?

Im Folgenden wird die Wahl der experimentellen Konzeption zur Untersuchung der beiden Forschungsfragen begründet.

#### 4.1.2 Experimentelle Konzeption



**Abbildung 8:** Exemplarische Darstellung zweier experimenteller Einzelversuche (sog. „Trials“). Oben: Kongruentes Trial mit sozialem Hinweisreiz und nicht-sozialem Zielreiz. Unten: Inkongruentes Trial mit nicht-sozialem Hinweisreiz und sozialem Zielreiz (*Darstellung schematisch und nicht maßstabsgetreu*).

Um potenzielle Unterschiede in der Verhaltensreaktion auf und in der neurophysiologischen Verarbeitung von sozialen und symbolischen (nicht-sozialen) Hinweisreizen ergründen zu können, wurden in der vorliegenden Untersuchung die Reaktionen von 52 gesunden Versuchspersonen auf zentral im Blickfeld präsentierte Blick- und Pfeilhinweisreize in einem Cueing-Paradigma miteinander verglichen. In das Experiment wurde

ein zusätzlicher Faktor integriert, der in vorherigen Untersuchungen bislang unberücksichtigt blieb: Der Zielreiz wurde sowohl in einer nicht-sozialen als auch in einer sozialen Variante präsentiert. Dadurch wurde beabsichtigt, den sozialen Kontext der untersuchten Situation zu erweitern, um eine umfassendere Betrachtung sozialer Aufmerksamkeitsprozesse zu ermöglichen. Der soziale Hinweisreiz bestand aus einem Gesicht mit abgewandtem, der soziale Zielreiz aus einem Gesicht mit geradeaus gerichtetem Blick. Als nicht-sozialer Hinweisreiz wurde ein geometrisches Pfeilmuster, als nicht-sozialer Zielreiz ein ungerichtetes geometrisches Muster verwendet. Die Effekte der vier verschiedenen Reiz-Typen und deren Kombinationsmöglichkeiten wurden in einer Reaktionszeitaufgabe mit Variation der Kongruenz-Bedingung untersucht.

Dabei wurde ein kurzes Zeitintervall zwischen der Präsentation des Hinweis- und des Zielreizes appliziert. Dieses Intervall wird im Allgemeinen als „Stimulus-Onset-Asynchrony“ (SOA) bezeichnet (Frischen et al., 2007). In einer Vielzahl von Studien konnte eine Abhängigkeit des Kongruenz-Effekts von der SOA festgestellt werden. Robuste Kongruenz-Effekte wurden bei mittellangen SOAs zwischen ca. 300-700 ms, sowohl für Blick-, als auch für Pfeilhinweisreize ermittelt (vgl. Akiyama et al., 2008; Bayliss & Tipper, 2005; Downing et al., 2004; Driver et al., 1999; Engell et al., 2010; Friesen & Kingstone, 1998; Joseph et al., 2015; Langdon et al., 2006; Quadflieg et al., 2004; Ristic et al., 2002; Sato et al., 2009; Tipper et al., 2008). Bei kürzeren SOAs von 100-200 ms wurde, neben ähnlich starken Effekten für beide Hinweisreiz-Typen (vgl. Akiyama et al., 2008; Friesen & Kingstone, 1998; Galfano et al., 2012; Greene et al., 2009; Hietanen et al., 2006; Quadflieg et al., 2004; Ristic et al., 2002; Tipples, 2002), in einigen Untersuchungen ein Ausbleiben von Kongruenz-Effekten bei Blickhinweisreizen beobachtet (vgl. Bayliss & Tipper, 2005; Downing et al., 2004; Driver et al., 1999). Die bei solch kurzen SOAs auftretenden Aufmerksamkeitsverschiebungen können als reflexiv bzw. exogen gesteuert angesehen werden (Friesen & Kingstone, 1998). Bei längeren SOA-Bedingungen wird eher von willkürlichen Verarbeitungsprozessen ausgegangen (Frischen et al., 2007). Die zum Teil divergierenden Befunde für Blick- und Pfeilhinweisreize in Cueing-Studien mit kurzer SOA deuten möglicherweise auf eine unterschiedliche kognitive Verarbeitung beider Reiz-Typen hin. Dies scheint insbesondere bei sehr kurzen SOAs sichtbar zu werden, welche eine reflexive Reizverarbeitung erfordern. Deshalb wurde in der vorliegenden Untersuchung eine SOA von 100 ms eingesetzt.

Nachfolgend werden die aus den beiden Forschungsfragen und dem gewählten Studiendesign abgeleiteten Hypothesen dargestellt.

### 4.1.3 Behaviorale Korrelate

Die erste Hypothese der vorliegenden Arbeit bezieht sich auf die Verhaltenskorrelate der im vorherigen Kapitel beschriebenen sozialen und nicht-sozialen Reizbedingungen unter einer SOA von 100 ms. Dahingehend wurde die Annahme getroffen, dass sowohl bei der Präsentation von sozialen als auch von nicht-sozialen Hinweis- und Zielreizen Erleichterungseffekte in Bezug auf die Reaktionszeiten in kongruenten Bedingungen auftreten (Hypothese 1).

### 4.1.4 Hämodynamische Korrelate

Die vorangegangene Forschung hat eine Fülle an Erkenntnissen zu neurophysiologischen Korrelaten von sozialen Aufmerksamkeitsprozessen geliefert. Diese wurden insbesondere mithilfe der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT) generiert. Die fMRT ist ein Schnittbildverfahren, welches durch die Nutzung des Blood-Oxygenation-Level-Dependency-Effekts (BOLD) zur indirekten Erfassung des Hirnstoffwechsels geeignet ist. Daraus können Rückschlüsse auf neuronale Aktivierungsmuster abgeleitet werden (vgl. Stöcker & Shah, 2007; vgl. auch Kapitel 5.6.2). Um beteiligte Hirnareale an der Verarbeitung der in den vorherigen Kapiteln 4.1.1 und 4.1.2 beschriebenen Aufmerksamkeitsprozesse identifizieren zu können, wurden die Versuchspersonen während der Bearbeitung der Reaktionszeitaufgabe mittels fMRT untersucht.

Durch den Einsatz von naturalistischen sozialen Blickhinweis- und Zielreizen konnte davon ausgegangen werden, dass unter sozialen Reizbedingungen Gehirnareale aktiviert werden, die in den Modellen zur neurophysiologischen Verarbeitung von Gesichtern nach Haxby et al. (2000) und von Blickreizen nach Senju & Johnson (2009) berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 2.3 und 2.4). In den kongruenten Bedingungen mit sozialen Blickreizen konnten, aufgrund deren Ähnlichkeit zu Joint-Attention-Situationen, Aktivierungen in Hirnregionen erwartet werden, welchen im Modell zur neurophysiologischen Verarbeitung von Joint-Attention- und Theory-of-Mind-Prozessen nach Pfeiffer et al. (2013) wichtige Funktionen zugeschrieben werden (vgl. Kapitel 2.5). Die Ergebnisse bisheriger Cueing-Studien mit Blick- und Pfeilhinweisreizen erscheinen in Bezug auf die durch den jeweiligen Reiz-Typ ermittelte hämodynamische Aktivierung heterogen (vgl. Kapitel 2.7). Dies betrifft auch die Registrierung von Aktivierungen in Arealen des ventralen und dorsalen Aufmerksamkeitssystems nach Corbetta & Shulman (2002) (vgl. Kapitel 2.6),

deren Involvierung durch den in der Reaktionszeitaufgabe geforderten visuellen räumlichen Aufmerksamkeitsprozess angenommen werden konnte. Während einige Autoren die Ähnlichkeiten in der neuronalen Verarbeitung von Blick- und Pfeilhinweisreizen hervorheben (vgl. Callejas et al., 2014; Joseph et al., 2015; Sato et al., 2009; Tipper et al., 2008), betonen andere eher deren Unterschiede (vgl. Engell et al., 2010; Hietanen et al., 2006; Lockhofen et al., 2014). Um ein genaueres Verständnis der neurokognitiven Prozessierung von sozialen und symbolischen Reizen zu erlangen, wurde die in Kapitel 4.1.2 beschriebene Variation der Zielreize in das Design der vorliegenden Untersuchung implementiert.

Die zweite Hypothese bezieht sich auf die Exploration von Unterschieden in der neurophysiologischen Verarbeitung jener sozialen und nicht-sozialen Reizbedingungen. Es wurde angenommen, dass sich die Muster der BOLD-Signale, als Korrelate der Gehirnaktivierung, zwischen sozialen und nicht-sozialen Reizbedingungen unterscheiden (Hypothese 2).

## **4.2 Nebenfragestellung: Effekte der fMRT-Schichtführung auf die gemessene hämodynamische Aktivierung**

### **4.2.1 Herleitung der Nebenfragestellung und experimentelle Konzeption**

Ein bekanntes Problem der fMRT stellt das Auftreten von Grenzflächenartefakten dar. Diese können an Grenzflächen zwischen unterschiedlich magnetisierbaren Geweben, wie bspw. pneumatisierten Knochen und Hirngewebe, auftreten (vgl. Allkemper, 2006; Deichmann et al., 2003). Dafür scheint insbesondere die fMRT von inferioren Hirnarealen anfällig zu sein (vgl. Deichmann et al., 2003; Devlin et al., 2000; Lipschutz et al., 2001; Merboldt et al., 2001; Ojemann et al., 1997). Um grenzflächenbedingte Signalauslösungen zu reduzieren, kann u.a. eine veränderte Schichtführung eingesetzt werden (Deichmann et al., 2003; Merboldt et al., 2001; Ojemann et al., 1997). In bisherigen Studien der Arbeitsgruppe CNS@ZPG (vgl. bspw. Lockhofen et al., 2014) konnten, entgegen den Vorannahmen, keine Aktivierungen in frontalen Hirnarealen rezipiert werden. Dies kann möglicherweise auf den gewählten Winkel der Schichtführung zurückgeführt werden. Um den potenziellen Einfluss der Schichtführung auf die gemessene hämodynamische Aktivierung (BOLD-Signale) sichtbar zu machen, wurden die unter zwei verschiedenen Winkeleinstellung ( $0^\circ$  und  $-25^\circ$ ; vgl. Kapitel 5.6.3) erfassten fMRT-Daten zweier Gruppen innerhalb der Gesamtstichprobe miteinander verglichen.

#### 4.2.2 Hypothesen zur Überprüfung von Effekten der fMRT-Schichtführung

Zur Untersuchung der hämodynamischen Korrelate beider Schichtführungsgruppen erschien es sinnvoll, zunächst die Verhaltensdaten beider Gruppen miteinander zu vergleichen. Dadurch sollten individuelle Gruppenunterschiede als Ursache für unterschiedliche BOLD-Signalmuster kontrolliert werden. Dazu wurde die Annahme getroffen, dass sowohl bei der Präsentation von sozialen als auch von nicht-sozialen Hinweis- und Zielreizen Erleichterungseffekte in Bezug auf die Reaktionszeiten in kongruenten Bedingungen in beiden Schichtführungsgruppen auftreten (Hypothese 3).

Um Effekte der fMRT-Schichtführung auf die hämodynamische Aktivierung zu untersuchen, wurde angenommen, dass sich die Muster der BOLD-Signale beider Schichtführungsgruppen voneinander unterscheiden (Hypothese 4).

Hypothese 1	Bei den sozialen und den nicht-sozialen Reizbedingungen tritt ein Kongruenz-Effekt auf.
Hypothese 2	Die Muster der hämodynamischen Aktivierung (BOLD) unterscheiden sich zwischen den sozialen und den nicht-sozialen Reizbedingungen.
Hypothese 3	Bei den sozialen und den nicht-sozialen Reizbedingungen tritt in beiden Schichtführungsgruppen ein Kongruenz-Effekt auf.
Hypothese 4	Die Muster der hämodynamischen Aktivierung (BOLD) unterscheiden sich zwischen den beiden Schichtführungsgruppen.

**Tabelle 1: Die vier Hypothesen der Forschungsarbeit.**

## **5. Methoden**

### **5.1 Stichprobe**

An der durchgeführten Untersuchung nahmen insgesamt N=52 Freiwillige teil (28 Männer, mittleres Alter: 28 Jahre, Range: 22-40 Jahre, Standardabweichung: 4,0; 24 Frauen, mittleres Alter: 25 Jahre, Range: 20-34 Jahre, Standardabweichung: 3,7). Im Vorfeld wurde versucht mögliche intrapersonelle Einflüsse auf die Aufmerksamkeitsleistung der Testpersonen zu minimieren. Dazu wurden in einem Vorgespräch psychische, neurologische oder schwerwiegende somatische Erkrankungen, sowie eine etwaige aufmerksamkeitsbeeinflussende Medikamenten- oder Substanzmitteleinnahme und die Kontraindikationen für MRT-Untersuchungen in der Forschung ausgeschlossen. Die Rekrutierung erfolgte über eine Rundmail des Hochschulrechenzentrums an Studierende und Angestellte der Justus-Liebig-Universität Gießen. Alle Testpersonen erhielten im Vorhinein die gleichen allgemeinen Informationen über das Experiment. Informationen über die konkrete Fragestellung wurden nicht mitgeteilt. Als Aufwandsentschädigung wurden wahlweise ein Betrag von 20€ oder 2 Versuchspersonenstunden ausgegeben. Sowohl telefonisch als auch persönlich wurden die Teilnehmenden vor Beginn des Untersuchungsablaufs über Risiken und Nutzen, sowie den allgemeinen Ablauf der Studie aufgeklärt. Dies wurde vor dem Experiment in einer Einverständniserklärung schriftlich festgehalten.

### **5.2 Versuchsdesign und Variablen**

#### **5.2.1 Experimentelles Design**

In dem Experiment wurden insgesamt vier Messwiederholungsfaktoren mit jeweils binärer Abstufung als unabhängige Variablen eingesetzt ( $2 \times 2 \times 2 \times 2$ -faktorielles Design):

- „Hinweisreiz“ (sozial vs. nicht-sozial),
- „Zielreiz“ (sozial vs. nicht-sozial),
- „Kongruenz“ (kongruent vs. inkongruent),
- „SOA“ (100 ms vs. 800 ms).

Als soziale Hinweis- und Zielreize wurden naturalistische Portraitfotos von Gesichtern verwendet. Die nicht-sozialen Hinweis- und Zielreize bestanden aus Abbildungen von geometrischen Mustern (vgl. Kapitel 5.4). Der Faktor „Kongruenz“ beschrieb die

Richtungsinformation des Hinweisreizes, welche entweder der Seite des Auftrittsortes des Zielreizes oder der entgegengesetzten Seite zugewandt war. Die SOA bezeichnete den zeitlichen Abstand zwischen der alleinigen Präsentation des Hinweisreizes und dem darauffolgenden zusätzlichen Einblenden des Zielreizes. Diese wurde in den Einzelversuchen entweder auf 100 ms oder 800 ms festgelegt. Als von den Messwiederholungsfaktoren abhängige Variable wurde auf der Verhaltensebene die Reaktionszeit der Testpersonen bestimmt. Die Reaktionszeit wurde als Zeitspanne zwischen der Präsentation des Zielreizes und der Betätigung des Reaktionszeitnehmers durch die Teilnehmenden in einem experimentellen Trial definiert (vgl. Kapitel 5.5.1). Auf der hämodynamischen Ebene wurden, als von den Messwiederholungsfaktoren abhängige Variablen, die detektierten BOLD-Signale während eines jeweiligen experimentellen Trials festgelegt (vgl. Kapitel 5.6.2).

Ein ähnliches Versuchsdesign wurde bereits in anderen Studien der Arbeitsgruppe CNS@ZPG verwendet. Als Neuerung wurde in der vorliegenden Untersuchung die Variation des Zielreizes mit den o.g. Abstufungen eingeführt. Die SOA als unabhängige Variable wurde nicht in die Auswertung miteinbezogen, da das Ziel der vorliegenden Untersuchung die Erforschung reflexiver Aufmerksamkeitsprozesse darstellte, um mögliche Unterschiede in der Reaktion auf und in der neurophysiologischen Verarbeitung von sozialen und nicht-sozialen Reizen erkennbar werden zu lassen (vgl. Kapitel 4.1.2). Bei langen SOAs kann, im Vergleich zu kurzen SOA-Bedingungen, von teilweise willkürlichen und interferierenden neuronalen Verarbeitungsprozessen ausgegangen werden (vgl. Driver et al., 1999; Frischen et al., 2007). Deshalb wurden nur experimentelle Trials in die Auswertung einbezogen, welche eine SOA von 100 ms beinhalteten. Die Variation der SOA im verwendeten Design diente somit als Kontrollvariable, welche Habituationseffekten entgegenwirkte. Alle nachfolgend betrachteten Subdesigns beziehen sich daher auf die Kombination von Abstufungen der unabhängigen Variablen unter einer SOA von 100 ms. Im Folgenden werden die verschiedenen Anteile des Studiendesigns mit Bezug zu den vier Hypothesen der vorliegenden Untersuchung als experimentelle Subdesigns dargestellt.

## 5.2.2. Experimentelle Subdesigns

### 5.2.2.1 Verhalten der Gesamtstichprobe

Um den Einfluss sozialer bzw. nicht-sozialer Reizbedingungen auf die Aufmerksamkeitsorientierung der Testpersonen im eingesetzten Cueing-Paradigma auf behavioraler Ebene zu untersuchen (Hypothese 1), wurde das experimentelle Versuchsdesign als 3-faktorielles  $2 \times 2 \times 2$ -Subdesign mit den Messwiederholungsfaktoren „Hinweisreiz“ (sozial vs. nicht-sozial), „Zielreiz“ (sozial vs. nicht-sozial) und „Kongruenz“ (kongruent vs. inkongruent) betrachtet. Insgesamt ergaben sich dadurch acht verschiedene Kombinationen von unabhängigen Variablen (vgl. Tabelle 2), deren Einfluss auf die abhängige Variable Reaktionszeit ermittelt wurde.

Hinweisreiz-Typ	Zielreiz-Typ	Kongruenz-Bedingung
sozial	sozial	kongruent
nicht-sozial	sozial	kongruent
sozial	nicht-sozial	kongruent
nicht-sozial	nicht-sozial	kongruent
sozial	sozial	inkongruent
nicht-sozial	sozial	inkongruent
sozial	nicht-sozial	inkongruent
nicht-sozial	nicht-sozial	inkongruent

**Tabelle 2: Die acht Kombinationen der Messwiederholungsfaktoren des Subdesigns zur Überprüfung der Hypothese 1.**

### 5.2.2.2 Hämodynamische Aktivierung der Gesamtstichprobe

Um den Effekt sozialer bzw. nicht-sozialer Reizbedingungen auf die Ausprägung der hämodynamischen Aktivierung (BOLD) untersuchen zu können (Hypothese 2), wurde die Betrachtung des o.g. Versuchsdesigns auf ein zweifaktorielles  $2 \times 2$ -Subdesign mit den Messwiederholungsfaktoren „Hinweisreiz“ (sozial vs. nicht-sozial) und „Zielreiz“ (sozial vs. nicht-sozial) reduziert. Hierbei ergaben sich vier Kombinationsmöglichkeiten unabhängiger Variablen (vgl. Tabelle 3). Als abhängige Variablen wurden die BOLD-Signale der fMRT (vgl. Kapitel 5.6.2) festgelegt. Die Kongruenz-Bedingung wurde hierbei als gemittelter Faktor betrachtet. Deren Auswirkung auf die hämodynamische Aktivierung wurde nicht untersucht, da in der zuerst durchgeführten Analyse der Verhaltensdaten

keine Kongruenz-Effekte für soziale Hinweisreize registriert worden waren (vgl. Kapitel 6.1).

Hinweisreiz-Typ	Zielreiz-Typ
sozial	sozial
nicht-sozial	sozial
sozial	nicht-sozial
nicht-sozial	nicht-sozial

**Tabelle 3:** Die vier Kombinationen der Messwiederholungsfaktoren des Subdesigns zur Überprüfung der Hypothese 2.

### 5.2.2.3 Verhalten und hämodynamische Aktivierung hinsichtlich der fMRT-Schichtführung

Zur Untersuchung von Effekten der Schichtführung auf die hämodynamische Aktivierung (Hypothese 4), wurde die fMRT-Messung der einen Hälfte der Stichprobe unter „regulärer“, die der anderen unter „geneigter“ Schichtführung durchgeführt (zur Erläuterung der in diesem Zusammenhang verwendeten Begriffe „regulär“ und „geneigt“ vgl. Kapitel 5.6.3). Dazu wurden die Testpersonen im Vorhinein in gleicher Anzahl zwei Gruppen zugeteilt. Entsprechend wurde das im vorherigen Kapitel beschriebene 2×2-Subdesign mit den Messwiederholungsfaktoren „Hinweisreiz“ (sozial vs. nicht-sozial) und „Zielreiz“ (sozial vs. nicht-sozial) um den Gruppenfaktor „Schichtführung“ erweitert. Dadurch konnten die BOLD-Signale beider Gruppen als abhängige Variablen miteinander kontrastiert werden. Durch eine für die Teilnehmenden nicht erkenntliche Zuordnung zu den beiden Gruppen konnte davon ausgegangen werden, dass diese keine Auswirkungen auf die neurokognitive Verarbeitung der Reaktionszeitaufgabe haben würde.

Um einen adäquaten Vergleich der BOLD-Signale beider Gruppen zu ermöglichen, wurde zunächst die Aufmerksamkeitsleistung der Testpersonen, analog zum Vorgehen in Bezug auf die Gesamtgruppe, untersucht. Dazu wurde das in Kapitel 5.2.2.1 beschriebene 3-faktorielle 2×2×2-Subdesign mit den Messwiederholungsfaktoren „Hinweisreiz“ (sozial vs. nicht-sozial), „Zielreiz“ (sozial vs. nicht-sozial) und „Kongruenz“ (kongruent vs.

inkongruent) um den Gruppenfaktor „Schichtführung“ (regulär vs. geneigt) ergänzt, so dass die Reaktionszeiten beider Gruppen als abhängige Variablen miteinander verglichen werden konnten (Hypothese 3).

<b>Subdesign</b>	<b>Unabhängige Variablen</b>	<b>Abhängige Variablen</b>
Verhalten der Gesamtstichprobe (Hypothese 1)	Hinweisreiz Zielreiz Kongruenz	Reaktionszeiten
Hämodynamische Aktivierung der Gesamtstichprobe (Hypothese 2)	Hinweisreiz Zielreiz	BOLD-Signale
Verhalten in der jeweiligen Schichtführungsgruppe (Hypothese 3)	Hinweisreiz Zielreiz Kongruenz Schichtführungsgruppe	Reaktionszeiten
Hämodynamische Aktivierung in der jeweiligen Schichtführungs- gruppe (Hypothese 4)	Hinweisreiz Zielreiz Neigungswinkel der Schicht- führung	BOLD-Signale

**Tabelle 4:** Übersicht über die verwendeten Subdesigns zur Untersuchung der Hypothesen 1-4.

### 5.3 Verteilung der Gesamtstichprobe und Kontrolle von Störvariablen

Die Gesamtstichprobe wurde in gleichen Verhältnissen in Bezug auf die fMRT-Schichtführung (vgl. Kapitel 5.2.2.3) und den Beginn des experimentellen Teils der Untersuchung mit sozialen oder nicht-sozialen Zielreizen (vgl. Kapitel 5.5.2) verteilt. Letzteres erfolgte um die zeitliche Applikation der unabhängigen Variable „Zielreiz“ in Bezug auf den Verlauf des Experiments als mögliche Störvariable für die Aufmerksamkeitsleistung zu kontrollieren. Zu jeder sich daraus ergebenden Teilgruppe wurden jeweils sieben männliche und sechs weibliche Testpersonen zugeordnet. Dadurch wurde das biologische

Geschlecht als mögliche Störvariable kontrolliert. Insgesamt wurden die Versuchspersonen damit acht Gruppen (vgl. Tabelle 5) zugeteilt und dem allgemeinen Versuchsablauf (vgl. Kapitel 5.7) zugeführt. Dies erfolgte nach der telefonischen Rekrutierung und bevor die Teilnehmenden persönlich zum Experiment erschienen, um möglichen Versuchsleitereffekten entgegenzuwirken. Die Kontrolle der individuellen Störvariablen Alter und Gesundheitszustand erfolgte über eine kriterienassoziierte Vorauswahl der Teilnehmenden (vgl. Kapitel 5.1).

<b>fMRT-Schichtführung</b>	<b>Untersuchungsbeginn mit Zielreiz-Typ</b>	<b>Geschlecht (m/w)</b>
regulär	sozial	m
regulär	sozial	w
regulär	nicht-sozial	m
regulär	nicht-sozial	w
geneigt	sozial	m
geneigt	sozial	w
geneigt	nicht-sozial	m
geneigt	nicht-sozial	w

**Tabelle 5:** Die Merkmalskombinationen der acht Teilgruppen innerhalb der Gesamtstichprobe.

#### 5.4 Stimulusmaterial

Sowohl die Hinweis- als auch die Zielreize wurden jeweils in einer sozialen und einer nicht-sozialen Variante präsentiert (vgl. Abbildung 9 und 10). Als sozialer Hinweisreiz diente die Portraitfotografie eines menschlichen Gesichts mit 30° nach rechts oder links abgewandtem Blick. Der 30°-Winkel wurde gewählt, weil dieser als natürlich und deutlich von der Mitte abweichend wahrgenommen werden konnte. Als nicht-sozialer Hinweisreiz wurde die Abbildung eines, den sozialen Hinweisreizen in Größe und Bildschirmposition entsprechendes, geometrisches Linienmuster eingesetzt. Dieses bestand aus vier horizontal angeordneten parallelen Linien, dessen zweite Linie von oben mit zwei jeweils nach links oder rechts gerichteten Pfeilspitzen als Richtungsinformation versehen war.



**Abbildung 9: Hinweisreize.** Diese wurden entweder mit rechtsseitiger oder spiegelbildlich mit linksseitiger Richtungsinformation appliziert.

Als sozialer Zielreiz wurde eine Portraitfotografie mit einem geradeaus gerichteten Blick verwendet. Der nicht-soziale Zielreiz bestand aus einem, dem nicht-sozialen Hinweisreiz ähnlichen, geometrischen Linienmuster mit ebenfalls vier waagrecht angeordneten parallelen Linien, jedoch ohne Richtungsinformation. Stattdessen kreuzten zwei kurze vertikale Linien die zweite Linie von oben. In Größe und Bildschirmposition entsprachen sich die Zielreizvarianten einander.



**Abbildung 10: Zielreize.**

In den sozialen Reizbedingungen wurde als Hinweisreiz eine jeweils dem biologischen Geschlecht der Teilnehmenden entsprechende Portraitfotografie verwendet. Für den Zielreiz wurde eine gegengeschlechtliche Portraitfotografie eingesetzt. Die Fotografien stammten aus einer unveröffentlichten Diplomarbeit der Arbeitsgruppe CNS@ZPG von Faubel (2010). Die Hinweisreize wurden unter einem Blickwinkel von  $2,8^\circ$  horizontal und  $4,8^\circ$  vertikal dargeboten. Der Abstand zwischen den Augen bzw. den Pfeilen machte einen Blickwinkel von  $0,5^\circ$  aus. Die Zielreize wurden unter einem Blickwinkel von  $0,3^\circ$  präsentiert. Die Distanz zwischen Hinweis- und Zielreiz umfasste einem Blickwinkel von

1,0°. Alle verwendeten Fotografien wurden in schwarz-weiß, die geometrischen Muster in schwarz, jeweils auf weißem Hintergrund, dargestellt.

## 5.5 Versuchsanordnung

### 5.5.1 Aufbau eines experimentellen Trials

Ein experimenteller Einzelversuch (sog. „Trial“) bestand aus einer in der Grundstruktur gleichbleibenden Abfolge von Reizbedingungen, deren Variablen in einem gleichen Häufigkeitsverhältnis zueinander verändert wurden (vgl. Abbildung 7 im Kapitel 4.1.2). Das jeweilige Trial begann mit dem Einblenden eines schwarzen Kreuzes in Position des später auftauchenden Hinweisreizes (Blickwinkel  $0,6^\circ$ ) für eine Zeitdauer von 1000 ms, welches zur Fixation des Blickes und Fokussierung der Aufmerksamkeit diente. Die Testpersonen wurden vorher instruiert, bei Erscheinen des Kreuzes ihren Blick darauf zu richten und möglichst während der Gesamtdauer des fortlaufenden Trials diese Bildschirmposition weiterhin zu fixieren. Nach den initialen 1000 ms ersetzte die Präsentation des Hinweisreizes die Position des Blickfixationskreuzes. Entsprechend der für den betreffenden Einzelversuch festgelegten SOA von 100 ms oder 800 ms folgte nach dem SOA-Intervall die zusätzliche Applikation des Zielreizes rechts oder links neben dem Hinweisreiz. Auf diesen sollten die Teilnehmenden schnellstmöglich mithilfe eines Tastendrucks reagieren. Sowohl die Hinweis-, als auch die Zielreize, wurden in einer sozialen und einer nicht-sozialen Variante dargeboten (vgl. Kapitel 5.4). Die Bildschirmposition der Zielreize war so gewählt, dass diese mit der Richtungsinformation (Pupillen der Augenpartie bzw. Pfeile) der Hinweisreize direkt in Verbindung gebracht werden konnten. Entsprechend dem Auftrittort des Zielreizes jener Information, so war der Einzelversuch als kongruent definiert, im entgegengesetzten Fall als inkongruent. Die Versuchspersonen wurden im Vorhinein darüber aufgeklärt, dass die Hinweisreize nicht prädiktiv waren, d.h. den Auftrittort des Zielreizes statistisch nicht vorhersagbar machten. Hinweis- und Zielreiz persistierten für eine maximale Zeitdauer von 1500 ms auf dem Bildschirm. Durch einen zusätzlichen Tastendruck der Teilnehmenden konnte beides früher ausgeblendet werden. Eine Besonderheit unter den eingesetzten Einzelversuchen stellten die sog. „Catch-Trials“ dar, bei denen nach Ablauf der o.g. zeitlichen Anordnung von Blickfixationskreuz und Hinweisreiz die Präsentation des Zielreizes ausblieb. Durch den Wegfall der Zielreize und daraus resultierend der SOA- und Kongruenzbedingung wurde bei den Catch-Trials lediglich der Hinweisreiz in sozialer oder nicht-sozialer Ausprägung modifiziert. In

Catch-Trials wurde von den Testpersonen keine Reaktion gefordert. Darüber wurden diese im Vorhinein informiert. Diese Art von Einzelversuch wurde eingesetzt, um die Erwartbarkeit der Reaktionsanforderung zu vermindern und die Konzentration der Versuchspersonen durch die Vermeidung von Routinen zu erhöhen. Ein Tastendruck in einem Catch-Trial wurde, ebenso wie Reaktionen außerhalb des festgelegten zeitlichen Rahmens in einem experimentellen Trial ( $<100$  ms oder  $>1500$  ms nach Zielreizpräsentation), als Fehler gewertet und nicht in die Auswertung miteinbezogen.

### **5.5.2 Abschnitte und Blöcke der Versuchsanordnung**

Insgesamt bestand ein Untersuchungsablauf aus 400 Trials, die auf vier Abschnitte mit gleicher Zeitdauer verteilt waren. Zwischen den Abschnitten erfolgte eine Erholungspause von 30 s, die jeweils mit einer erneuten Erläuterung der Aufgabenstellung auf dem Bildschirm über weitere 15 s endete. Diese konnten die Versuchspersonen per Tastendruck überspringen. Kurz vor Beginn jedes neuen Abschnitts flackerte der Hintergrund kurz auf, um die Aufmerksamkeit der Teilnehmenden auf den Bildschirm zu fokussieren. Ein einzelner Abschnitt bestand aus 100 Einzelversuchen, die in 5 Blöcke mit jeweils 20 Trials eingeteilt waren. In einem Block entfielen 16 Einzelversuche auf die Kombination der verschiedenen experimentellen Bedingungen (einschließlich der Trials mit einer SOA von 800 ms) mit jeweils rechts oder links präsentiertem Zielreiz, die restlichen vier stellten Catch-Trials dar. Der Übergang der Blöcke ineinander war für die Versuchspersonen nicht wahrnehmbar. Die Testpersonen wurden im Vorhinein in gleicher Anzahl zwei verschiedenen Gruppen zugeordnet. Der einen wurde in den ersten beiden Versuchsabschnitten zuerst soziale und in den letzten beiden nicht-soziale Zielreize präsentiert, in der anderen erfolgte dies genau umgekehrt. Unabhängig von der Länge der SOA und der Reaktionsgeschwindigkeit wurde die Gesamtdauer jedes einzelnen Trials so angepasst, dass diese immer 3300 ms betrug. Dadurch wurde gewährleistet, dass für die fMRT-Aufnahmen ein standardisiertes Zeitfenster zur Verfügung stand. Für die Teilnehmenden war dies lediglich als eine Verlängerung des Inter-Trial-Intervalls (Pause zwischen den Einzelversuchen von 0 und 3000 ms) bemerkbar.

## 5.6 Messdatenerfassung

### 5.6.1 Verhalten

Für die Versuchsanordnung wurde ein von H. Gruppe (ehemaliger Mitarbeiter der Arbeitsgruppe CNS@ZPG) mit der Software Presentation® (Neurobehavioral Systems Inc.) erstelltes Programm verwendet. Informationen über Dauer und Art der präsentierten Stimuli sowie die Reaktionszeiten der Versuchspersonen wurden in einem Logfile-Dateiformat gespeichert. Als Reaktionsnehmer wurde eine Tastatur verwendet, die über ein Lichtleiterkabel mit einer Antwortbox im Kontrollraum neben dem Tomografenraum verbunden war. Die Antwortbox war an den Computer angeschlossen, der das Versuchsprogramm erzeugte. Dieser war über ein VGA-Interface mit dem für die Versuchspersonen sichtbaren Bildschirm im Tomografenraum verbunden.

### 5.6.2 Hämodynamische Aktivierung

Die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) kombiniert die Möglichkeit zur Erstellung anatomischer Schnittbildaufnahmen mit der indirekten Erfassung des Hirnstoffwechsels. Letzteres wird durch die Nutzung des sog. BOLD-Effekts erreicht. BOLD („Blood-Oxygen-Level-Dependency“) bezeichnet die Abhängigkeit der Größe des MR-Signals vom Oxygenierungsgrad des Bluts. Im Blut befindliche Hämoglobinmoleküle weisen in Abhängigkeit von der Anzahl gebundener Sauerstoffatome unterschiedliche magnetische Eigenschaften auf: Je mehr Sauerstoff am Hämoglobin gebunden ist, desto größer fällt die Querrelaxationszeit  $T2^*$  aus und dementsprechend stärker ist das MR-Signal. Eine verstärkte neuronale Aktivierung erfordert einen erhöhten Energie- und damit auch Sauerstoffverbrauch durch aerobe Stoffwechselprozesse in den Nervenzellen. Der Sauerstoffverbrauch wird reflektorisch durch eine lokale Erhöhung des zerebralen Blutflusses überkompensiert, sodass über die Zeit ein größeres Volumen an oxygeniertem Blut die aktivierten Hirnareale, im Vergleich zu weniger aktiven Regionen mit basalem Stoffwechsel, passiert. Die Tatsache, dass oxygeniertes Blut ein stärkeres MR-Signal bewirkt (BOLD-Effekt), kann somit als indirekter Nachweis für eine erhöhte lokale neuronale Aktivität genutzt werden. Um das Ausmaß der Hirnaktivierung in unterschiedlichen Hirnregionen unter den verschiedenen experimentellen Bedingungen eruieren zu können, wurde die kognitiven Subtraktionsmethode angewendet. Dabei werden mehrere Ver-

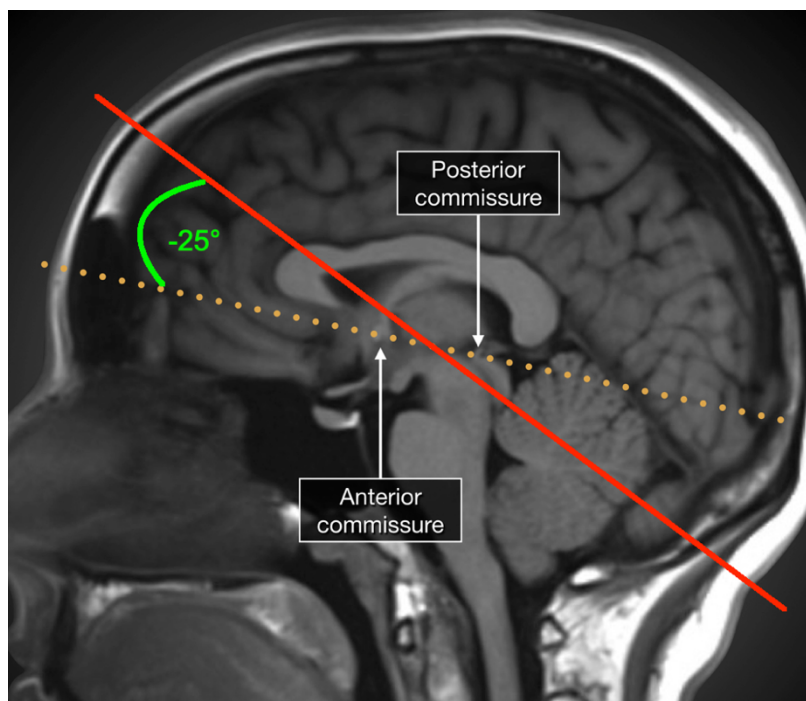
suchsbedingungen, die sich möglichst nur in einem kognitiven Verarbeitungsprozess unterscheiden, statistisch miteinander verglichen (sog. Kontrastbildung, vgl. Kapitel 5.8.2). Dadurch kann ein isoliertes Aktivitätsmuster, welches mit der Veränderung der Abstufung der unabhängigen Variablen in Zusammenhang gebracht werden kann, erkennbar werden (für eine genauere Beschreibung der fMRT-Methodik vgl. Kellermann & Habel, 2013 und Stöcker & Shah, 2007).

Auf dieser Grundlage wurde in der vorliegenden Untersuchung ein „Event-Related-Design“ eingesetzt. Dieses zeichnet sich durch eine Abfolge von Reizbedingungen mit kurzer Dauer aus, deren Auftrittszeitpunkt statistisch voneinander unabhängig ist. In der vorliegenden Untersuchung waren dies die verschiedenen experimentellen Trials (vgl. Kapitel 5.5.1). Dadurch wurde eine Vorhersagbarkeit in den einzelnen Trial-Bedingungen ausgeschlossen und eine distinkte Betrachtung der damit verbundenen BOLD-Antworten ermöglicht. Um dies zu erreichen, wurde die Abfolge der Versuchsbedingungen in einer Vorstudie der Arbeitsgruppe CNS@ZPG pseudorandomisiert, hinsichtlich Korrelationen überprüft und gegebenenfalls in ihrer Reihenfolge so lange verschoben, bis sie unkorreliert waren. Im Rahmen des Event-Related-Designs wurde außerdem ein sog. „Jittern“ durchgeführt, welches die zufällige Variation des zeitlichen Abstands zwischen den einzelnen Trials bezeichnet. Dadurch wurde eine möglichst hohe Abtastrate der lokalen BOLD-Antworten gewährleistet, um die Einzelaktivierungen genauer erfassen zu können. Während der Gesamtzeit des Messvorgangs lagen die Testpersonen in einem Siemens „Verio-3-Tesla“-MRT. Das Versuchsprogramm (vgl. vorheriges Kapitel) war mit den Pulsen der MRT-Anlage so synchronisiert, dass es beim zweiten übermittelten Puls startete. Die Synchronisierung wurde vor jedem Abschnitt der Untersuchung wiederholt und gewährleistete eine Zuordnung der gemessenen BOLD-Signale zu den Ereignissen auf der Verhaltensebene. Für die funktionelle Messung wurden T2\*-gewichtete „Echo-Planar-Imaging“-Sequenzen (EPI) verwendet. Diese ermöglichten eine hohe zeitliche Auflösung. Die jeweiligen EPI-Sequenzen stellten das Korrelat der Hirnaktivität der Versuchspersonenreaktionen auf die vier möglichen Kombinationen der unabhängigen Variablen „Hinweisreiz“ und „Zielreiz“ (vgl. Kapitel 5.2.2.2) als davon abhängige Variablen dar. Dabei wurden absteigend 30 Schichten registriert, welche in ihrer Gesamtheit als „Volumen“ bezeichnet werden. Die Akquirierung der Schichten erfolgte mit einem Flip-Winkel von 90° bei einer „Repetition-Time“ (TR) von 2,8s und „Echo-Time“ (TE) von 30 ms. Die Schichtdicke betrug 4mm, der Abstand zur nächsten Schicht jeweils 1mm.

Eine Schicht besaß eine Auflösung von  $64 \times 64$  Voxel, die Größe des „Field-of-View“ lag bei 192mm, ein einzelnes Voxel hatte die Größe von  $3 \times 3 \times 3$  mm<sup>3</sup>.

### 5.6.3 fMRT-Schichtführung

Für die funktionellen EPI-Aufnahmen wurde im Vorhinein die Einstellung der Schichtführung anhand der axialen „Localizer“-Aufnahme (vgl. Kapitel 5.7) festgelegt. Die Schichtführung wurde in den bisherigen Studien der Arbeitsgruppe CNS@ZPG senkrecht zu einer imaginären Linie zwischen der anterioren und posterioren Kommissur ausgerichtet und dann noch einmal um  $-25^\circ$  geneigt (d.h. der vordere Anteil der Linie wurde nach dorsal, der hintere nach caudal gekippt). Um den Einfluss der Schichtführung auf die gemessene BOLD-Signalausprägung zur Überprüfung der Hypothese 4 zu untersuchen, wurden in der vorliegenden Untersuchung zwei gleich große Gruppen gebildet: Die BOLD-Signale der einen Gruppe wurden unter der bisher verwendeten Orientierung (Neigungswinkel  $-25^\circ$ , als „geneigt“ bezeichnet), die der anderen ohne Neigung (parallel zur Verbindungslinie der Kommissuren, als „regulär“ bezeichnet), rezipiert (vgl. Abbildung 11).



**Abbildung 11:** Darstellung der beiden Schichtführungswinkel (gelbe gepunktete Linie: Reguläre Schichtführung; rote durchgehende Linie: Geneigte Schichtführung; modifizierte Grafik aus Gaillard, 2017; Copyright: CC BY-NC-SA 3.0 - Lizenz).

## 5.7 Allgemeiner Versuchsablauf und Rahmenbedingungen

Die vorliegende Untersuchung wurde mit dem MRT der Kinderkardiologie des Universitätsklinikums Gießen durchgeführt. Nach ausführlicher telefonischer und persönlicher Aufklärung über die Ausschluss- und Rahmenbedingungen, bestätigten die Versuchspersonen vor Beginn des Experiments schriftlich ihr Einverständnis über die Teilnahme und dass keine der Ausschlusskriterien bei ihnen zutreffen. Ein Abbruch oder eine Unterbrechung der Untersuchung konnte jederzeit von den Teilnehmenden eingefordert werden. Es fand eine Aufklärung darüber statt, dass beides keine negativen persönlichen Konsequenzen nach sich ziehen konnte und die Aufwandsentschädigung unabhängig davon stattfinden würde. Dadurch wurden diesbezügliche Interessenskonflikte bei den Testpersonen vermieden. Vor Platzierung der Versuchspersonen im fMRT-Gerät erfolgte eine standardisierte Instruktion über Versuchsablauf und Aufgabenstellung. An einem Computer im Kontrollraum übten die Teilnehmenden im Vorhinein mit der später verwendeten Tastatur und unter jeder Versuchsbedingung einen beispielhaften Ablauf ein. Alle Testpersonen wurden ermutigt aufkommende Fragen in Bezug auf das Verständnis des allgemeinen Versuchsablauf zu stellen. Diese wurden vor Beginn der eigentlichen Untersuchung gemeinsam mit dem Versuchsleiter geklärt. Außerdem wurde ein Sehtest durchgeführt, um etwaige Sichtprobleme während des experimentellen Teils im Vorhinein auszuschließen. Bei Bedarf wurde eine für MRT-Messungen geeignete Brille mit individueller Dioptrienzahl eingesetzt. Vor Betreten des Tomografenraums sollten die Versuchspersonen jegliche metallischen Gegenstände ablegen.

Nachdem sie ihre Position auf der MRT-Liege eingenommen hatten, bekamen sie schalldämpfende Kopfhörer aufgesetzt, die mit einer Gegensprechanlage im Kontrollraum verbunden waren. In der MRT-Anlage war ein Mikrofon appliziert, sodass eine wechselseitige Kommunikation zwischen Versuchsperson und -leiter während der Messung möglich war. Außerdem wurde ein flexibler Notknopf für die Testpersonen gut erreichbar positioniert. Zum Ausführen der Reaktion auf den Zielreiz wurde eine Tastatur mit drei Knöpfen verwendet, wobei nur der Untere als Reaktionsnehmer verwendet wurde. Dieser sollte mit dem Zeigefinger der dominanten Hand der jeweiligen Testperson bedient werden. Die Tastatur wurde dazu auf den Bauch der Teilnehmenden gelegt und war über ein Lichtleiterkabel mit dem Computer verbunden, welcher das Versuchsprogramm erzeugte. Den Kopf der Testpersonen umgebend wurde eine MRT-Spule befestigt. Daraufhin wurde die Kopfposition mithilfe eines Lasers vermessen. Die Testpersonen wurden angewiesen, ab

diesem Zeitpunkt ihren Kopf-, Hals- und Schulterbereich möglichst bewegungsfrei zu halten. Die Präsentation des Versuchsablaufs erfolgte auf einem 24 Zoll großen Bildschirm, welcher im Abstand von ca. 236 cm zu der Augenpartie der Versuchspersonen kopfseitig hinter dem MRT befestigt war. Die Teilnehmenden konnten das Abbild des Bildschirms über einen an der Kopfspule des MRT befestigten Spiegel frontal ansehen. Dieser wurde, nach finaler Positionierung der Versuchspersonen im MRT-Tunnel, so eingestellt, dass der Bildschirm vollumfänglich in deren Blickfeld sichtbar war. Vor Beginn der ersten Messung wurde über die Gegensprechanlage Kontakt vom Versuchsleiter zu den Testpersonen aufgenommen, deren Befindlichkeit erfragt und der nächste Schritt der Untersuchung angekündigt. Dies wurde vor jedem Messabschnitt wiederholt.

Die Gesamtzeit der Messung im MRT betrug ca. 45min. Diese umfasste zeitlich aufeinander folgend eine Localizer-Bestimmung, die Erstellung einer sog. Field-Map, die EPI-Messung sowie eine hochauflösende T1-gewichtete anatomische Aufnahme. Zur Localizer-Bestimmung wurde eine Kopfaufnahme in drei Ebenen (axial, sagittal und koronar) erstellt (Dauer: ca. 13 s). In der axialen Aufnahme wurde die Schichtführung durch den Versuchsleiter an der anterioren und posterioren Kommissur des jeweiligen Gehirns ausgerichtet und je nach Gruppeneinteilung (vgl. Kapitel 5.6.3) so beibehalten oder um  $-25^\circ$  geneigt. Dieselbe Ausrichtung wurde für den folgenden Messabschnitt weiterverwendet. Die Erstellung der Field-Map (Dauer ca. 2min) und der anatomischen Aufnahme (Dauer ca. 5min) erfolgte zur Korrektur von Magnetfeldschwankungen in der Vorverarbeitung der Rohdaten (vgl. Kapitel 5.8.2). Während der ca. 36-minütigen EPI-Messung wurde das Experiment durchgeführt. Nach der Testzeit im MRT wurden den Versuchspersonen noch mehrere psychometrische Fragebögen zur Bearbeitung vorgelegt, was noch ca. eine Stunde in Anspruch nahm. Schließlich erhielten die Teilnehmenden nach ca. zweistündiger Mitwirkung eine Aufwandsentschädigung über 20€ oder zwei Versuchspersonenstunden. Die Entschädigung wurde unabhängig vom Gelingen des Experiments an alle Testpersonen ausgegeben.

## **5.8 Datenauswertung**

### **5.8.1 Verhaltensdaten**

Um die in den Logfiles gespeicherten Daten aus dem Versuchsprogramm (vgl. Kapitel 5.6.1) der statistischen Auswertung mit SPSS® (IBM) zugänglich zu machen, wurden diese mithilfe eines mit der Skriptsprache „Visual Basic for Applications“ in Microsoft

Access® erstellten Programms ausgelesen und in eine Textdatei überführt. Als Verhaltensdaten gingen die errechneten Mediane der Reaktionszeiten acht experimenteller Trials mit der SOA-Bedingung von 100 ms in die Auswertung ein. Diese entsprachen den acht möglichen Kombinationen der Messwiederholungsfaktoren des Subdesigns für die Verhaltensebene (vgl. Kapitel 5.2.2.1). Der Median wurde als Lageparameter verwendet, da dieser im Vergleich zum arithmetischen Mittel resistenter gegenüber Ausreißern ist. Die individuellen Mediane wurden dann über alle Teilnehmenden hinweg arithmetisch gemittelt, sodass ein einzelner Reaktionszeitwert für jede Variablenkombination der weiteren Analyse zugeführt werden konnte. Mit SPSS® (Version 23) wurden dann nach dem allgemeinen linearen Modell verschiedene Varianzanalysen der erhobenen Daten durchgeführt. Die notwendigen Voraussetzungen von Normalverteilung und Varianzhomogenität der Verhaltensdaten wurden erfüllt. Für die Betrachtung der Ergebnisse wurde ein Signifikanzniveau von  $p < 0.05$  festgelegt. Als Effektstärkemaß wurde das partielle Eta-Quadrat ( $\eta^2$ ) verwendet.

Zur Überprüfung der ersten Hypothese wurde eine 3-faktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren „Kongruenz“, „Hinweisreiz-Typ“ und „Zielreiz-Typ“ innerhalb von allen Variablenkombinationen mit einer SOA von 100 ms durchgeführt. Um die Effekte weiter aufzuschlüsseln, wurden zusätzlich 2-faktorielle Varianzanalysen mit den Faktoren „Kongruenz“ und „Hinweisreiz-Typ“ für alle Variablenkombinationen mit sozialem und nicht-sozialem Zielreiz, jeweils bei einer SOA von 100 ms, gerechnet. Für den Vergleich der Schichtführungsgruppen auf der Verhaltensebene (Hypothese 3) wurde zunächst eine 4-faktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren „Kongruenz“, „Hinweisreiz-Typ“, „Zielreiz-Typ“ und „Schichtführung“ innerhalb aller Trials mit 100 ms-SOA vollzogen. Zur Spezifikation wurde zudem jeweils eine 3-faktorielle Varianzanalyse innerhalb der jeweiligen Schichtführungsgruppe bei einer SOA von 100 ms mit den Faktoren „Kongruenz“, „Hinweisreiz-Typ“ und „Zielreiz-Typ“ durchgeführt. Um die Ergebnisse der verschiedenen Varianzanalysen weiter zu präzisieren, wurden mithilfe von posthoc durchgeführten T-Tests sog. „Simple-Effects“ berechnet.

### 5.8.2 fMRT-Daten

Für die Auswertung der fMRT-Daten wurde das Programm SPM8® (Statistical Parametric Mapping, Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London, 2009) verwendet. Es erfolgten Ganzkopfanalysen, in denen zunächst in einer First-Level-Analyse

nach dem allgemeinen linearen Modell für jede einzelne Versuchsperson ein Datenmodell errechnet wurde. Daraufhin wurden die intraindividuellen Daten einer Second-Level-Analyse zugeführt, die einen Vergleich über alle Teilnehmenden hinweg ermöglichte. Die Grundlage für die First-Level-Analyse bildeten die einzelnen Volumina der EPI-Sequenzen (vgl. Kapitel 5.6.2). Da davon ausgegangen werden konnte, dass die ersten beiden Volumina einer solchen fMRT-Messung kein ausreichend gesättigtes Signal aufweisen würden, wurden diese nicht in die Auswertung miteinbezogen.

Um verlässliche Daten für die Analysen zu generieren, wurde eine Vorverarbeitung der Rohdaten durchgeführt. Dazu wurde eine Bewegungskorrektur zur Verminderung von Artefakten durch Bewegungen der Testpersonen vorgenommen. Außerdem fand eine Balancierung von Inhomogenitäten des Magnetfeldes durch Erstellen von sog. „Fieldmaps“ statt. Da die Schichten zeitlich versetzt zueinander akquiriert wurden, diese jedoch für die Auswertung als gleichzeitige Daten behandelt werden mussten, erfolgte eine zeitliche Korrektur („Slice-Time-Correction“). Um einen interindividuellen Vergleich zwischen den Daten der einzelnen Gehirne zu ermöglichen, wurden diese durch einen Normalisierungsprozess in einen Standardraum, das Montreal-Neurological-Institute-Standardgehirn („MNI-Brain“), transferiert. Zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses wurde in der Vorverarbeitung zudem eine räumliche Glättung der Daten mit einem 9mm FWHM-Gauss-Filter durchgeführt (für eine detaillierte Beschreibung der in der Vorverarbeitung angewendeten Maßnahmen vgl. Wohlschläger & Kellermann, 2013).

In das in der First-Level-Analyse berechnete Modell gingen insgesamt 14 Regressoren ein (vgl. Tabelle 6). Davon stellten vier Regressoren die verschiedenen Kombinationen der beiden unabhängigen Variablen „Hinweisreiz“ und „Zielreiz“ des Subdesigns zur Ermittlung der hämodynamischen Aktivierung (vgl. Kapitel 5.2.2.2) dar, zwei Regressoren repräsentierten Catch-Trials, sowie ein Regressor jeweils die Pausensituation und die Konstante. Die sechs Bewegungsparameter aus der Bewegungskorrektur wurden dem Modell als Kovariaten hinzugefügt. Für die Regressoren wurde der Zeitbeginn („Onset“) für die Untersuchung auf den Zeitpunkt des Erscheinens des Hinweisreizes festgelegt. Als Zeitdauer („Duration“) wurde die SOA von 100 ms definiert. Die vier experimentellen Regressoren wurden mit der „Hemodynamic-Response-Function“ gefaltet, um das Modell an die Veränderungen des zerebralen Blutflusses anzupassen. Die sich hieraus ergebenden Daten der Einzelpersonen wurden daraufhin in der Second-Level-Analyse zusammengeführt. In diesen Berechnungen wurden für den voxel-weisen Vergleich der

Hirnaktivierung durch die sozialen- und nicht-sozialen Hinweis- bzw. Zielreize zur Überprüfung der zweiten Hypothese, bei ansonsten gleicher Abstufung der Messwiederholungsfaktoren und gemittelter Kongruenz-Bedingung, sog. Kontrastkarten gebildet. Insgesamt interessierten acht Kontraste für den Vergleich der sozialen mit den nicht-sozialen Reizbedingungen:

- Kontrast „*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*“ bei *sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*“ bei *sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*“ bei *nicht-sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*“ bei *nicht-sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „*soziale Zielreize > nicht-soziale Zielreize*“ bei *sozialen Hinweisreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „*nicht-soziale Zielreize > soziale Zielreize*“ bei *sozialen Hinweisreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „*soziale Zielreize > nicht-soziale Zielreize*“ bei *nicht-sozialen Hinweisreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „*nicht-soziale Zielreize > soziale Zielreize*“ bei *nicht-sozialen Hinweisreizen* und *SOA 100 ms*.

Im jeweiligen Kontrast wurden statistische Parameter (p- und T-Werte) für lokale Aktivierungsmaxima (sog. „Peaks“) berechnet, welche mit den zugehörigen MNI-Koordinaten und dem anatomischen Namen der Gehirnregion angegeben wurden. Um für multiples Testen zu korrigieren, wurde ein FWE-korrigiertes Alpha-Level von  $p < 0,05$  gewählt. Die zweidimensionale grafische Darstellung der miteinander kontrastierten Hinweisreiz-Typen unter den verschiedenen Reizbedingungen erfolgte mit dem Programm MRIcroGL® der Website [www.nitrc.org](http://www.nitrc.org) (vgl. die Abbildungen 13-16).

Zur Überprüfung der vierten Hypothese wurde nach dem allgemeinen linearen Modell ein statistischer Vergleich zwischen den fMRT-Daten der beiden Schichtführungsgruppen angestellt. In einer davon unabhängigen Berechnung wurden daneben, analog zum Procedere zur Untersuchung der zweiten Hypothese (s.o.), die fMRT-Daten der jeweiligen Schichtführungsgruppe unabhängig voneinander ausgewertet. Für beide Statistiken

wurde ein FWE-korrigiertes Alpha-Level von  $p < 0,05$  bestimmt, um für multiples Testen zu korrigieren.

<b>Regressor</b>	<b>SOA</b>	<b>Hinweisreiz-Typ</b>	<b>Zielreiz-Typ</b>
1. experimenteller Regressor	100 ms	sozial	sozial
2. experimenteller Regressor	100 ms	nicht-sozial	sozial
3. experimenteller Regressor	100 ms	sozial	nicht-sozial
4. experimenteller Regressor	100 ms	nicht-sozial	nicht-sozial
5. Catch-Trial		sozial	
6. Catch-Trial		nicht-sozial	
7. Pause			
8.-13. Bewegungsparameter			
14. Konstante			

**Tabelle 6: Die 14 in das Modell für die fMRT-Analyse eingehenden Regressoren.**

## 6. Ergebnisse

### 6.1 Verhaltensdaten der Gesamtstichprobe (Hypothese 1)

In der Varianzanalyse über alle Bedingungen mit einer SOA von 100 ms zeigte sich eine signifikante Interaktion von Kongruenz x Hinweisreiz-Typ ( $F(1,51) = 5.3$ ,  $p < 0.03$ ;  $\eta^2 = 0.09$ ; vgl. Tabelle 7). Das Zustandekommen dieser Interaktion konnte durch die Betrachtung der Varianzanalysen innerhalb der beiden Zielreizbedingungen mit SOA von 100 ms präzisiert werden.

In Bezug auf den Faktor Kongruenz wurde bei der zweifaktoriellen Varianzanalyse innerhalb der nicht-sozialen Zielreize eine signifikante Interaktion von Kongruenz x Hinweisreiz-Typ ( $F(1,51) = 6.6$ ,  $p < 0.02$ ;  $\eta^2 = 0.11$ ) ermittelt (vgl. Tabelle 8). Der signifikante Simple-Effect ( $p < 0.003$ , vgl. Abbildung 12 a) zeigte an, dass ein Kongruenz-Effekt bei der Kombination von nicht-sozialen Hinweisreizen mit nicht-sozialen Zielreizen auftreten war. Dessen Auftreten hing mit der Applikation der nicht-sozialen Hinweisreize zusammen (signifikanter Simple-Effect zwischen nicht-sozialen und sozialen Hinweisreizen bei kongruenter Bedingung  $p < 0.02$ ; vgl. Abbildung 12 a).

Bei der zweifaktoriellen Varianzanalyse innerhalb der sozialen Zielreize ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für die Kongruenz ( $F(1,51) = 9.4$ ,  $p < 0.004$ ;  $\eta^2 = 0.15$ ; vgl. Tabelle 8). Anhand des signifikanten Simple-Effects ( $p < 0.009$ ; vgl. Abbildung 12 b) konnte präzisiert werden, dass sich ein Kongruenz-Effekt bei der Kombination von nicht-sozialen Hinweisreizen mit sozialen Zielreizen ergeben hatte. Bei den Kombinationen von sozialen Hinweisreizen mit nicht-sozialen sowie sozialen Zielreizen konnten keine Kongruenz-Effekte beobachtet werden.

Neben den Ergebnissen in Bezug auf die Kongruenz-Bedingung ergab sich in der Varianzanalyse über alle Bedingungen mit SOA von 100 ms eine signifikante Interaktion von Hinweisreiz-Typ x Zielreiz-Typ ( $F(1,51) = 26.2$ ,  $p < 0.001$ ;  $\eta^2 = 0.33$ ; vgl. Tabelle 7). Ein Explizieren dieser Interaktion konnte durch die Betrachtung der Varianzanalyse innerhalb der sozialen Zielreizbedingung mit SOA von 100 ms erfolgen (vgl. Tabelle 8). In Bezug auf den Faktor Hinweisreiz-Typ wurde bei der zweifaktoriellen Varianzanalyse innerhalb der sozialen Zielreize ein signifikanter Haupteffekt ( $F(1,51) = 33.0$ ,  $p < 0.001$ ;  $\eta^2 = 0.39$ ) ermittelt (vgl. Tabelle 8). Die signifikanten Simple-Effects (jeweils  $< 0.001$ ,

vgl. Abbildung 12 b) zeigten an, dass ein Erleichterungseffekt in Bezug auf die Reaktionszeiten bei der Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen, sowohl bei kongruenter als auch bei inkongruenter Bedingung, aufgetreten war.

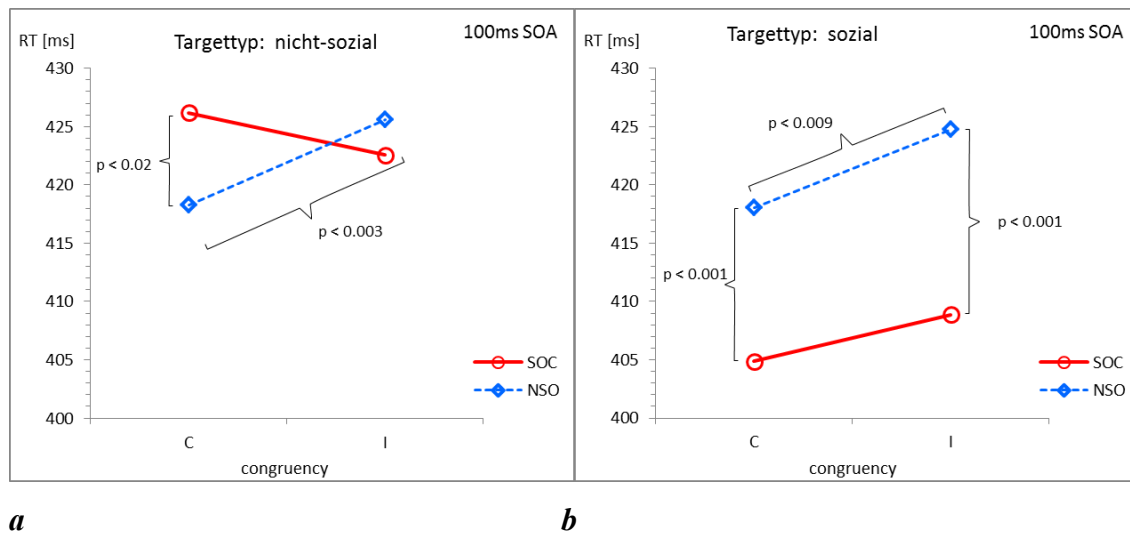
Zusammenfassend konnte ein Erleichterungseffekt in Bezug auf die Reaktionszeiten durch die Kongruenz-Bedingung nur bei nicht-sozialen Hinweisreizen bei einer SOA von 100 ms beobachtet werden. In Bedingungen mit sozialen Hinweisreizen wurden bei einer SOA von 100 ms keine Kongruenz-Effekte ermittelt. Bei der Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen bei einer SOA von 100 ms ergab sich, unabhängig von der Kongruenz-Bedingung, ein Erleichterungseffekt in Bezug auf die Reaktionszeiten.

		<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i> <	<i>pη</i> <sup>2</sup>
<b>Haupteffekte</b>	<i>Kongruenz</i>	1, 51	9.0	0.005	0.15
	<i>Hinweisreiz-Typ</i>	1, 51	10.4	0.003	0.17
	<i>Zielreiz-Typ</i>	1, 51	5.1	0.03	0.09
<b>2-fach Interaktionen</b>	<i>Kongruenz x Hinweisreiz-Typ</i>	1, 51	5.3	0.03	0.09
	<i>Hinweisreiz-Typ x Zielreiz-Typ</i>	1, 51	26.2	0.001	0.33

**Tabelle 7:** 3-faktorielle Varianzanalyse der Gesamtstichprobe in der SOA-Bedingung von 100 ms.

		<b>Innerhalb der nicht-sozialen Zielreize</b>			
		<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i> <	<i>pη</i> <sup>2</sup>
<b>Haupteffekte</b>	nicht signifikant				
<b>2-fach Interaktionen</b>	<i>Kongruenz x Hinweisreiz-Typ</i>	1, 51	6.6	0.02	0.11
		<b>Innerhalb der sozialen Zielreize</b>			
		<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i> <	<i>pη</i> <sup>2</sup>
<b>Haupteffekte</b>	<i>Kongruenz</i>	1, 51	9.4	0.004	0.15
	<i>Hinweisreiz-Typ</i>	1, 51	33.0	0.001	0.39
<b>2-fach Interaktionen</b>	nicht signifikant				

**Tabelle 8:** 2-faktorielle Varianzanalyse der Gesamtstichprobe in der SOA-Bedingung von 100 ms innerhalb der nicht-sozialen und der sozialen Zielreize.



**Abbildung 12:** Die Reaktionszeiten der Gesamtstichprobe in Abhängigkeit von der Kongruenz-Bedingung und des Hinweisreiz-Typs für nicht-soziale (a) und soziale Zielreize (b) bei einer SOA von 100 ms (RT = Reaktionszeit in ms; C = Kongruente Bedingung, I = Inkongruente Bedingung; SOC = Sozialer Hinweisreiz, NSO = Nicht-sozialer Hinweisreiz; signifikante Simple-Effects neben geschwungener Klammer als p-Wert).

## 6.2 fMRT-Daten der Gesamtstichprobe (Hypothese 2)

Im Folgenden werden die sich aus der fMRT-Datenauswertung ergebenden acht Kontraste (vgl. Kapitel 5.8.2) zur Exploration von Unterschieden in der hämodynamischen Aktivierung durch soziale und nicht-soziale Hinweis- sowie Zielreize dargestellt. In jedem Unterkapitel werden die signifikanten Aktivierungen des jeweiligen Kontrasts in Form einer Tabelle mit den zugehörigen statistischen Parametern aufgeführt. Zur Veranschaulichung wird daneben jeweils eine Abbildung mit einer zweidimensionalen Darstellung der lokalen Aktivierungsmaxima als Gehirnareale gezeigt.

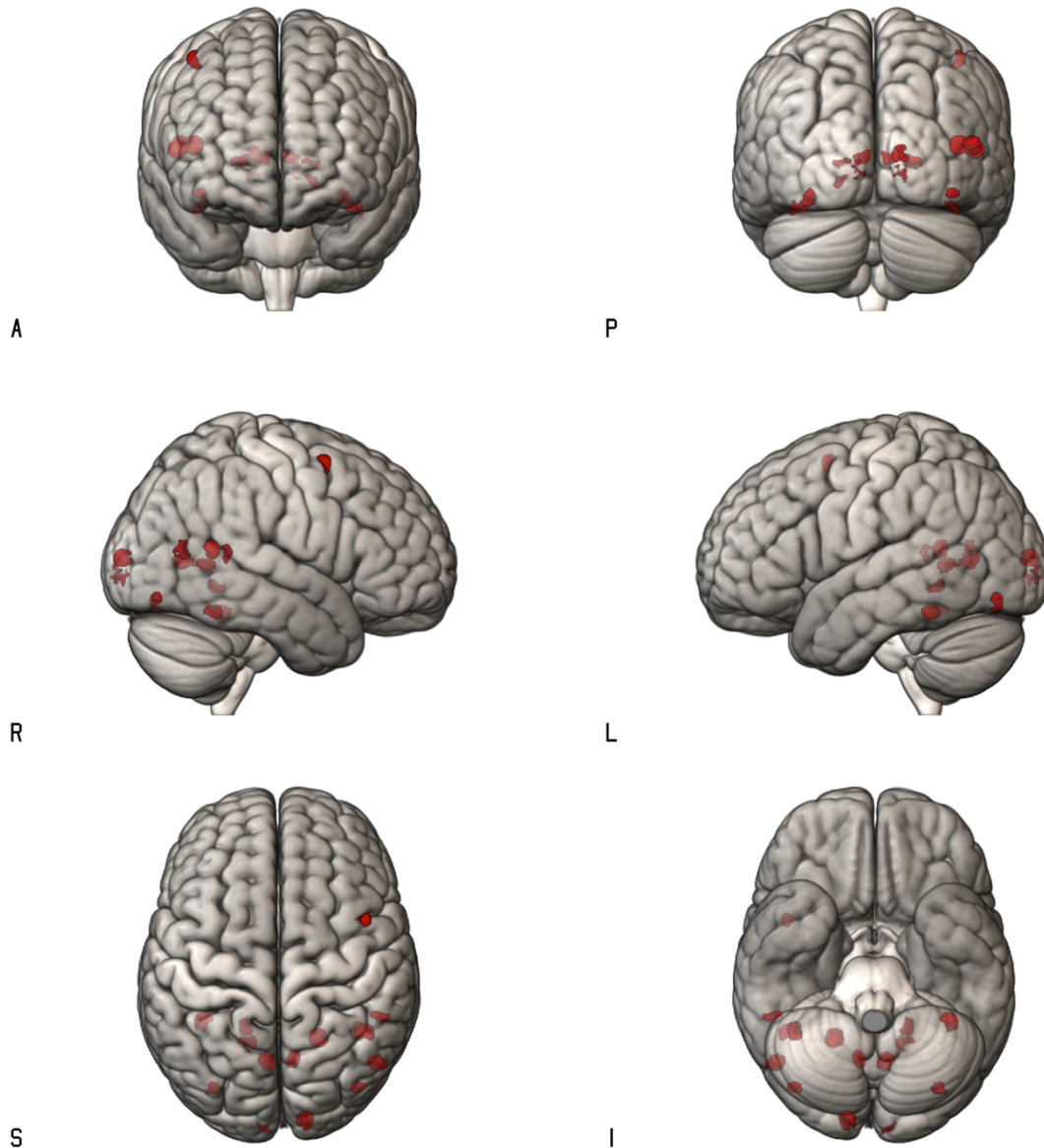
### 6.2.1 Kontrast „soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize“ bei sozialen Zielreizen und SOA 100 ms

Im Kontrast „soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize“ bei sozialen Zielreizen und der SOA-Bedingung von 100 ms ergaben sich die meisten Unterschiede in der Hirnaktivierung aller untersuchten acht Kontraste (vgl. Tabelle 9 und Abbildung 13). Im Okzipitallappen wurden rechtsseitig signifikante Aktivierungen im Cuneus, im Gyrus lingu-  
 alis, im Calcarinen Cortex und im Gyrus occipitalis inferior, sowie linksseitig im Gyrus

lingualis und im Calcarinen Cortex ermittelt. Im Bereich des Temporallappens ließen sich signifikante Aktivierungen im rechten Gyrus fusiformis sowie bilateral im Gyrus temporalis medius feststellen. Daneben wurde ein Areal im rechten Gyrus frontalis medius signifikant aktiviert.

Peak-Level		MNI-Koordinaten	Anatomische Region
$p$	$T$	$x\ y\ z$	
<0.000	12.18	-8 -100 0	Calcariner Cortex (L)
<0.000	11.56	14 -96 8	Cuneus (R)
<0.000	11.02	14 -96 -2	Calcariner Cortex (R)
<0.000	11.22	40 -50 -20	Gyrus fusiformis (R)
<0.000	7.10	40 -78 -10	Gyrus occipitalis inferior (R)
<0.000	7.32	-38 -46 -20	Gyrus fusiformis (L)
0.001	6.50	-34 -78 -14	Gyrus fusiformis (L)
<0.000	6.93	44 -52 12	Gyrus temporalis medius (R)
<0.000	6.77	52 -42 10	Gyrus temporalis medius (R)
0.004	6.04	50 -66 12	Gyrus temporalis medius (R)
0.003	6.13	-16 -48 -6	Gyrus lingualis (L)
0.027	5.40	-16 -56 4	Calcariner Cortex (L)
0.006	5.92	6 -64 6	Gyrus lingualis (R)
0.007	5.83	20 -54 4	Calcariner Cortex (R)
0.025	5.42	-6 -66 8	Gyrus lingualis (L)
0.038	5.28	42 6 56	Gyrus frontalis medius (R)

**Tabelle 9:** Gehirnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Hinweisreizen (*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*) bei *sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms* (Peak-Level:  $p < 0.05$ , FWE-korrigiert,  $T > 4.90$ ; R = rechte Hemisphäre, L = linke Hemisphäre; die Koordinaten zeigen die relationale Position der lokalen Aktivierungsmaxima mit zugehörigem anatomischen Namen im MNI-Atlas an).



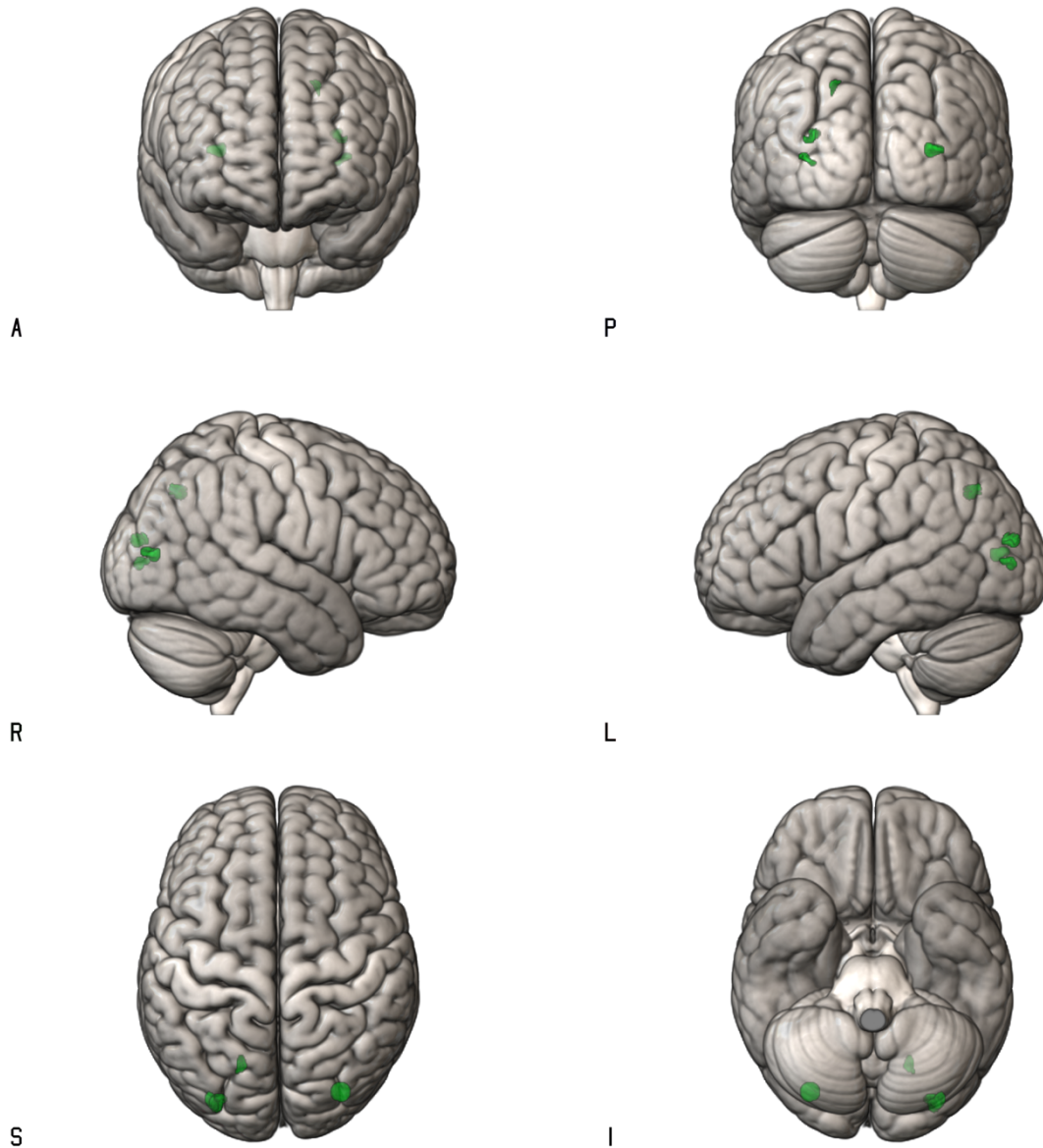
**Abbildung 13:** Zweidimensionale Darstellung der Gehirnareale (rot), welche eine stärkere hämodynamische Aktivierung bei sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Hinweisreizen aufwiesen (*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*) bei *sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms* (Projektion auf das MNI-Standardgehirn aus unterschiedlichen Perspektiven; A = Anterior, P = Posterior, R = Rechts, L = Links, S = Superior, I = Inferior; je gesättigter das Rot abgebildet ist, desto näher ist das jeweilige Areal zur Gehirnoberfläche hin lokalisiert; zur besseren Sichtbarkeit der einzelnen lokalen Aktivierungsmaxima wird eine Darstellung der Voxel von 5:1 im Verhältnis zur Normgröße gezeigt).

### 6.2.2 Kontrast nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize bei sozialen Zielreizen und SOA 100 ms

Im Kontrast „*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*“ bei *sozialen Zielreizen* und der SOA-Bedingung von *100 ms* (vgl. Tabelle 10 und Abbildung 14) ergaben sich linksseitig signifikante Aktivierungen im Lobulus parietalis superior und im Gyrus occipitalis medius. Außerdem trat eine signifikante Aktivierung Bereich des rechtsseitigen Gyrus occipitalis medius auf.

Peak-Level		MNI-Koordinaten	Anatomische Region
<i>p</i>	<i>T</i>	<i>x y z</i>	
<0.000	7.66	32 -82 10	Gyrus occipitalis medius (R)
0.014	5.62	-30 -88 16	Gyrus occipitalis medius (L)
0.019	5.51	-32 -86 6	Gyrus occipitalis medius (L)
0.018	5.53	-20 -68 42	Lobulus parietalis superior (L)

**Tabelle 10:** Gehirnnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei nicht-sozialen im Vergleich zu sozialen Hinweisreizen (*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*) bei *sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms* (Peak-Level:  $p < 0.05$ , FWE-korrigiert,  $T > 4.90$ ; R = rechte Hemisphäre, L = linke Hemisphäre; die Koordinaten zeigen die relationale Position der lokalen Aktivierungsmaxima mit zugehörigem anatomischen Namen im MNI-Atlas an).



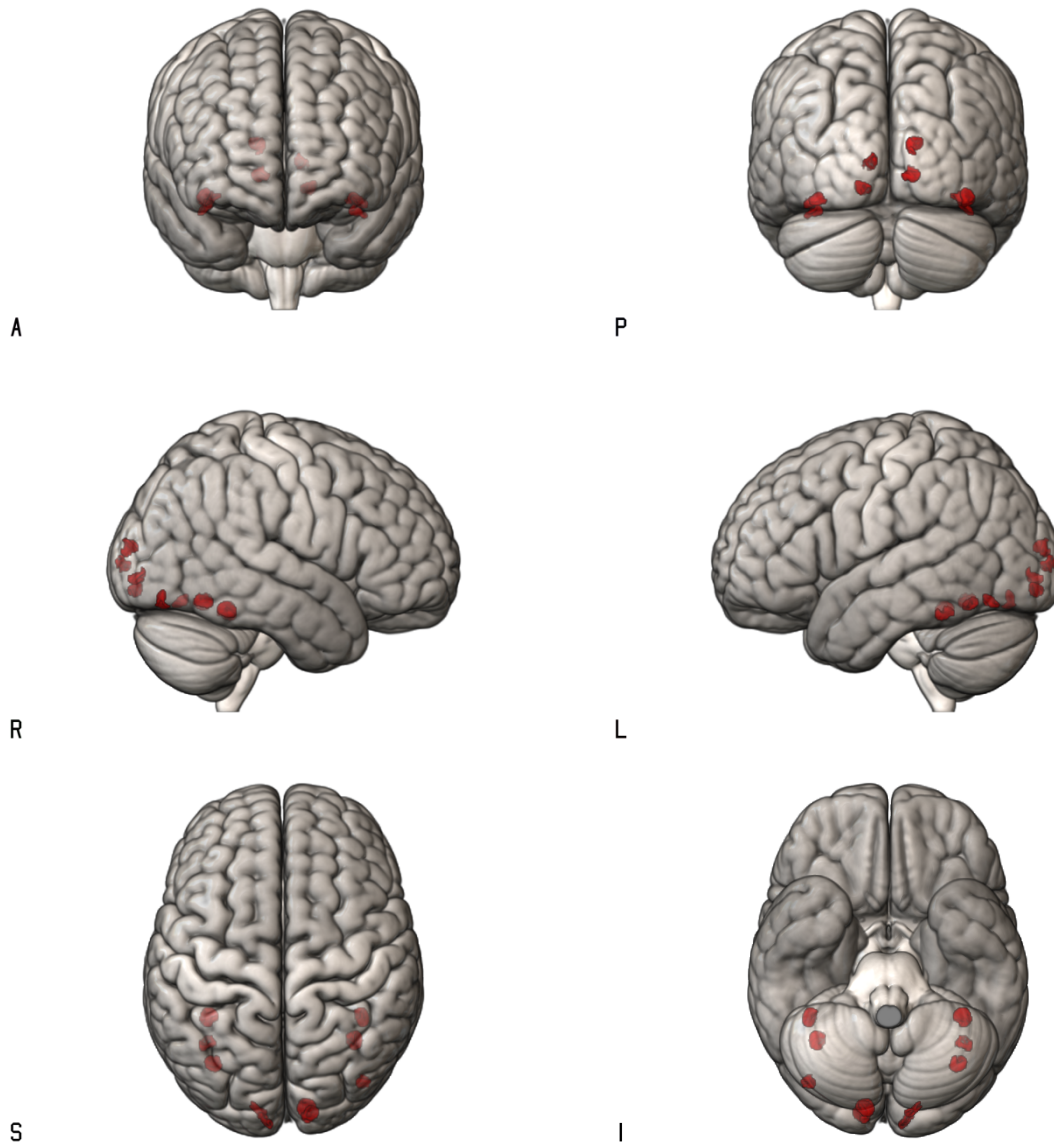
**Abbildung 14:** Zweidimensionale Darstellung der Gehirnareale (grün), welche eine stärkere hämodynamische Aktivierung bei nicht-sozialen im Vergleich zu sozialen Hinweisreizen aufwiesen (*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*) bei *sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms* (Projektion auf das MNI-Standardgehirn aus unterschiedlichen Perspektiven; *A = Anterior, P = Posterior, R = Rechts, L = Links, S = Superior, I = Inferior*; je gesättigter das Grün abgebildet ist, desto näher ist das jeweilige Areal zur Gehirnoberfläche hin lokalisiert; zur besseren Sichtbarkeit der einzelnen lokalen Aktivierungsmaxima wird eine Darstellung der Voxel von 5:1 im Verhältnis zur Normgröße gezeigt).

### 6.2.3 Kontrast soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms

Im Kontrast „soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize“ bei nicht-sozialen Zielreizen und der SOA-Bedingung von 100 ms (vgl. Tabelle 11 und Abbildung 15) wurden signifikante Aktivierungen in Arealen des rechten Okzipitallappens im Cuneus, im Calcarinen Cortex und im Gyrus occipitalis inferior ermittelt. Im linken Okzipitallappen wurden Areale im Calcarinen Cortex und Gyrus occipitalis superior signifikant aktiviert. Daneben zeigten sich eine signifikante Aktivierung im rechten und linken Gyrus fusiformis des Temporallappens.

Peak-Level		MNI-Koordinaten	Anatomische Region
<i>p</i>	<i>T</i>	<i>x y z</i>	
<0.000	9.71	36 -58 -16	Gyrus fusiformis (R)
<0.000	8.45	40 -78 -14	Gyrus occipitalis inferior (R)
<0.000	8.22	40 -46 -20	Gyrus fusiformis (R)
<0.000	7.83	-38 -46 -22	Gyrus fusiformis (L)
<0.000	7.19	-36 -70 -14	Gyrus fusiformis (L)
<0.000	6.76	-38 -60 -18	Gyrus fusiformis (L)
<0.000	7.58	14 -96 12	Cuneus (R)
<0.000	7.53	12 -92 -2	Calcariner Cortex (R)
<0.000	6.94	-10 -100 4	Gyrus occipitalis superior (L)
0.015	5.55	-12 -92 -8	Calcariner Cortex (L)

**Tabelle 11:** Gehirnnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Hinweisreizen (*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*) bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms (Peak-Level:  $p < 0.05$ , FWE-korrigiert,  $T > 4.90$ ; R = rechte Hemisphäre, L = linke Hemisphäre; die Koordinaten zeigen die relationale Position der lokalen Aktivierungsmaxima mit zugehörigem anatomischen Namen im MNI-Atlas an).



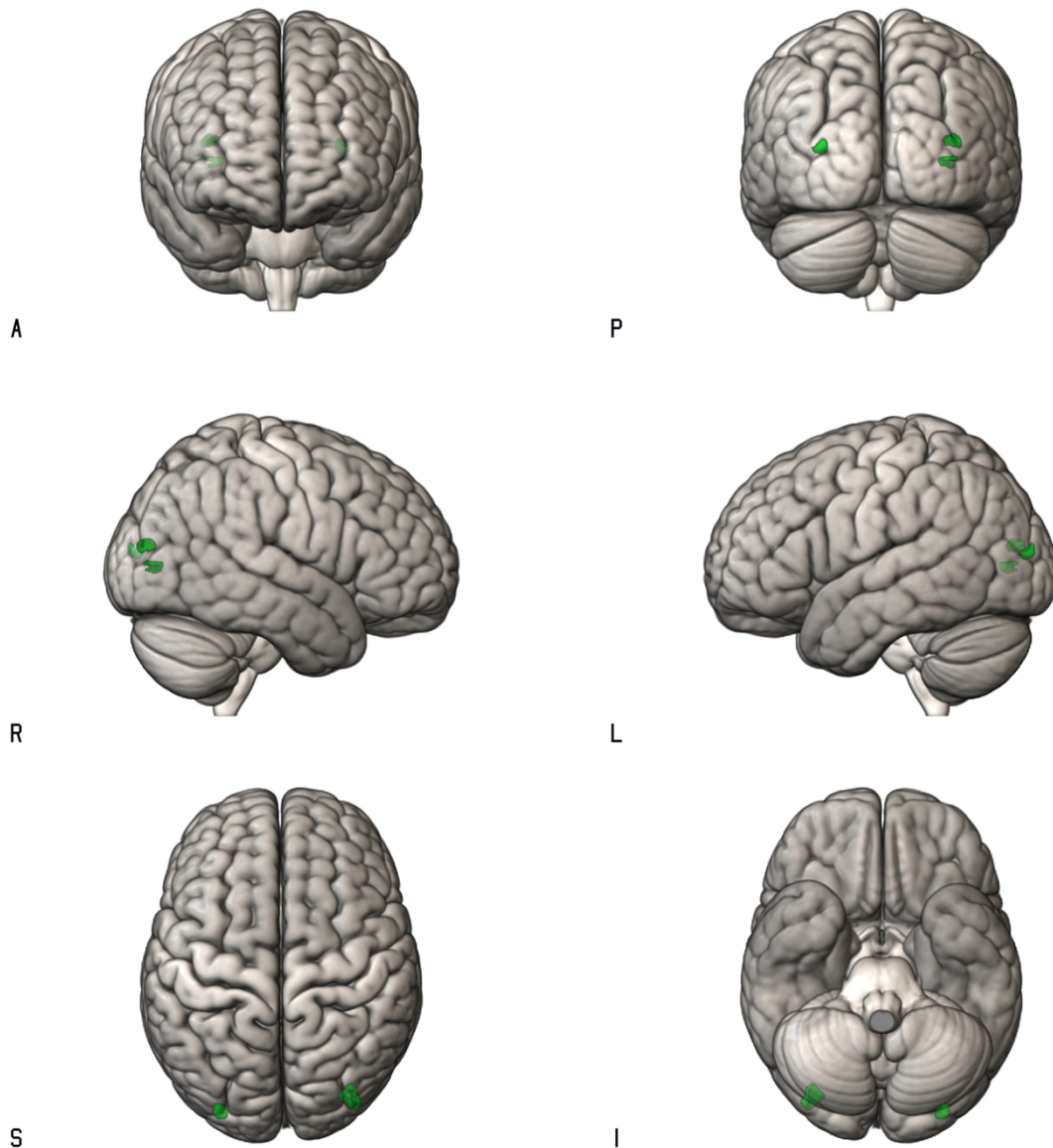
**Abbildung 15:** Zweidimensionale Darstellung der Gehirnareale (rot), welche eine stärkere hämodynamische Aktivierung bei sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Hinweisreizen aufwiesen (*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*) bei *nicht-sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms* (Projektion auf das MNI-Standardgehirn aus unterschiedlichen Perspektiven; *A = Anterior, P = Posterior, R = Rechts, L = Links, S = Superior, I = Inferior*; je gesättigter das Rot abgebildet ist, desto näher ist das jeweilige Areal zur Gehirnoberfläche hin lokalisiert; zur besseren Sichtbarkeit der einzelnen lokalen Aktivierungsmaxima wird eine Darstellung der Voxel von 5:1 im Verhältnis zur Normgröße gezeigt).

#### 6.2.4 Kontrast nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms

Der Kontrast „*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*“ bei *nicht-sozialen Zielreizen* und der SOA-Bedingung von *100 ms* (vgl. Tabelle 12 und Abbildung 16) wies signifikante Aktivierungen im rechten und linken Gyrus occipitalis medius auf.

Peak-Level		MNI-Koordinaten	Anatomische Region
<i>p</i>	<i>T</i>	<i>x y z</i>	
<0.000	7.13	36 -86 14	Gyrus occipitalis medius (R)
<0.000	7.04	34 -82 6	Gyrus occipitalis medius (R)
<0.000	6.92	-32 -92 12	Gyrus occipitalis medius (L)

**Tabelle 12:** Gehirnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei nicht-sozialen im Vergleich zu sozialen Hinweisreizen (*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*) bei *nicht-sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms* (Peak-Level:  $p < 0.05$ , FWE-korrigiert,  $T > 4.90$ ; R = rechte Hemisphäre, L = linke Hemisphäre; die Koordinaten zeigen die relationale Position der lokalen Aktivierungsmaxima mit zugehörigem anatomischen Namen im MNI-Atlas an).



**Abbildung 16:** Zweidimensionale Darstellung der Gehirnareale (grün), welche eine stärkere hämodynamische Aktivierung bei nicht-sozialen im Vergleich zu sozialen Hinweisreizen aufwiesen (*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*) bei *nicht-sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms* (Projektion auf das MNI-Standardgehirn aus unterschiedlichen Perspektiven; A = Anterior, P = Posterior, R = Rechts, L = Links, S = Superior, I = Inferior; je gesättigter das Grün abgebildet ist, desto näher ist das jeweilige Areal zur Gehirnoberfläche hin lokalisiert; zur besseren Sichtbarkeit der einzelnen lokalen Aktivierungsmaxima wird eine Darstellung der Voxel von 5:1 mm im Verhältnis zur Normgröße gezeigt).

### 6.2.5 Soziale vs. nicht-soziale Zielreize (Gesamtstichprobe)

Zum Vergleich von sozialen und nicht-sozialen Zielreizen wurden in der fMRT-Datenauswertung vier Kontraste berechnet:

- Kontrast „soziale Zielreize > nicht-soziale Zielreize“ bei *sozialen Hinweisreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „nicht-soziale Zielreize > soziale Zielreize“ bei *sozialen Hinweisreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „soziale Zielreize > nicht-soziale Zielreize“ bei *nicht-sozialen Hinweisreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „nicht-soziale Zielreize > soziale Zielreize“ bei *nicht-sozialen Hinweisreizen* und *SOA 100 ms*.

In diesen ergaben sich keine signifikanten Aktivierungen. Daraufhin wurde eine zweite Berechnung analog zum in Kapitel 5.8.2 beschriebenen Procedere mit dem „Onset“ auf dem Erscheinen des Zielreizes durchgeführt, um diesen möglichen methodischen Einflussfaktor zu überprüfen. Auch diese Berechnung zeigte keine signifikanten lokalen Aktivierungsmaxima in den betreffenden Kontrasten.

### 6.3 Verhaltensdaten der fMRT-Schichtführungsgruppen (Hypothese 3)

In der Varianzanalyse über alle Bedingungen mit einer SOA 100 ms und dem zusätzlichen Gruppenfaktor „Schichtführung“ ergab sich die signifikante Interaktion Hinweisreiz-Typ x Schichtführung ( $F(1,50) = 5.4$ ,  $p < 0.03$ ;  $p\eta^2 = 0.09$ ; vgl. Tabelle 13). Diese Interaktion konnte durch die Betrachtung der Varianzanalysen innerhalb der beiden Schichtführungsgruppen mit einer SOA von 100 ms präzisiert werden.

In beiden Gruppen trat jeweils eine signifikante Interaktion von Hinweisreiz-Typ x Zielreiz-Typ auf (vgl. Tabelle 12 und 13). Diese Interaktion zeigte eine größere Effektstärke in der Gruppe mit geneigter ( $F(1,25) = 17.0$ ,  $p < 0.001$ ;  $p\eta^2 = 0.40$ ) als in der Gruppe mit regulärer Schichtführung ( $F(1,25) = 10.0$ ,  $p < 0.005$ ;  $p\eta^2 = 0.28$ ). Die signifikanten Interaktionen Hinweisreiz-Typ x Zielreiz-Typ in den beiden Schichtführungsgruppen konnten durch die Berechnung von Simple-Effects in der jeweiligen Gruppe präzisiert werden. In der Gruppe mit regulärer Schichtführung wurde ein Erleichterungseffekt in Bezug auf die Reaktionszeiten für die Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen, sowohl bei kongruenter (signifikanter Simple-Effect:  $p < 0.02$ ), als auch bei inkongruenter Bedingung (signifikanter Simple-Effect:  $p < 0.001$ ) ermittelt (vgl. Abbildung 17 c). Die

Gruppe mit geneigter Schichtführung zeigte ebenfalls einen Erleichterungseffekt in Bezug auf die Reaktionszeiten für die Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen in der kongruenten (signifikanter Simple-Effect:  $p < 0.02$ ), wie auch in der inkongruenten Bedingung (signifikanter Simple-Effect:  $p < 0.007$ ; vgl. Abbildung 17 d). Zusätzlich konnte in dieser Gruppe ein Erleichterungseffekt in Bezug auf die Reaktionszeiten für die Kombination von nicht-sozialen Hinweis- mit nicht-sozialen Zielreizen bei kongruenter Bedingung (signifikanter Simple-Effect:  $p < 0.003$ ) festgestellt werden. Dessen Auftreten hing mit der Kongruenz-Bedingung zusammen (signifikanter Simple-Effect zwischen Kongruenz und Inkongruenz bei nicht-sozialen Hinweis- und Zielreizen  $p < 0.03$ ; vgl. Abbildung 17 b).

In Bezug auf mögliche Kongruenz-Effekte wurde nur innerhalb der Gruppe mit regulärer Schichtführung ein Haupteffekt für Kongruenz ( $F(1,25) = 7.6$ ,  $p < 0.02$ ;  $p\eta^2 = 0.23$ ) bei einer SOA von 100 ms ermittelt (vgl. Tabelle 14). Die signifikanten Simple-Effects (vgl. Abbildung 17 a und c) zeigten an, dass bei den Kombinationen von nicht-sozialen Hinweisreizen mit nicht-sozialen (Simple-Effect  $p < 0.05$ ) sowie sozialen Zielreizen (Simple-Effect  $p < 0.03$ ) Kongruenz-Effekte aufgetreten waren. Innerhalb der Gruppe mit geneigter Schichtführung konnte varianzanalytisch kein Erleichterungseffekt durch die Kongruenz-Bedingung gefunden werden.

Gesamtstichprobe (n = 52)					
		<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i> <	<i>p</i> $\eta^2$
<b>Haupteffekte</b>	<i>Kongruenz</i>	1, 50	9.2	0.005	0.15
	<i>Hinweisreiz-Typ</i>	1, 50	11.3	0.002	0.18
	<i>Zielreiz-Typ</i>	1, 50	5.3	0.03	0.09
<b>2-fach Interaktionen</b>	<i>Hinweisreiz-Typ x Schichtführung</i>	1, 50	5.4	0.03	0.09
	<i>Kongruenz x Hinweisreiz-Typ</i>	1, 50	5.2	0.03	0.09
	<i>Hinweisreiz-Typ x Zielreiz-Typ</i>	1, 50	25.7	0.001	0.34

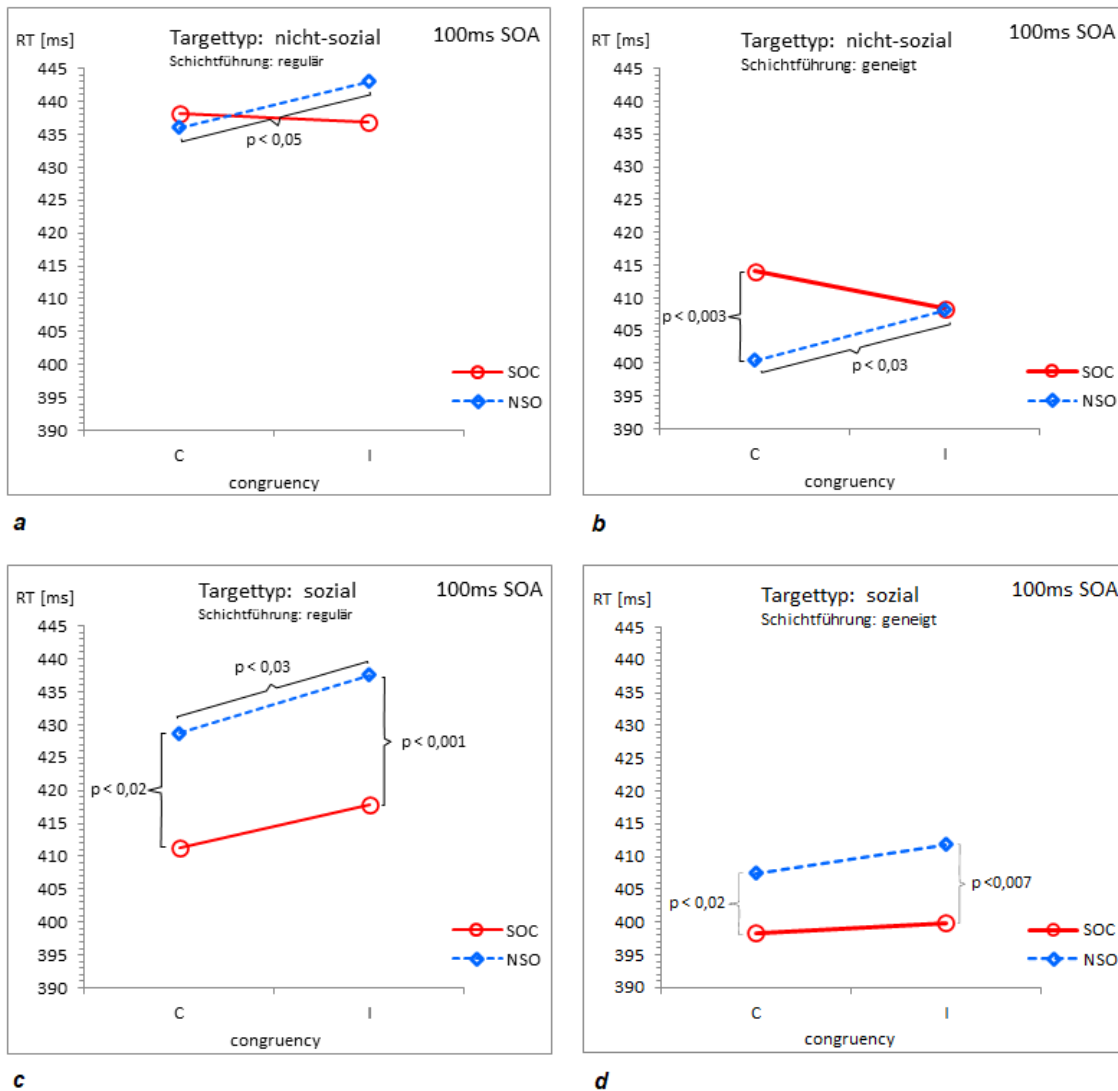
**Tabelle 13:** 4-faktorielle Varianzanalyse der Gesamtstichprobe mit dem Gruppenfaktor „Schichtführung“ in der SOA-Bedingung von 100ms.

Gruppe mit regulärer Schichtführung (n = 26)					
		<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i> <	<i>pη</i> <sup>2</sup>
<b>Haupteffekte</b>	<i>Kongruenz</i>	1, 25	7.6	0.02	0.23
	<i>Hinweisreiz-Typ</i>	1, 25	12.2	0.003	0.32
	<i>Zielreiz-Typ</i>	1, 25	6.9	0.02	0.21
<b>2-fach Interaktionen</b>	<i>Hinweisreiz-Typ x Zielreiz-Typ</i>	1, 25	10.0	0.005	0.28

**Tabelle 14: 3-faktorielle Varianzanalyse der Gruppe mit regulärer Schichtführung in der SOA-Bedingung von 100 ms.**

Gruppe mit geneigter Schichtführung (n = 26)					
		<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i> <	<i>pη</i> <sup>2</sup>
<b>Haupteffekte</b>	nicht signifikant				
<b>2-fach Interaktionen</b>	<i>Hinweisreiz-Typ x Zielreiz-Typ</i>	1, 25	17.0	0.001	0.40

**Tabelle 15: 3-faktorielle Varianzanalyse der Gruppe mit geneigter Schichtführung in der SOA-Bedingung von 100 ms.**



**Abbildung 17:** Die Reaktionszeiten der beiden Gruppen mit unterschiedlicher Schichtführung (reguläre Schichtführung: *a* und *c*, geneigte Schichtführung: *b* und *d*) in Abhängigkeit von der Kongruenz-Bedingung und des Hinweisreiz-Typs für nicht-soziale (*a* und *b*) und soziale Zielreize (*c* und *d*) bei einer SOA von 100 ms (*RT* = Reaktionszeit in ms; *C* = Kongruente Bedingung, *I* = Inkongruente Bedingung; *SOC* = Sozialer Hinweisreiz, *NSO* = Nicht-sozialer Hinweisreiz; signifikante Simple-Effects neben geschwungener Klammer als *p*-Wert).

#### 6.4 fMRT-Daten der Schichtführungsgruppen (Hypothese 4)

Zur Untersuchung des Einflusses der fMRT-Schichtführung auf die hämodynamische Aktivierung (Hypothese 4) wurden folgende acht Kontraste der jeweiligen Schichtführungsgruppe statistisch miteinander verglichen (vgl. Kapitel 5.8.2):

- Kontrast „soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize“ bei sozialen Zielreizen und SOA 100 ms,
- Kontrast „nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize“ bei sozialen Zielreizen und SOA 100 ms,
- Kontrast „soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize“ bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms,
- Kontrast „nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize“ bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms,
- Kontrast „soziale Zielreize > nicht-soziale Zielreize“ bei sozialen Hinweisreizen und SOA 100 ms,
- Kontrast „nicht-soziale Zielreize > soziale Zielreize“ bei sozialen Hinweisreizen und SOA 100 ms,
- Kontrast „soziale Zielreize > nicht-soziale Zielreize“ bei nicht-sozialen Hinweisreizen und SOA 100 ms,
- Kontrast „nicht-soziale Zielreize > soziale Zielreize“ bei nicht-sozialen Hinweisreizen und SOA 100 ms.

Bei einer FWE-korrigierten Signifikanzschwelle von  $p < 0.05$  ergaben sich keine signifikant unterschiedlichen lokalen Aktivierungsmaxima („Peaks“).

In einer ergänzenden Überprüfung wurden die Ergebnisse der statistischen Auswertung der acht Kontraste innerhalb der jeweiligen Schichtführungsgruppe einander gegenübergestellt. Diese werden im Folgenden analog zur Auswertung der Gesamtstichprobe dargestellt.

#### **6.4.1 Kontrast „soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize“ bei sozialen Zielreizen und SOA 100 ms**

Im Kontrast „soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize“ bei sozialen Zielreizen und der SOA-Bedingung von 100 ms (vgl. Tabelle 16) wurden in beiden Schichtführungsgruppen signifikante Aktivierungen bilateral im Calcarinen Cortex und im rechten Gyrus fusiformis ermittelt. In der Gruppe mit regulärer Schichtführung ergaben sich zusätzlich signifikante Aktivierungen bilateral im Gyrus temporalis medius sowie im rechtsseitigen Cuneus.

Reguläre Schichtführung			
Peak-Level		MNI-Koordinaten	Anatomische Region
$p$	$T$	$x\ y\ z$	
<0.000	12.41	14 -94 -6	Calcariner Cortex (R)
<0.000	10.33	14 -96 10	Cuneus (R)
<0.000	9.93	-8 -98 -4	Calcariner Cortex (L)
<0.000	9.38	40 -50 -20	Gyrus fusiformis (R)
0.007	7.11	34 -78 -14	Gyrus fusiformis (R)
0.009	7.00	42 -50 10	Gyrus temporalis medius (R)
0.013	6.82	50 -66 14	Gyrus temporalis medius (R)
0.025	6.51	-44 -52 12	Gyrus temporalis medius (L)

**a**

Geneigte Schichtführung			
Peak-Level		MNI-Koordinaten	Anatomische Region
$p$	$T$	$x\ y\ z$	
<0.000	8.54	-8 -98 2	Calcariner Cortex (L)
0.003	7.51	16 -96 2	Calcariner Cortex (R)
0.008	6.93	38 -48 -22	Gyrus fusiformis (R)

**b**

**Tabelle 16:** Gehirnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Hinweisreizen (*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*) bei sozialen Zielreizen und SOA 100 ms unter regulärer (a) und geneigter Schichtführung (b) (Peak-Level:  $p < 0.05$ , FWE-korrigiert,  $T > 4.90$ ; R = rechte Hemisphäre, L = linke Hemisphäre; die Koordinaten zeigen die relationale Position der lokalen Aktivierungsmaxima mit zugehörigem anatomischen Namen im MNI-Atlas an).

#### 6.4.2 Kontrast „nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize“ bei sozialen Zielreizen und SOA 100 ms

Für den Kontrast „nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize“ bei sozialen Zielreizen und der SOA-Bedingung von 100 ms ergaben sich in beiden Schichtführungsgruppen keine signifikanten Aktivierungen.

### 6.4.3 Kontrast „soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize“ bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms

Im Kontrast „soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize“ bei nicht-sozialen Zielreizen und der SOA-Bedingung von 100 ms (vgl. Tabelle 17) wurden in beiden Schichtführungsgruppen Hirnregionen bilateral im Gyrus fusiformis sowie rechtsseitig im Gyrus occipitalis inferior signifikant aktiviert. Die Gruppe mit regulärer Schichtführung wies daneben signifikante Aktivierungen rechtsseitig im Cuneus und Gyrus lingualis sowie linksseitig im Gyrus occipitalis medius auf.

Reguläre Schichtführung			
Peak-Level		MNI-Koordinaten	Anatomische Region
<i>p</i>	<i>T</i>	<i>x y z</i>	
0.003	7.58	-36 -44 -22	Gyrus fusiformis (L)
0.003	7.45	40 -46 -18	Gyrus fusiformis (R)
0.011	6.87	36 -58 -16	Gyrus fusiformis (R)
0.004	7.33	16 -98 8	Cuneus (R)
0.005	7.23	-10 -102 2	Gyrus occipitalis medius (L)
0.012	6.82	14 -90 -8	Gyrus lingualis (R)
0.044	6.16	40 -80 -14	Gyrus occipitalis inferior (R)

**a**

Geneigte Schichtführung			
Peak-Level		MNI-Koordinaten	Anatomische Region
<i>p</i>	<i>T</i>	<i>x y z</i>	
0.006	7.08	36 -58 -18	Gyrus fusiformis (R)
0.021	6.43	-34 -56 -18	Gyrus fusiformis (L)
0.021	6.41	40 -76 -14	Gyrus occipitalis inferior (R)
0.031	6.22	-34 -72 -14	Gyrus fusiformis (L)

**b**

**Tabelle 17:** Gehirnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Hinweisreizen (*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*) bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms unter regulärer (**a**) und geneigter Schichtführung (**b**) (Peak-Level:  $p < 0.05$ , FWE-korrigiert,  $T > 4.90$ ; R = rechte Hemisphäre, L = linke Hemisphäre; die Koordinaten zeigen die relationale Position der lokalen Aktivierungsmaxima mit zugehörigem anatomischen Namen im MNI-Atlas an).

#### 6.4.4 Kontrast „nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize“ bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms

Im Kontrast „nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize“ bei nicht-sozialen Zielreizen und der SOA-Bedingung von 100 ms (vgl. Tabelle 18) wurden in beiden Schichtführungsgruppen signifikante Aktivierungen im rechten Gyrus occipitalis medius ermittelt. In der Gruppe mit geneigter Schichtführung ergab sich zusätzlich eine signifikante Aktivierung im linken Gyrus occipitalis medius.

Reguläre Schichtführung			
Peak-Level		MNI-Koordinaten	Anatomische Region
$p$	$T$	$x$ $y$ $z$	
0.036	6.27	34 -82 6	Gyrus occipitalis medius (R)

**a**

Geneigte Schichtführung			
Peak-Level		MNI-Koordinaten	Anatomische Region
$p$	$T$	$x$ $y$ $z$	
0.001	7.89	38 -86 18	Gyrus occipital medius (R)
0.002	7.70	-34 -94 8	Gyrus occipital medius (L)

**b**

**Tabelle 18:** Gehirnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei nicht-sozialen im Vergleich zu sozialen Hinweisreizen (*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*) bei nicht-sozialen Zielreizen und SOA 100 ms unter regulärer (**a**) und geneigter Schichtführung (**b**) (Peak-Level:  $p < 0.05$ , FWE-korrigiert,  $T > 4.90$ ; R = rechte Hemisphäre, L = linke Hemisphäre; die Koordinaten zeigen die relationale Position der lokalen Aktivierungsmaxima mit zugehörigem anatomischen Namen im MNI-Atlas an).

#### 6.4.5 Soziale vs. nicht-soziale Zielreize (Schichtführung)

Analog zur Auswertung der Gesamtstichprobe wurden innerhalb der jeweiligen Gruppe mit unterschiedlicher Schichtführung folgende Kontraste zum Vergleich von sozialen und nicht-sozialen Zielreizen berechnet:

- Kontrast „*soziale Zielreize > nicht-soziale Zielreize*“ bei *sozialen Hinweisreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „*nicht-soziale Zielreize > soziale Zielreize*“ bei *sozialen Hinweisreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „*soziale Zielreize > nicht-soziale Zielreize*“ bei *nicht-sozialen Hinweisreizen* und *SOA 100 ms*,
- Kontrast „*nicht-soziale Zielreize > soziale Zielreize*“ bei *nicht-sozialen Hinweisreizen* und *SOA 100 ms*.

Diese Kontraste wiesen in keiner der beiden Schichtführungsgruppen signifikante Aktivierungen auf.

## 7. Diskussion der behavioralen und hämodynamischen Korrelate der Gesamtstichprobe (Hauptfragestellung)

### 7.1 Unterschiede auf der Verhaltensebene zwischen sozialen und nicht-sozialen Reizbedingungen (Hypothese 1)

Hinweisreiz	Zielreiz	Kongruenz-Effekt
<i>nicht-sozial</i>	<i>nicht-sozial</i>	ja
<i>nicht-sozial</i>	<i>sozial</i>	ja
<i>sozial</i>	<i>sozial</i>	nein
<i>sozial</i>	<i>nicht-sozial</i>	nein

**Tabelle 19:** Kongruenz-Effekt bei den verschiedenen Kombinationen der Hinweisreiz- und Zielreiz-Typen.

Für nicht-soziale Hinweisreize wurde, unabhängig vom Zielreiz-Typ, ein Erleichterungseffekt durch die Kongruenz-Bedingung ermittelt (vgl. Tabelle 19). Dies legt nahe, dass die Pfeilsymbole der nicht-sozialen Hinweisreize von den Testpersonen als eindeutige Richtungsinformation wahrgenommen worden waren und eine reflexive Aufmerksamkeitsverschiebung stattgefunden hatte. Der Befund bestätigt Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen von Cueing-Paradigmen mit zentral präsentierten Pfeilhinweisreizen und einer SOA von 100ms (vgl. u.a. Akiyama et al., 2008; Galfano et al., 2012; Quadflieg et al., 2004; Tipples, 2002).

In Trials mit sozialen Hinweisreizen trat hingegen sowohl in Kombination mit sozialen als auch mit nicht-sozialen Zielreizen kein Kongruenz-Effekt („Gaze-Cueing“-Effekt) auf (vgl. Tabelle 19). Dafür können verschiedene Erklärungen angenommen werden.

Es erscheint möglich, dass die Versuchspersonen die Augenpartie der sozialen Hinweisreize nicht eindeutig als Richtungsinformation identifiziert haben. Pfeile sind als erlernte Symbole mit klarer räumlicher Information konnotiert, deren Semantik jeden Tag bspw. durch das Anschauen von Verkehrsschildern verstärkt wird (Galfano et al., 2012). Im Gegensatz dazu ist ein abgewandter Blick auf unterschiedliche Art und Weise interpretierbar. Dieser kann, neben Informationen über den Aufmerksamkeitsfokus einer anderen

Person (Pfeiffer et al., 2013), auch als Bestandteil eines Emotionsausdrucks von Angst oder Traurigkeit wahrgenommen werden (Adams Jr. & Kleck, 2005). Diese Mehrdeutigkeit der Blickhinweisreize wurde möglicherweise noch dadurch verstärkt, dass die richtungsanzeigende Komponente eines Blicks in natura häufig durch eine Augenbewegung eingeleitet wird, wohingegen das verwendete Abbild eines abgewandten Blicks nur eine statische Dimension besaß.

Das Ausbleiben eines Gaze-Cueing-Effekts könnte ebenso auf eine erhöhte Salienz der sozialen Hinweisreize als Ganzes in ihrer komplexen Darstellung eines menschlichen Gesichts zurückzuführen sein. Diese Komplexität könnte eine längere kognitive Verarbeitungszeit erfordert haben, da neben den Augen auch andere Gesichtsmerkmale der Fotografie für die Wahrnehmung der Teilnehmenden salient gewesen sein könnten. Dadurch wäre ein Rezipieren der Richtungskomponente des Blicks möglicherweise erschwert. Dahingehend könnte die kurze SOA von 100 ms einen entscheidenden Faktor darstellen. Zwar wurde in einigen Gaze-Cueing-Studien ein Erleichterungseffekt durch die Kongruenz bei ähnlich kurzer SOA beobachtet (vgl. Akiyama et al., 2008; Friesen & Kingstone, 1998; Greene et al., 2009). Jedoch wurden in diesen schematische Blickhinweisreize verwendet, die in ihrer Struktur weniger komplex als die sozialen Hinweisreize der vorliegenden Untersuchung waren. Studien von Bayliss et al. (2005), Driver et al. (1999) und Lockhofen et al. (2014) mit, von vollständigen Gesichtsstrukturen umgebenen, naturalistischen Blickhinweisreizen, die ähnlich denen der vorliegenden Untersuchung waren, konnten dagegen keinen Cueing-Effekt in Bedingungen mit kurzer SOA finden.

Weitere Ursachen für den fehlenden Gaze-Cueing-Effekt könnten stichprobenassoziierte Faktoren darstellen. Verschiedene Untersuchungen fanden Hinweise dafür, dass die Tendenz zum Gaze-Cueing-Effekt nicht bei jedem Menschen in gleichem Maße zu beobachten ist und von unterschiedlichen individuellen Faktoren abzuhängen scheint. So konnten Studien zeigen, dass das Auftreten des Effekts z.B. mit dem Alter (Slessor et al., 2016), dem biologischen Geschlecht (Alwall et al., 2010; Bayliss et al., 2005) oder autistischen Persönlichkeitszügen (Bayliss et al., 2005; Bayliss & Tipper, 2005) zusammenhängt. Zwar fand in der vorliegenden Untersuchung eine Kontrolle intraindividuelle Einflüsse durch die Auswahl der Versuchspersonen in Bezug auf Alter und Geschlecht statt (vgl. Kapitel 5.1). Jedoch wurde ein möglicher Zusammenhang zwischen genannten Faktoren und der Kongruenz-Bedingung in Verbindung mit sozialen Hinweisreizen statistisch nicht untersucht, sodass hierzu keine valide Aussage getroffen werden kann.

Neben dem Kongruenz-Effekt bei nicht-sozialen Hinweisreizen wurde in der vorliegenden Untersuchung ein robuster Erleichterungseffekt in Bezug auf die Reaktionszeiten bei der Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen unabhängig von der Kongruenz-Bedingung ermittelt. Einen Erklärungsansatz für diesen zunächst überraschenden Befund könnte die Annahme einer höheren Salienz der sozialen im Vergleich zu den nicht-sozialen Reizen liefern. Dahingehende Hinweise konnten Rösler et al. (2017) in einer Eye-Tracking-Studie finden. Sie konnten zeigen, dass, bei einer Präsentationsdauer von 200 ms, Blicksakkaden signifikant häufiger in Richtung von sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Merkmalen in Fotografien von naturalistischen Szenen erfolgten. Aus der beobachteten Reaktion bei zeitlich sehr kurzer Präsentationsdauer der Bilder schlossen Rösler et al. (2017) auf eine reflexive Komponente in Bezug auf die soziale Aufmerksamkeitsorientierung. Da jedoch in der vorliegenden Untersuchung die nicht-sozialen Hinweisreize in Verbindung mit den sozialen Zielreizen keinen Reaktionszeitvorteil bewirkten ist es denkbar, dass die Salienz eines als sozial eingestuften Reizes von dem subjektiven Empfinden abhängt, eine relevante soziale Situation zu beobachten. Inderbitzin et al. (2013) konnten Anhaltspunkte dafür finden, dass die Salienz durch die empfundene Lebendigkeit eines Reizes zunimmt. Die Bedingungen mit ausschließlich sozialen Reizen ähnelten möglicherweise eher einer als lebendig empfundenen sozialen Situation, als die isoliert präsentierten soziale Hinweis- oder Zielreize. Dadurch könnten die Testpersonen sich eher in die Situation involviert gefühlt haben, wodurch möglicherweise deren Aufmerksamkeitsleistung in den betreffenden Trials gesteigert wurde.

In Bezug auf den Erleichterungseffekt in Bedingungen mit sozialen Hinweis- und sozialen Zielreizen ließen sich hämodynamische Korrelate in der fMRT ermitteln, welche im Folgenden, neben den Effekten durch die anderen Reiz-Typ-Kombinationen, dargestellt werden.

## **7.2 Unterschiede in der hämodynamischen Aktivierung zwischen sozialen und nicht-sozialen Reizbedingungen (Hypothese 2)**

In den sozialen Reizbedingungen wurden unterschiedliche hämodynamische Aktivierungen rezipiert als in den nicht-sozialen Reizbedingungen (vgl. Tabelle 20 und Kapitel 6.2). Nachfolgend werden die unter den verschiedenen Reiz-Typ-Kombinationen erfassten Aktivierungen in Bezug zum aktuellen Stand der Forschung diskutiert.

<b>Hinweisreiz</b>	<i>sozial</i>	<i>sozial</i>	<i>nicht-sozial</i>	<i>nicht-sozial</i>
<b>Zielreiz</b>	<i>sozial</i>	<i>nicht-sozial</i>	<i>sozial</i>	<i>nicht-sozial</i>
<b>Spezifische Aktivierungen</b>	MTG (R) LG (R, L) MFG (R)	SOG (L)	SPL (L)	
<b>Überlappende Aktivierungen</b>	FFG (R, L) Cuneus (R) IOG (R) Calcariner Cortex (R, L)		MOG (R, L)	

**Tabelle 20: Vereinfachte Darstellung der durch die verschiedenen Hinweis- und Zielreizkombinationen aktivierten Gehirnareale** (*R = Rechts, L = Links; IOG = Gyrus occipitalis inferior, FFG = Gyrus fusiformis, LG = Gyrus lingualis, MFG = Gyrus frontalis medius, MOG = Gyrus occipitalis medius, MTG = Gyrus temporalis medius, SOG = Gyrus occipitalis superior, SPL = Lobulus parietalis superior; zur Verbesserung der Übersichtlichkeit keine Angabe der Anzahl und Koordinaten der lokalen Aktivierungsmaxima (Peaks); für eine präzisere Darstellung vgl. Kapitel 6.2).*

### **7.2.1 Aktivierungen bei der Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen**

Für die Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen wurden auf der Verhaltensebene robuste Erleichterungseffekte in Bezug auf die Reaktionszeiten ermittelt. Als neurophysiologisches Korrelat davon konnten in der fMRT Aktivierungen rechtsseitig im Gyrus temporalis medius (MTG), bilateral im Gyrus lingualis (LG), sowie rechtsseitig im Gyrus frontalis medius (MFG) detektiert werden. Diese Areale wurden bei keiner anderen Kombination der verschiedenen Hinweis- und Zielreiz-Typen aktiviert. Dadurch kann für den MTG, den LG und den MFG, in der Zusammenschau mit genanntem Erleichterungseffekt auf der Verhaltensebene, eine Spezifität für eine reflexive Verarbeitung der kombinierten sozialen Stimuli angenommen werden. In den nachfolgenden Kapiteln wird die Aktivierung dieser Areale diskutiert. Weitere Hirnregionen, die sowohl in Trials mit sozialen Hinweis- und sozialen Zielreizen als auch in solchen mit sozialen Hinweis- und nicht-sozialen Zielreizen aktiviert wurden, werden in Kapitel 7.2.2 einem Diskurs unterzogen.

### 7.2.1.1 Gyrus temporalis medius

Die Aktivierungen im rechten Gyrus temporalis medius (MTG) in den Bedingungen mit beiden sozialen Stimuli konnten anhand der Koordinaten des ALL-Atlas im Bereich des posterioren Sulcus temporalis superior (pSTS) lokalisiert werden. Da diese Nomenklatur in der Literatur gängig ist, werden die aktivierten Areale des MTG im Folgenden als pMTG/pSTS bezeichnet.

Dem STS wird die visuelle Verarbeitung von veränderlichen Gesichtsstrukturen zugeschrieben, die maßgeblich für kommunikative Aspekte von Bedeutung sind (vgl. Haxby et al., 2002; Hoffman & Haxby, 2000; Lee et al., 2010; für eine nähere Beschreibung des STS vgl. auch Kapitel 2.3 und 2.4.2). Ähnliche Funktionen werden ebenfalls in den Modellen zur Blickverarbeitung von Senju & Johnson (2009) und zur Verarbeitung von Joint-Attention-Prozessen (JA) von Pfeiffer et al. (2013) angenommen (vgl. Kapitel 2.4 und 2.5). Der STS kann in einen funktionell unterscheidbaren anterioren und posterioren Anteil untergliedert werden (Pfeiffer et al., 2013). Es wird vermutet, dass der anteriore STS (aSTS) spezifisch beim Beobachten von Blickrichtungsänderungen aktiviert wird (vgl. Calder et al., 2007; Carlin et al., 2011; Carlin & Calder, 2013). Der pSTS hingegen scheint eher eine allgemeine Funktion im Erkennen und Interpretieren des sozialen Kontexts von Blick, Kopf- und Körperbewegungen, welche bspw. für JA-Prozesse von Bedeutung sind, zu übernehmen (vgl. Carlin & Calder, 2013; Pelphrey et al., 2003; Pfeiffer et al., 2013; Redcay, 2008; Senju & Johnson, 2009).

Dahingehend könnte angenommen werden, dass die Ähnlichkeit der kongruenten Bedingung mit einer JA-Situation zum Teil die Aktivierung des pMTG/pSTS erklärt. Da jedoch ein Erleichterungseffekt in Bezug auf die Reaktionszeiten unabhängig von der Kongruenz-Bedingung durch die kombinierten sozialen Stimuli ermittelt wurde, kann vielmehr ein Zusammenhang mit der Reizkonfiguration als Ganzes, unabhängig von den eigentlichen Blickreizen, vermutet werden. So könnte das Gesehene durch die zusätzliche Applikation des sozialen Zielreizes von den Teilnehmenden eher als eine soziale Situation wahrgenommen worden sein, welche bspw. kognitive Verarbeitungsanreize zur Interpretation von Intentionalität und Kontext bedingen würde.

Diese These wird unterstützt durch die fehlende Aktivierung des aSTS, welcher vermutlich bei einer Aufmerksamkeitsfokussierung der Testpersonen auf die Augenpartie der sozialen Hinweisreize involviert worden wäre. Eine Ursache für das Ausbleiben von Ak-

tivierungen im aSTS könnte jedoch auch die Präsentation von statischen sozialen Hinweisreizen in der vorliegenden Untersuchung sein. In vorherigen Studien konnten Belege dafür gefunden werden, dass die Aktivierung des aSTS in dynamischen Bedingungen, wie z.B. beim Ansehen eines Videos mit sich bewegenden Augen, ausgeprägter als in statischen Bedingungen ist (vgl. Gobbi & Haxby, 2007; Lee et al., 2010).

### 7.2.1.2 Gyrus lingualis

Auch bilateral im Gyrus lingualis (LG) wurden Aktivierungen nur bei der Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen erfasst. Der LG ist Teil des visuellen Cortex und scheint an der kognitiven Verarbeitung komplexer visueller Bilder beteiligt zu sein (Machielsen et al., 2000). Insbesondere wird dem LG eine Funktion in der initialen Prozessierung von Gesichtern zugeschrieben (Nomi et al., 2008). Eine Studie von Palejwala et al. (2021) konnte eine Konnektivität zwischen dem LG, dem Gyrus fusiformis (FFG) und dem Calcarinen Cortex feststellen. Ebenso konnte gezeigt werden, dass der LG und der FFG, dem eine wichtige Rolle in der Verarbeitung statischer Gesichtsmarkmalen beigemessen wird, simultan in die Prozessierung von Gesichtern involviert zu sein scheinen (vgl. Palejwala et al., 2020; Wandell et al., 2007).

Im Einklang damit kann die Aktivierung des LG in der eigenen Untersuchung bewertet werden, da als soziale Reize naturalistische Abbildungen von Gesichtern verwendet wurden und ebenso eine Aktivierung des FFG bei gleicher Reizkombination ermittelt werden konnte. Jedoch erklären die Befunde aus den genannten Studien nur unzureichend, warum eine Aktivierung des LG in der vorliegenden Untersuchung von der Applikation sozialer Zielreize abhängig war. Anders als für den FFG, konnten keine Aktivierungen im LG bei der Kombination von sozialen Hinweis- mit nicht-sozialen Zielreizen beobachtet werden. Einen Erklärungsansatz für die Aktivierung des LG könnte die Annahme liefern, dass bei der Verarbeitung der kombinierten sozialen Reiz-Typen ein visueller impliziter Gedächtnisprozess stattgefunden hat. Möglicherweise wurde der soziale Zielreiz in vorherigen Trials ins Arbeitsgedächtnis der Teilnehmenden internalisiert. In darauffolgenden Trials könnte durch den sozialen Hinweisreiz eine Bereitschaft zur Reaktion auf die sozialen Zielreize entstanden sein. Dies könnte auch den auf der Verhaltensebene beobachteten Erleichterungseffekt für die soziale Stimuluskombination begründen. Einige Studien legen eine Funktion des LG im visuellen Arbeitsgedächtnis nahe (vgl. Bogousslavsky et al., 1987; Kozlovskiy et al., 2014; Palejwala et al., 2021).

Eine weitere Interpretationsmöglichkeit für die Aktivierung des LG in Verbindung mit beiden sozialen Reiz-Typen könnte die Annahme einer Rolle des LG in der Prozessierung komplexer sozialer Situationen sein. Durch den zusätzlich zum sozialen Hinweisreiz präsentierten sozialen Zielreiz könnte das Beobachtete als natürlichere soziale Situation im Vergleich zu Trials mit nur einem sozialen Reiz wahrgenommen worden sein. Dies könnte eine stärkere Aufmerksamkeitsfokussierung der Teilnehmenden auf die ausgeprägt sozial gefärbte Situation bewirkt haben, welche möglicherweise Theory-of-Mind-Prozesse (ToM) zur Interpretation des Gesehenen initiiert haben könnte. Hinweise für eine Funktion des LG bei der Etablierung von ToM wurden in Studien von Brunet et al. (2000), Kronbichler et al. (2017), Redcay et al. (2010), sowie Wlodarski & Dunbar (2016) beschrieben.

### **7.2.1.3 Gyrus frontalis medius**

Ein ebenfalls nur durch die Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen aktiviertes Hirnareal wurde im rechten Gyrus frontalis medius (MFG) detektiert. Der MFG wird von Corbetta & Shulman (2002) in ihrem Modell zur visuellen räumlichen Aufmerksamkeitsorientierung einem rechtslateralisierten ventralen frontoparietalen System zugeordnet. Den Autoren nach ist dieses ventrale Netzwerk vorwiegend in exogen gesteuerte Aufmerksamkeitsprozesse involviert. Dem ventralen System stellen Corbetta & Shulman (2002) ein dorsales frontoparietales System gegenüber, welches vor allem bei der endogen gesteuerten Aufmerksamkeitsorientierung eine Rolle spielen soll (vgl. Corbetta & Shulman, 2002; vgl. dazu auch Chica et al., 2011; Fox et al., 2006; Japee et al., 2015; für eine ausführliche Beschreibung des Modells siehe Kapitel 2.6).

Da bei der o.g. Reiz-Typ-Kombination die insgesamt schnellsten Reaktionszeiten im Vergleich zu den anderen Variablenbedingungen auftraten, ist davon auszugehen, dass hierbei eine vorwiegend exogen gesteuerte Reaktion stattgefunden hat. Das Auftreten dieses Erleichterungseffekts bei korrelierender Aktivierung des rechten MFG kann als kohärent mit der von Corbetta & Shulman (2002) angenommenen Funktion des ventralen Aufmerksamkeitsystems angenommen werden.

Für die Involvierung des rechten MFG in der vorliegenden Untersuchung scheint das gemeinsame Auftreten beider sozialer Reiz-Typen von entscheidender Bedeutung zu sein, da in Verbindung mit nicht-sozialen Zielreizen keine Aktivierung beobachtet werden konnte. Dies unterstützen die Ergebnisse einer Studie von Lockhofen et al. (2014) aus der

Arbeitsgruppe CNS@ZPG mit dem Einsatz der gleichen Hinweisreize, etwas unterschiedlichen symbolischen Zielreizen und einer SOA von 100 ms. Lockhofen et al. (2014) fanden, wie auch die vorliegende Untersuchung, keine Aktivierungen im MFG bei der Kombination von sozialen oder nicht-sozialen Hinweisreizen mit symbolischen (nicht-sozialen) Zielreizen.

Eine mögliche Erklärung für das Auftreten des Erleichterungseffekts könnte eine durch die sozialen Hinweisreize ausgelöste Reaktionsbereitschaft für soziale Zielreize darstellen (vgl. vorheriges Kapitel). Dies würde eine endogene Aufmerksamkeitsleistung erfordern, da der soziale Zielreiz als implizierter Gedächtnisinhalt bei der Reaktion abgerufen werden müsste. Dahingehend könnte der MFG eine Funktion in der flexiblen Modulation zwischen exogenen und endogenen Aufmerksamkeitsprozessen einnehmen, wofür Japee et al. (2015) Hinweise in einer Läsionsstudie fanden. Die These einer vermittelnden Rolle des MFG unterstützen auch Befunde von Fox et al. (2006), welche in einer Untersuchung mittels „Resting-State“-fMRT eine Korrelation der Ruheaktivität des rechten MFG mit der Ruheaktivität in Arealen des ventralen und dorsalen Aufmerksamkeitssystems ermitteln konnten.

### **7.2.2 Aktivierungen bei den Kombinationen von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen sowie sozialen Hinweis- mit nicht-sozialen Zielreizen**

Neben den in den vorherigen Kapiteln beschriebenen spezifischen Aktivierungen, die nur bei der Kombination von sozialen Hinweis- und Zielreizen aufgetreten waren, konnten unter den gleichen Reizbedingungen sowie bei der Kombination von sozialen Hinweis- mit nicht-sozialen Zielreizen sehr ähnliche Aktivierungen ermittelt werden. Diese umfassten Areale bilateral im Gyrus fusiformis (FFG) und Calcarinen Cortex, sowie rechtsseitig im Cuneus und Gyrus occipitalis inferior (IOG). Einzig ein lokales Aktivierungsmaximum im linken Gyrus occipitalis superior (SOG) konnte nur in Verbindung mit nicht-sozialen Zielreizen beobachtet werden. Die Aktivierung genannter Regionen scheint weniger mit einem reflexiven Aufmerksamkeitsprozess im Sinne eines Erleichterungseffekts auf der Verhaltensebene in Verbindung gestanden zu haben, da diese sowohl bei langsameren (sozialer Hinweisreiz + nicht-sozialer Zielreiz) als auch bei schnelleren Reaktionszeiten (sozialer Hinweisreiz + sozialer Zielreiz) beobachtbar war. Vielmehr scheint diese von der Entität des Hinweisreizes abhängig gewesen zu sein, weil solche Aktivierungen bei nicht-sozialen Hinweisreizen nicht zu beobachten waren. Dies steht im

Einklang mit Befunden der Studie von Lockhofen et al. (2014) (vgl. vorheriges Kapitel), welche, bei ebenfalls ausbleibendem Kongruenz-Effekt, für soziale Hinweisreize ein größtenteils vergleichbares Aktivierungsmuster in o.g. Hirnregionen ermittelten. In den nachfolgenden Kapiteln werden die o.g. durch soziale Hinweisreize aktivierten Areale einer näheren Betrachtung unterzogen.

### **7.2.2.1 Gyrus fusiformis**

Die Aktivierungen im Gyrus fusiformis (FFG) stehen im Einklang mit der im Modell zur Gesichtserkennung von Haxby et al. (2002) postulierten Funktion des lateralen FFG, dem das Erkennen von statischen Gesichtsmerkmalen wie Identität oder Geschlecht zugeschrieben wird (vgl. auch Blonder et al., 2004; George et al., 2001; Grill-Spector & Malach, 2004; Hoffman & Haxby, 2000; Lee et al., 2010; für eine ausführliche Beschreibung des Modells vgl. Kapitel 2.3). Dahingehend kann eine weitgehende Unabhängigkeit von der spezifischen Aufmerksamkeitsleistung des Experiments angenommen werden, da sowohl bei schneller Reaktion in Verbindung mit sozialen Zielreizen als auch bei vergleichsweise langsamer Reaktion in Verbindung mit nicht-sozialen Zielreizen, ähnlich ausgeprägte Aktivierungen beobachtbar waren. Dadurch kann vermutet werden, dass für die Aktivierung des FFG die statische Abbildung von menschlichen Gesichtsstrukturen ausreichend ist. Auch in anderen Gaze-Cueing-Studien mit ähnlichen naturalistischen Blickhinweisreizen wurden wiederholt Aktivierungen im FFG ermittelt (vgl. Callejas et al., 2014; Lockhofen et al., 2014; Sato et al., 2009). Ebenso detektierten Hietanen et al. (2006) in einer Gaze-Cueing-Studie mit der Präsentation eines schematischen Gesichts eine Aktivierung des FFG. Dagegen konnten Untersuchungen mit schematisch dargestellten Augen als Blickhinweisreize ohne umgebende Gesichtsstruktur keine verstärkte Aktivierung im FFG aufzeigen (vgl. Kingstone et al., 2004; Tipper et al., 2008).

Aus den genannten Ergebnissen lässt sich ableiten, dass der FFG wahrscheinlich für die Prozessierung statischer Gesichtsstrukturen zuständig ist, wobei eine Voraussetzung dafür die vollständige Präsentation eines Gesichts zu sein scheint.

### **7.2.2.2 Visueller Cortex**

Im Bereich des visuellen Cortex des Occipitallappens wurden ausgedehnte Aktivierungen in Verbindung mit sozialen Hinweisreizen ermittelt. Die Aktivierungen im rechtsseitigen

Gyrus occipitalis inferior (IOG) unterstützen in der Literatur beschriebene Hinweise auf eine Selektivität der Region für die Verarbeitung von betrachteten Gesichtern. Der IOG übernimmt im Modell von Haxby et al. (2002) (vgl. Kapitel 2.3.1) eine zentrale Funktion in der frühen Wahrnehmung von Gesichtsmerkmalen und deren Vorverarbeitung für den FFG und den STS, auf die der IOG mit seinen Nervenfasern projiziert. Dabei scheint der IOG, ähnlich dem FFG, insbesondere an der Prozessierung statischer Gesichtsmerkmale beteiligt zu sein (vgl. Hoffman & Haxby, 2000; Lee et al., 2010; Pitcher et al., 2011).

Auch für den Cuneus wird eine Aufgabe in der kognitiven Verarbeitung von Gesichtern sowie von emotionalen Gesichtsausdrücken angenommen (vgl. Nomi et al., 2008; Palejwala et al., 2021). Daneben wird dem Cuneus eine Funktion in der basalen visuellen Prozessierung räumlicher Parameter wie Szenenfrequenz, Orientierung, Bewegung, Richtung und Geschwindigkeit zugeschrieben (vgl. Grill-Spector & Malach, 2004; Palejwala et al., 2021; Parker et al., 2014). Aufgrund der Beschaffenheit des sozialen Hinweisreizes als unbewegte Fotografie eines Gesichts sowie der grundsätzlichen Versuchsanordnung als räumliche Orientierungsaufgabe erscheint die Aktivierung des rechten Cuneus mit den in der Literatur beschriebenen Funktionen vereinbar.

Der Cuneus sowie der Calcarine Cortex repräsentieren in ihrer Masse den Großteil des primären visuellen Cortex (Brodmann Areal 17) (vgl. Baker et al., 2018; Parker et al., 2014). Der Calcarine Cortex wird mit der direkten Prozessierung visueller Stimuli, insbesondere aus der kontralateralen Fovea, assoziiert (Baker et al., 2018; Wandell et al., 2007). Aufgrund der eher allgemeinen Funktionen des Calcarinen Cortex in der basalen visuellen Verarbeitung erscheint eine Aktivierung allein durch die größere Komplexität (z.B. in Bezug auf Helligkeitsunterschiede und Kontur) der sozialen im Kontrast zu den nicht-sozialen Hinweisreizen plausibel. Dafür würde auch die Beobachtung von zusätzlichen bilateralen Aktivierungen im Calcarinen Cortex bei der Applikation von sozialen Zielreizen in Trials mit sozialen Hinweisreizen sprechen, da das Gesehene dadurch an Komplexität zugenommen hatte.

In einem Areal des linken Gyrus occipitalis superior (SOG) wurde eine Aktivierung nur bei der Kombination von sozialen Hinweis- mit nicht-sozialen Zielreizen erfasst. Todorov & Engell (2008) konnten in einer fMRT-Studie zeigen, dass der rechte SOG bei der Bewertung von betrachteten Gesichtern, bspw. in Bezug auf Vertrauenswürdigkeit, aktiviert wurde. Eine Untersuchung von Blonder et al. (2004) konnte hingegen eine stärker Aktivierung des SOG bei der Betrachtung der Abbildung eines Hauses im Vergleich zu der eines Gesichts feststellen. Beide Ergebnisse erscheinen widersprüchlich zueinander, wie

auch die Beobachtung in der vorliegenden Untersuchung, dass eine Aktivierung des SOG nicht auch in Trials mit sozialen Hinweis- und Zielreizen aufgetreten war. Insgesamt lassen sich nur wenige Forschungsergebnisse in Bezug auf eine Aktivierung des SOG in Gaze-Cueing-Studien finden, weshalb eine Einordnung des Ergebnisses nur unzureichend erfolgen kann und weiterer Forschung bedarf.

### **7.2.3 Aktivierungen bei nicht-sozialen Hinweisreizen**

#### **7.2.3.1 Gyrus occipitalis medius**

Für die nicht-sozialen Hinweisreize konnten sowohl in Verbindung mit sozialen als auch mit nicht-sozialen Zielreizen bilaterale Aktivierungen im Gyrus occipitalis medius (MOG) ermittelt werden. Da der MOG nicht bei sozialen Hinweisreizen aktiviert wurde, kann für diesen eine Spezifität für die Verarbeitung von Pfeilhinweisreizen angenommen werden. Dies steht im Einklang mit Ergebnissen von Lockhofen et al. (2014), welche für die gleichen symbolischen Hinweisreize ebenfalls beidseitige Aktivierungen im MOG aufzeigen konnten. Sato et al. (2009) stellten Aktivierungsdifferenzen im MOG bei der Kontrastierung von nicht-direktionalen symbolischen mit direktionalen Pfeilhinweisen fest. Dies legt die Vermutung nahe, dass der MOG vor allem an der neurokognitiven Verarbeitung der richtungsanzeigenden, oder allgemeiner der asymmetrischen, Komponente von symbolischen Reizen beteiligt zu sein scheint.

#### **7.2.3.2 Lobulus parietalis superior**

Bei der Kombination von nicht-sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen wurde ein Areal des linken Lobulus parietalis superior (SPL) aktiviert. Dieser wird von einigen Autoren dem dorsalen Aufmerksamkeitssystem zugeordnet, welchem insbesondere eine Funktion in der endogenen Aufmerksamkeitssteuerung beigemessen wird (vgl. Chica et al., 2013; Corbetta & Shulman, 2002; Japee et al., 2015; vgl. auch Kapitel 2.6). Daraus könnte geschlossen werden, dass bei besagter Reizkombination ein zumindest teilweise willkürlich gesteuerter Aufmerksamkeitsprozess stattgefunden hat. Dieser könnte von dem applizierten sozialen Zielreiz abhängig gewesen sein, da bei der Kombination von nicht-sozialen Hinweis- und Zielreizen keine Aktivierung des SPL ermittelt werden konnte.

Dagegen spricht die Beobachtung von Lockhofen et al. (2014) in einer Untersuchung mit den gleichen nicht-sozialen Hinweisreiz-Typen und ähnlichen symbolischen Zielreizen, bei welcher der SPL bilateral aktiviert wurde. Daraus ließe sich ableiten, dass für die

Aktivierung des SPL nicht spezifischerweise soziale Zielreize notwendig sind. In einer Studie von Cona et al. (2017) mit dem Einsatz von repetitiver transkranieller Magnetstimulation ergaben sich Hinweise darauf, dass der superiore parietale Cortex eine Rolle in der Vermittlung zwischen Inhalten des Arbeitsgedächtnis und exogenen Stimuli übernehmen könnte. Dies würde die Vermutung unterstützen, dass die Versuchspersonen möglicherweise eine Art „Arbeitskopie“ des sozialen Zielreizes in ihrem prospektiven Gedächtnis internalisierten, welche beim nächsten Trial mit sozialem Zielreiz implizit wiedererkannt worden sein könnte (vgl. dazu auch Kapitel 7.2.1.2).

#### **7.2.4 Keine Aktivierungsdifferenzen bei den miteinander kontrastierten Zielreiz-Typen**

In der vorliegenden Untersuchung konnten keine Aktivierungsdifferenzen für die beiden direkt miteinander kontrastierten Zielreiz-Typen, sowohl in Kombination mit sozialen als auch mit nicht-sozialen Hinweisreizen, erfasst werden.

Eine mögliche Erklärung dafür könnte die Betrachtung der Präsentationsdauer der Zielreize liefern. Die Testpersonen sollten auf deren Erscheinen in ihrem Blickfeld möglichst schnell reagieren, woraufhin die Zielreize unmittelbar ausgeblendet wurden. Dies bedingte eine sehr kurze Zeitspanne für die Sichtbarkeit der Zielreize und daraus folgend eine sehr kurze neuronale Verarbeitungszeit.

Gleichwohl wurden Aktivierungsunterschiede für die kontrastierten Hinweisreiz-Typen in Abhängigkeit von der Entität des Zielreizes gefunden. Für soziale Hinweisreize konnten, im Kontrast zu nicht-sozialen Hinweisreizen, unter der sozialen Zielreizbedingung zusätzliche Aktivierungen detektiert werden. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass der soziale Hinweisreiz-Typ bedeutsamer für die Aktivierung der in Kapitel 7.2.1 diskutierten Areale zu sein schien als der soziale Zielreiz-Typ. Diese Überlegung wird durch den, in der Berechnung der Verhaltensdaten ermittelten, größeren Haupteffekt des Hinweisreiz-Typs ( $p\eta^2=0.17$ ) im Vergleich zum Haupteffekt des Zielreiz-Typs ( $p\eta^2=0.09$ ) in Bezug auf die Effektstärke unterstützt. Jedoch scheint die soziale Zielreiz-Bedingung entscheidend für die genannten Aktivierungen, da unter der nicht-sozialen Zielreiz-Bedingung keine Involvierung jener Areale stattfand. So kann angenommen werden, dass der Zielreiz-Typ zumindest einen Einfluss auf neurokognitive Prozesse in der Verarbeitung der sozialen Hinweisreize im Rahmen der geforderten Aufmerksamkeitsleistung hatte.

### 7.2.5 Das Ausbleiben erwartbarer Aktivierungen

In der vorliegenden Untersuchung konnten keine Aktivierungen nachgewiesen werden, welche im Modell von Pfeiffer et al. (2013) zu den neurophysiologischen Grundlagen von Joint-Attention-Prozessen (JA) dem Spiegelneuronen-System (rechter Gyrus frontalis inferior (IFG)) und dem motivational-affektiven System (Amygdala, medialer präfrontaler Cortex (mPFC), orbitofrontaler Cortex (OFC), ventrales Striatum (VS)) zugeordnet werden (vgl. Kapitel 2.5). Da durch das Studiendesign auf der Basis des Gaze-Cueing-Paradigmas die Herstellung einer JA-ähnlichen Situation intendiert wurde, konnten Aktivierungen in genannten Arealen erwartet werden.

Deren Abwesenheit könnte ursächlich in dem ausbleibenden Kongruenz-Effekt bei sozialen Hinweisreizen begründet sein. Durch dessen Fehlen ist nicht klar eruierbar, ob die Testpersonen ihren Blick an den Augen der Portraitfotografie ausgerichtet haben. Vielmehr kann vermutet werden, dass der richtungsanzeigende Blickreiz der sozialen Hinweisreize keine Relevanz für die Reaktion der Teilnehmenden gehabt zu haben scheint, da diese in Trials mit nicht-sozialen Zielreizen vergleichbare Reaktionen auf der Verhaltensebene zeigten. Daneben konnte ein Erleichterungseffekt in Bezug auf die Reaktionszeiten bei der Kombination von sozialen Hinweis- und Zielreizen beobachtet werden, der unabhängig von der Kongruenz-Bedingung aufgetreten war. Insgesamt kann damit davon ausgegangen werden, dass in der vorliegenden Untersuchung keine verhaltensrelevante JA-ähnliche Situation produziert wurde, wodurch die fehlende Aktivierung von typischerweise mit JA assoziierten Hirnarealen erklärbar würde.

Eine weitere Interpretationsmöglichkeit für das Ausbleiben von Aktivierungen in den o.g. mit JA in Verbindung gebrachten Regionen bieten Erkenntnisse darüber, dass einige der Areale, wie die Amygdala (vgl. Burra et al., 2013; George et al., 2001; Kawashima et al., 1999; Wicker et al., 2003), der IFG (vgl. Cavallo et al., 2015; Pfeiffer et al., 2013; Saito et al., 2010) und der mPFC (vgl. Cavallo et al., 2015), vornehmlich durch die Betrachtung eines direkten Blicks aktiviert werden. Dadurch könnten die fehlenden Aktivierungen plausibel werden, denn in der vorliegenden Untersuchung wurden nur Hinweisreize mit abgewandtem Blick verwendet. Andere Untersuchungsergebnisse stellen diese Annahme wiederum infrage, da sie gegenteilig eher Aktivierungen durch einen abgewandten bzw. direktionalen Blick in der Amygdala (Akiyama et al., 2007; Okada et al., 2008; Sato et al., 2009) und im IFG (vgl. Engell et al., 2010; Sato et al., 2009; Tipper et al., 2008)

feststellen konnten. In der Zusammenschau erscheinen die Ergebnisse zu einer unterschiedlichen Involvierung von Amygdala und IFG in Bezug auf die Art des Blicks (direkt vs. abgewandt) teils widersprüchlich, und bedürfen weiterer Forschung.

Zuletzt kann das Design der vorliegenden Untersuchung als Faktor für das Ausbleiben von Aktivierungen in den o.g. kortikalen Arealen herangezogen werden. Es konnte gezeigt werden, dass jene Hirnareale bei interaktiven JA-Aufgaben, wie z.B. „face-to-face“-Video-Streaming, aktiviert werden (vgl. Redcay et al., 2012; Schilbach et al., 2010). In diesen ist nicht nur das passive Betrachten eines Stimulus („Responding-Joint-Attention“), sondern auch das Hervorrufen von JA in einer anderen Person durch eigene Aktion („Initiating-Joint-Attention“) möglich (Mundy & Newell, 2007).

In der vorliegenden Untersuchung wurde hingegen ein eher statischer Versuchsaufbau gewählt, bei dem eine dynamische Interaktion zwischen der Versuchsperson und dem als Hinweisreiz fungierenden Objekt nicht möglich war. Dieser Versuchsaufbau könnte entsprechend eher als artifiziell wahrgenommen worden sein. Durch die Applikation von sozialen Zielreizen wurde zwar versucht, die Involviertheit der Testpersonen in die potenzielle JA-Situation zu erhöhen, sodass eine Aktivierung des mPFC, des OFC sowie des VS denkbar gewesen wäre. Da dies nicht der Fall war, legen die Ergebnisse der eigenen und anderer Studien mit ähnlichem Design (vgl. z.B. Engell et al., 2010; Lockhofen et al., 2014; Sato et al., 2009) den Schluss nahe, dass statische Gaze-Cueing-Paradigmen nur begrenzt JA-Prozesse reproduzieren können. Für eine vollständige Bewertung der an JA-Prozessen beteiligten Hirnareale scheinen entsprechend eher Studiendesigns mit annähernd realen Bedingungen hinreichend zu sein.

### **7.3 Zusammenfassung und Fazit in Bezug auf die Hauptfragestellung**

Auf der Verhaltensebene wurden varianzanalytisch ein Kongruenz-Effekte für nicht-soziale Hinweisreize ermittelt. Dies bestätigt Erkenntnisse aus vorhergehenden Untersuchungen mit dem Einsatz von Pfeilhinweisreizen in zentralen Cueing-Paradigmen (vgl. u.a. Akiyama et al., 2006; Callejas et al., 2014; Hietanen et al., 2006; Tipples, 2002). Bemerkenswert erscheint, dass der Erleichterungseffekt auch in Kombination mit sozialen Zielreizen auftrat. Dazu können in der Literatur keine Erkenntnisse gefunden werden, da bisherige Studien mit zentralem Cueing-Paradigma, nach Wissensstand des Autors, ausschließlich symbolische Zielreize verwendeten. Der Befund spricht, in Anbetracht der

kurzen SOA von 100 ms, für eine reflexive neurokognitive Verarbeitung von nicht-sozialen Pfeilhinweisreizen.

In Verbindung mit sozialen Hinweisreizen wurden hingegen keine Kongruenz-Effekte festgestellt. Dies könnte zum einen darin begründet sein, dass die Augenpartie der sozialen Hinweisreize von den Versuchspersonen aufgrund einer Fehlinterpretation des Blicks, einer zu großen Komplexität der Hinweisreize in ihrer Darstellung eines menschlichen Gesichts oder einer fehlenden dynamischen Komponente, nicht als Richtungsinformation wahrgenommen wurde. Zum anderen könnten intraindividuelle Eigenschaften der Teilnehmenden wie Alter, Geschlecht oder Autismus-Merkmale ursächlich sein, für die eine Abhängigkeit des Gaze-Cueing-Effekts beschrieben wurde (vgl. Bayliss et al., 2005; Bayliss & Tipper, 2005; Slessor et al., 2016). Auch geht ein Ausbleiben des Kongruenz-Effekts einher mit übereinstimmenden Ergebnissen von Gaze-Cueing-Studien mit ähnlichen naturalistischen Hinweisreizen, welche ebenfalls keinen Kongruenz-Effekt ermitteln konnten (vgl. Bayliss & Tipper, 2005; Driver et al., 1999; Lockhofen et al., 2014). Erstaunlicherweise konnte für soziale Hinweisreize ein robuster Erleichterungseffekt in Bezug auf die Reaktionszeiten, unabhängig von der Kongruenz-Bedingung, beobachtet werden, wenn soziale Zielreize eingesetzt wurden. Dieser überstieg in der Effekstärke sogar den Kongruenz-Effekt durch die nicht-sozialen Hinweisreize. Ursächlich dafür könnte eine erhöhte Salienz von sozialen Reizen im Allgemeinen sein, wofür Rösler et al. (2017) Belege lieferten. Da jedoch das gemeinsame Auftreten beider sozialer Reiz-Typen für den Erleichterungseffekt entscheidend war, könnte auch eine Salienzsteigerung durch eine von den Testpersonen möglicherweise als relevanter eingestufte soziale Situation oder durch prospektive Gedächtnisprozesse entstanden sein. Hinweise darauf konnten durch die während der Aufmerksamkeitsleistung erhobene hämodynamische Aktivierung mittels fMRT gefunden werden.

Als neurophysiologisches Korrelat des Erleichterungs-Effekts der Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen wurden spezifische Aktivierungen rechtsseitig im posterioren Gyrus temporalis medius (pMTG/pSTS; vgl. Kapitel 7.2.1.1), bilateral im Gyrus lingualis (LG), sowie rechtsseitig im Gyrus frontalis medius (MFG) detektiert. In der Zusammenschau der behavioralen und hämodynamischen Korrelate kann dadurch von einem reflexiven bzw. exogen gesteuerten Aufmerksamkeitsprozess in der neurokognitiven Verarbeitung der sozialen Reiz-Typ-Kombination ausgegangen werden. Für die Aktivierungen genannter Areale können verschiedene Erklärungsmöglichkeiten angeführt werden.

In Bezug auf die Aktivierungen im pMTG/pSTS und im LG kann vermutet werden, dass das Gesehene durch die zusätzliche Applikation des sozialen Zielreizes von den Teilnehmenden eher als soziale Situation wahrgenommen worden sein könnte als die Variablenbedingungen mit sozialem Hinweisreiz und nicht-sozialem Zielreiz. Dadurch könnten kognitive Verarbeitungsanreize zur Interpretation von Intentionalität und Kontext der Situation geschaffen worden sein. Dahingehend konnten sowohl für den pMTG/pSTS (vgl. Carlin & Calder, 2013; Pelphrey et al., 2003; Pfeiffer et al., 2013; Redcay, 2008; Senju & Johnson, 2009) als auch für den LG (vgl. Brunet et al., 2000; Kronbichler et al., 2017; Redcay et al., 2010; Wlodarski & Dunbar, 2016) Hinweise auf eine Beteiligung an der neurokognitiven Verarbeitung von visuell wahrgenommenen sozialen Kontexten, welche Joint-Attention- und Theory-of-Mind-Fähigkeiten erfordern, gefunden werden.

Einen weiteren Erklärungsansatz für die Aktivierung des LG sowie des MFG bietet die Annahme, dass bei der Verarbeitung beider sozialer Reiz-Typen ein visueller impliziter Gedächtnisprozess stattgefunden hat. Möglicherweise wurde der soziale Zielreiz in vorangegangenen Trials ins Arbeitsgedächtnis der Teilnehmenden internalisiert. In darauffolgenden Trials könnte durch den sozialen Hinweisreiz eine Bereitschaft zur Reaktion auf die sozialen Zielreize entstanden sein. Dies würde auch den Erleichterungseffekt für die soziale Stimuluskombination plausibel werden lassen. Für den LG wurde eine Funktion im Arbeitsgedächtnis beschrieben, die damit in Verbindung gebracht werden kann (vgl. Bogousslavsky et al., 1987; Kozlovskiy et al., 2014; Palejwala et al., 2021). Der MFG wird klassischerweise dem ventralen Aufmerksamkeitssystem zugeordnet, welchem die Prozessierung exogen gesteuerter Aufmerksamkeit zugeschrieben wird (vgl. Chica et al., 2011; Corbetta & Shulman, 2002; Fox et al., 2006; Japee et al., 2015). Die Annahme einer durch einen endogenen Gedächtnisprozess beeinflussten Verarbeitung der sozialen Reize als exogene Stimuli (s.o.) stützen in der Literatur beschriebene Hinweise auf eine Schnittstellenfunktion des MFG zwischen ventralem und dorsalem Aufmerksamkeitssystem (vgl. Fox et al., 2006; Japee et al., 2015). Auch könnte dadurch die Aktivierung eines Areals im linken Lobulus parietalis superior (SPL) bei der Kombination von nicht-sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen erklärbar werden. Dem SPL wird klassischerweise eine Funktion in der endogenen Aufmerksamkeitssteuerung beigemessen (vgl. Chica et al., 2013; Corbetta & Shulman, 2002; Japee et al., 2015). Ähnlich wie für den MFG ergaben sich Anhaltspunkte für eine Rolle des SPL in der Vermittlung von Inhalten des Arbeitsgedächtnis und exogenen Stimuli (vgl. Cona et al., 2017).

Neben den genannten Hirnarealen wurden weitere Aktivierungen in Regionen erfasst, die sowohl bei der Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen als auch mit nicht-sozialen Zielreizen auftraten. Diese umfassten Areale bilateral im Gyrus fusiformis (FFG) und Calcarinen Cortex, sowie rechtsseitig im Cuneus und Gyrus occipitalis inferior (IOG). Das beschriebene Aktivierungsmuster scheint weniger von der Aufmerksamkeitsleistung oder von der Art des Zielreizes, sondern vielmehr vom Hinweisreiz-Typ abhängig gewesen zu sein. Diesbezüglich scheint vor allem die Präsentation naturalistischer Fotografien von Gesichtern von Bedeutung zu sein. Für den FFG und den IOG wurde vielfach eine spezifische Involvierung in die Prozessierung statischer Gesichtsmerkmale postuliert (vgl. Blonder et al., 2004; George et al., 2001; Grill-Spector & Malach, 2004; Hoffman & Haxby, 2000; Lee et al., 2010). In Übereinstimmung mit anderen Gaze-Cueing-Studien (vgl. Callejas et al., 2014; Lockhofen et al., 2014; Sato et al., 2009) kann des Weiteren angenommen werden, dass für eine Aktivierung des FFG die Darstellung eines vollständigen (naturalistischen oder schematischen) Gesichts notwendig ist. Dem Cuneus wurde zwar auch eine Rolle in der Verarbeitung von Gesichtern beigemessen (vgl. Nomi et al., 2008; Palejwala et al., 2021). Jedoch kann für diesen, sowie auch für den Calcarinen Cortex, aufgrund von eher allgemeinen Funktionen in der basalen visuellen Verarbeitung (vgl. Baker et al., 2018; Grill-Spector & Malach, 2004; Palejwala et al., 2021; Parker et al., 2014; Wandell et al., 2007) auch eine Aktivierung allein durch die größere Komplexität und Helligkeitsunterschiede der sozialen im Kontrast zu den nicht-sozialen Hinweisreizen vermutet werden.

Für die bilateralen Aktivierungen im Gyrus occipitalis medius (MOG) in Verbindung mit sozialen als auch mit nicht-sozialen Zielreizen kann übereinstimmend mit anderen Untersuchungen (vgl. Lockhofen et al., 2014; Sato et al., 2009) eine Spezifität für direktionale Pfeilhinweisreize angenommen werden.

Insgesamt sind die ausgeführten Interpretationen mit Einschränkungen verbunden, da, nach dem Wissensstand des Autors, bisher keine weiteren Gaze-Cueing-Studien mit ähnlich kurzer SOA und sozialen Zielreizen durchgeführt wurden. Durch das Ausbleiben des Kongruenz-Effekts in Verbindung mit den sozialen Hinweisreizen ist es sehr wahrscheinlich, dass die Versuchspersonen während der Bearbeitung der Reaktionszeitaufgabe nicht in eine JA-ähnliche Situation involviert worden waren. Damit wurde die im Vorhinein intendierte soziale Aufmerksamkeitsreaktion vermutlich nicht initiiert, was auch die teilweise fehlenden Aktivierungen in mit JA und ToM assoziierten

Hirnregionen erklären könnte. In Bezug auf das Studiendesign der vorliegenden Untersuchung sowie anderer Gaze-Cueing-Studien mit naturalistischen Blickhinweisreizen, welche ebenfalls keinen Erleichterungseffekt durch die Kongruenz-Bedingung für Blickhinweisreize aufzeigen konnten, erscheint es zweifelhaft, ob dieses geeignet ist, um JA-Prozesse zu untersuchen. Durch den ermittelten Erleichterungseffekt für die Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen und den damit einhergehenden Aktivierungen ergaben sich jedoch Hinweise auf einen anderen stattgehabten Prozess der reflexiven sozialen Aufmerksamkeitsorientierung. Dieser scheint mit einer speziellen neurokognitiven Verarbeitung insbesondere im pMTG, MFG und LG einhergegangen zu sein. Aus diesem Ergebnis lässt sich auf ein lohnenswertes zukünftiges Forschungsfeld im Bereich der sozialen Aufmerksamkeit schließen. Die unabhängig vom Zielreiz-Typ durch die sozialen Hinweisreize ausgelösten Aktivierungen konnten, insbesondere in Bezug auf den FFG und den IOG, bisherige Ergebnisse aus der Forschung zur selektiven neuronalen Prozessierung von visuell wahrgenommenen Gesichtern bestätigen.

## 8. Diskussion der Befunde zur fMRT-Schichtführung (Nebenfragestellung)

### 8.1 Vergleichbarkeit der fMRT-Schichtführungsgruppen auf der Verhaltensebene (Hypothese 3)

	<i>regulär</i>	<i>geneigt</i>
<b>Kongruenz-Effekt durch soziale Hinweisreize</b>	nein	nein
<b>Kongruenz-Effekt durch nicht-soziale Hinweisreize</b>	ja	nein
<b>Signifikante Interaktionen</b>	Hinweisreiz-Typ x Zielreiz-Typ	Hinweisreiz-Typ x Zielreiz-Typ

**Tabelle 21: Vergleich der varianzanalytischen Ergebnisse der beiden Gruppen mit unterschiedlicher fMRT-Schichtführung (*regulär* vs. *geneigt*).**

Die Verhaltensergebnisse beider Schichtführungsgruppen waren heterogen in Bezug auf Erleichterungseffekte durch die Kongruenz-Bedingung und durch die Reiz-Typ-Kombination (vgl. Tabelle 21).

Kongruenz-Effekte konnten nur in der Gruppe mit regulärer Schichtführung für die Kombinationen von nicht-sozialen Hinweisreizen mit nicht-sozialen sowie sozialen Zielreizen ermittelt werden. Dies legt nahe, dass in den beiden Schichtführungsgruppen eine unterschiedliche neurokognitive Verarbeitung der Kongruenz-Bedingung stattgefunden hatte. Dadurch konnte von keiner ausreichenden Äquivalenz für einen Vergleich der beiden Gruppen hinsichtlich der Kongruenz-Bedingung auf hämodynamischer Ebene ausgegangen werden.

Dagegen konnte in beiden Gruppen varianzanalytisch eine signifikante Interaktion von Hinweisreiz-Typ x Zielreiz-Typ mit hoher Effektstärke festgestellt werden. Diese Interaktion kam in beiden Gruppen vornehmlich durch die Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen zustande. Daraus ließ sich ein deutlicher Erleichterungseffekt in Bezug auf die Reaktionszeiten in beiden Gruppen ableiten. Für die soziale Reiz-Typ-Kombination konnte daher eine ähnliche neurokognitive Verarbeitung angenommen

werden. Auf dieser Basis erschien ein Vergleich der hämodynamischen Korrelate der unterschiedlichen Hinweis- und Zielreiz-Bedingungen mit messverfahrensbedingten Einschränkungen (vgl. Kapitel 9.5) adäquat durchführbar.

## 8.2 Der Einfluss der fMRT-Schichtführung auf die gemessene hämodynamische Aktivierung (Hypothese 4)

Reiz-Typ-Kombination	Aktivierte Hirnareale	
	<i>Reguläre Schichtführung</i>	<i>Geneigte Schichtführung</i>
<i>Sozialer Hinweisreiz, sozialer Zielreiz</i>	Calcariner Cortex (R, L) Gyrus fusiformis (R) Cuneus (R) Gyrus temporalis medius (R, L)	Calcariner Cortex (R, L) Gyrus fusiformis (R)
<i>Sozialer Hinweisreiz, nicht-sozialer Zielreiz</i>	Gyrus fusiformis (R, L) Gyrus occipitalis inferior (R) Cuneus (R) Gyrus occipitalis medius (L) Gyrus lingualis (R)	Gyrus fusiformis (R, L) Gyrus occipitalis inferior (R)
<i>Nicht-sozialer Hinweisreiz, sozialer Zielreiz</i>	-	-
<i>Nicht-sozialer Hinweisreiz, nicht-sozialer Zielreiz</i>	Gyrus occipitalis medius (R)	Gyrus occipital medius (R, L)

**Tabelle 22:** Vereinfachte Darstellung der durch die verschiedenen Hinweis- und Zielreizkombinationen in den beiden Gruppen mit unterschiedlicher fMRT-Schichtführung aktivierten Gehirnareale (*R = Rechts, L = Links; zur Verbesserung der Übersichtlichkeit keine Angabe der Anzahl und Koordinaten der lokalen Aktivierungsmaxima (Peaks), für eine präzisere Darstellung vgl. Kapitel 6.4.*)

Im direkten statistischen Vergleich zwischen den beiden Gruppen mit unterschiedlicher Schichtführung konnten in acht überprüften Kontrasten keine signifikant unterschiedlichen lokalen Aktivierungsmaxima ermittelt werden. Dies weist zunächst darauf hin, dass die Wahl des Schichtführungswinkels in der vorliegenden Untersuchung keinen Einfluss auf die Detektion der Hirnaktivierung hatte.

In der ergänzenden Auswertung der acht Kontraste innerhalb der jeweiligen Schichtführungsgruppe (vgl. Tabelle 22) wurden hauptsächlich Aktivierungen in räumlich eng benachbarten Arealen festgestellt. Diese umfassten bilateral den Calcarinen Cortex, den Gyrus fusiformis und den Gyrus occipitalis medius sowie den rechten Gyrus occipitalis inferior. Da unter beiden Winkelvarianten signifikante Aktivierungen errechnet wurden, kann davon ausgegangen werden, dass der Winkel der Schichtführung für die genannten Regionen keinen Effekt auf die Messung der BOLD-Signale hatte.

Hingegen wurden im rechtsseitigen Cuneus und Gyrus lingualis sowie bilateral im Gyrus temporalis medius nur in der Gruppe mit regulärer Schichtführung signifikante Aktivierungen registriert. Deshalb könnte für diese Areale ein Einfluss des Schichtführungswinkels angenommen werden. Dieser könnte darüber plausibel werden, dass die genannten Hirnregionen an nicht-zerebrale Strukturen angrenzen. Der Gyrus lingualis grenzt nach ventral medial an den äußeren Liquorraum bzw. das Tentorium cerebelli, der Cuneus nach dorsal hin an den äußeren Liquorraum bzw. die Schädelkalotte und der Gyrus temporalis medius nach lateral hin an den äußeren Liquorraum bzw. die laterale Schädelkalotte. Durch unterschiedliche Magnetisierbarkeitseigenschaften der umliegenden Gewebe könnten signalauslöschende Artefakte unter dem geneigten Schichtführungswinkel aufgetreten sein, wie es für inferiore Hirnregionen bspw. von Allkemper (2006) und Deichmann et al. (2003) beschrieben wurde.

Gegen einen Einfluss des Schichtführungswinkels würde jedoch die räumliche Nähe des Cuneus und des Gyrus lingualis zum Calcarinen Cortex, sowie des Gyrus temporalis medius zum Gyrus fusiformis sprechen, da in diesen benachbarten Hirnregionen unter beiden Winkelvarianten bilaterale Aktivierungsmaxima beobachtbar waren. Dies unterstützen auch Befunde von Lockhofen et al. (2014), welche in einer Studie mit sehr ähnlichem Design bei geneigtem Schichtführungswinkel signifikante Aktivierungen im rechten Cuneus und Gyrus temporalis medius aufzeigen konnten.

Einen weiteren Erklärungsansatz für die in den beiden Schichtführungsgruppen ermittelten Unterschiede könnte die Annahme einer unterschiedlichen neurokognitiven Verarbeitung der Reaktionszeitaufgabe in den jeweiligen Gruppen liefern. Eindeutige Hinweise darauf konnten in den Verhaltensdaten der beiden Schichtführungsgruppen vor allem in Bezug auf die Ausprägung des Kongruenz-Effekts gefunden werden. Zwar waren die Verhaltensdaten der Reaktionen auf die verschiedenen Reiz-Typ-Kombinationen ähnlich, jedoch wurden auch hier geringe Unterschiede in den Effektstärken ermittelt. Dies könnte auf intraindividuelle Unterschiede in der neurokognitiven Verarbeitung zurückzuführen

sein, was wahrscheinlich eine unterschiedliche neuronale Hämodynamik zur Folge gehabt hätte (vgl. dazu Kapitel 9.5).

Zusammengenommen bieten die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung wenig Anhaltspunkte für einen bedeutenden Einfluss des Schichtführungswinkels auf die Detektion der hämodynamischen Aktivierung in der fMRT. Es konnten insgesamt nur geringe Differenzen in der BOLD-Signalausprägung zwischen den beiden Gruppen mit unterschiedlicher Schichtführung ermittelt werden. Diese können ursächlich am ehesten mit einer unterschiedlichen neurokognitiven Verarbeitung der Reaktionszeitaufgabe in den jeweiligen Gruppen erklärt werden.

## **9. Limitationen**

### **9.1 Eingrenzung der betrachteten Variablen**

Das in der vorliegenden Arbeit verwendete Studiendesign wurde in abgewandelter Form bereits in vorangegangenen Studien der Arbeitsgruppe CNS@ZPG zur Überprüfung anderer Fragestellungen eingesetzt. Deshalb wurden auch Variablen erhoben, welche die Hauptthematik der Arbeit nicht direkt betrafen. Da deren Untersuchung zur Beantwortung der Fragestellung dieser Arbeit nicht notwendig erschien, wurde die Analyse der erhobenen Daten auf die wesentlichen Variablenkombinationen beschränkt.

#### **9.1.1 Keine Analyse der SOA-Bedingung von 800 ms**

Das Hauptziel der vorliegenden Untersuchung war es mögliche Unterschiede in der visuellen reflexiven Aufmerksamkeitsorientierung durch soziale und nicht-soziale (symbolische) Reize zu ermitteln. Dazu wurden die Reaktionen der Testpersonen nur unter der SOA-Bedingung von 100 ms betrachtet. Die im Studiendesign ebenfalls enthaltene SOA-Bedingung von 800 ms wurde hingegen nicht berücksichtigt, da unter einer verlängerten Darbietung des Hinweisreizes vermehrt von Top-Down-gesteuerten bzw. willkürlichen Aufmerksamkeitsprozessen ausgegangen werden kann (vgl. Driver et al., 1999; Frischen et al., 2007; vgl. auch Kapitel 2.2.2 und 2.2.3). Darauf weisen auch Ergebnisse von Cu-ing-Studien hin, die bei längerer SOA keinen Kongruenz-Effekt ermitteln konnten (Friesen & Kingstone, 1998 mit SOA 1005ms; Frischen & Tipper, 2004 mit SOA 1200 ms und 2400 ms; Greene et al., 2009 mit SOA 950 ms). Eine Auswertung der SOA-Bedingung von 800 ms könnte jedoch weitere Erkenntnisse in Bezug auf die Differenzierung von reflexiven und willkürlichen Aufmerksamkeitsprozessen erbringen und damit Gegenstand zukünftiger Forschung werden.

#### **9.1.2 Keine Analyse der hämodynamischen Aktivierung durch die Kongruenz-Bedingung**

In der Auswertung der hämodynamischen Aktivierung wurden soziale mit nicht-sozialen Reizbedingungen kontrastiert, um Korrelate der reflexiven sozialen Aufmerksamkeitsorientierung zu detektieren. Dafür schien die Analyse der Kongruenz-Bedingung nicht ziel-

führend, da in der zunächst durchgeführten Auswertung der Verhaltensdaten ein Kongruenz-Effekt nur für nicht-soziale, nicht jedoch für soziale Hinweisreize erhoben werden konnte. Jedoch wurde bei der Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen ein, unabhängig von der Kongruenz-Bedingung auftretender, Erleichterungseffekt in Bezug auf die Reaktionszeiten ermittelt. In der Analyse der hämodynamischen Aktivierung erschien es deshalb sinnvoll, sich auf die Kontrastierung zwischen sozialen und nicht-sozialen Reizbedingungen zu fokussieren und keine Analyse der Kongruenz-Bedingung durchzuführen.

## **9.2 Limitationen durch die Stichprobe und individuelle Einflussfaktoren**

In der vorliegenden Untersuchung wurden individuelle Störvariablen wie das Alter oder der Gesundheitszustand, welche die Aufmerksamkeitsleitung beeinflussen könnten, über eine kriterienassoziierte Vorauswahl der Teilnehmenden kontrolliert (vgl. Kapitel 5.1). Um den Einfluss des biologischen Geschlechts zu kontrollieren, wurde eine annähernd gleiche Anzahl von Männern und Frauen untersucht ( $m=28:w=24$ ). Diese wurden in gleichen Verhältnissen auf die einzelnen Gruppen in Bezug auf die fMRT-Schichtführung und den Beginn des experimentellen Teils der Untersuchung mit sozialen oder nicht-sozialen Zielreizen verteilt (vgl. Kapitel 5.3). Die Kontrolle genannter Störvariablen schien von Bedeutung, da vorangegangene Untersuchungen zeigen konnten, dass das Auftreten des Gaze-Cueing-Effekts z.B. mit dem Alter (Slessor et al., 2016), dem biologischem Geschlecht (Alwall et al., 2010; Bayliss et al., 2005) oder autistischen Persönlichkeitszügen (Bayliss et al., 2005; Bayliss & Tipper, 2005) zusammenhängen kann.

Trotz der getroffenen Maßnahmen können individuelle Einflüsse auf die vorliegenden Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden. Um eine Differenzierung der genannten Einflussfaktoren zu erreichen, könnten in zukünftigen Untersuchungen zusätzliche individuenbezogene Variablen in die Analyse integriert werden.

Eine Repräsentativität der Ergebnisse kann durch die Begrenzung der Versuchspersonenanzahl auf 52 Personen nur eingeschränkt angenommen werden. Diese könnte durch eine größere Stichprobe erhöht werden.

### 9.3 Limitationen durch das fMRT-Messverfahren

Im verwendeten fMRT-Messverfahren wurden statistisch signifikante Unterschiedswahrscheinlichkeiten für die hämodynamische Aktivierung definierter Hirnregionen erfasst. Dies ermöglichte eine Differenzierung der unter sozialen und nicht-sozialen Reizbedingungen ermittelten Gehirnaktivierung. Daraus ergibt sich die Limitation, dass die bei unterschiedlichen Variablenkombinationen möglicherweise ausgelösten überlappenden neuronalen Aktivierungen nicht erfasst werden konnten.

Des Weiteren erlaubt das Messverfahren keine Quantifizierung der tatsächlichen Größe der hämodynamischen Aktivierung.

Daneben kann die Variation des fMRT-Schichtführungswinkels als Limitation betrachtet werden. Dadurch entstand eine messmethodische Störvariable, welche zu einer Verzerrung der ermittelten hämodynamischen Korrelate der Gesamtgruppe zur Überprüfung der Hypothese 2 geführt haben könnte. Diese wurde so gesehen durch die Untersuchung der Hypothese 3 und 4 kontrolliert. Hierbei ergaben sich keine wesentlichen Hinweise auf einen Effekt des Schichtführungswinkels (vgl. Kapitel 8). Trotzdem kann ein möglicher Einfluss nicht ausgeschlossen werden, sodass eine Messung unter einheitlichem Winkel in zukünftigen Untersuchungen diese Störvariable vermeiden würde.

### 9.4 Validität in Bezug auf die Hauptfragestellung

In Bezug auf das Studiendesign kann die Frage gestellt werden, ob die erhobenen Daten dazu geeignet sind, Korrelate reflexiver sozialer Aufmerksamkeitsprozesse abzubilden.

In diversen vorherigen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Cueing-Paradigmen mit zentralen Blick- und Pfeilhinweisreizen genutzt werden können, um reflexive Komponenten visueller räumlicher Aufmerksamkeitsprozesse zu operationalisieren (vgl. Akiyama et al., 2008; Engell et al., 2010; Friesen & Kingstone, 1998; Galfano et al., 2012; Greene et al., 2009; Hietanen et al., 2006; Joseph et al., 2015; Quadflieg et al., 2004; Ristic et al., 2002; Sato et al., 2009; Tipper et al., 2008). Insbesondere Erleichterungseffekte in Bezug auf die Reaktionszeiten durch die Präsentation kongruenter Blickhinweisreize wurden vielfach als Korrelate von Joint-Attention (JA), einem basalen sozialen Aufmerksamkeitsprozess, interpretiert (vgl. Carlin & Calder, 2013; Frischen, Bayliss, et al., 2007; Itier & Batty, 2009; Mundy, 2018; Pfeiffer et al., 2013).

Diese Annahme wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung in Frage gestellt. Durch das Ausbleiben des Kongruenz-Effekts in Verbindung mit den sozialen

Hinweisreizen ist es wahrscheinlich, dass die Versuchspersonen nicht in eine JA-ähnliche Situation involviert worden waren. Damit wurde der im Vorhinein intendierte soziale Aufmerksamkeitsprozess vermutlich nicht initiiert. Auch andere Gaze-Cueing-Studien mit ähnlichen naturalistischen Hinweisreizen konnten keine Kongruenz-Effekte für Blickhinweisreize aufzeigen (vgl. Bayliss & Tipper, 2005; Driver et al., 1999; Lockhofen et al., 2014; für eine Diskussion dieser Befunde vgl. Kapitel 7.1). Zusammengenommen erscheint es deshalb zweifelhaft, ob Gaze-Cueing-Paradigmen mit von vollständigen Gesichtsstrukturen umgebenen Blickhinweisreizen geeignet sind, um JA-Prozesse zu untersuchen.

Durch den varianzanalytisch ermittelten Erleichterungseffekt für die Kombination von sozialen Hinweis- mit sozialen Zielreizen unabhängig von der Kongruenz-Bedingung und die damit einhergehenden hämodynamischen Aktivierungen ergaben sich jedoch Hinweise auf einen anderen stattgehabten spezifischen reflexiven sozialen Aufmerksamkeitsprozess. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass in der vorliegenden Untersuchung Korrelate der reflexiven sozialen Aufmerksamkeitsorientierung abgebildet wurden. Diese betreffen jedoch eher die sozialen Hinweisreize in ihrer gesamten Physiognomie und die zusätzliche Applikation von sozialen Zielreizen als die Blickhinweiskomponente als solche (vgl. Kapitel 7.1 und 7.2). Zu diesem Befund lassen sich jedoch keine konkreten Daten in der bisherigen Forschung finden, da, nach Wissensstand des Autors, keine anderweitigen Gaze-Cueing-Studien mit ähnlich kurzer SOA sowie naturalistischen sozialen Hinweis- und Zielreizen durchgeführt wurden. Dahingehend liefern die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung Anhaltspunkte für ein lohnenswertes zukünftiges Forschungsfeld im Bereich der sozialen Aufmerksamkeit. Des Weiteren ergeben sich durch das Studiendesign bedingte Faktoren, welche die Validität einschränken. So kann das verwendete Konzept kein vollständig authentisches Abbild einer natürlicherweise auftretenden sozialen Interaktion replizieren. Schon die Untersuchung an sich stellt, z.B. durch die externe Beobachtung der Teilnehmenden oder durch deren Raumposition (liegend im fMRT-Scanner), eine artifizielle Situation dar. Ebenso ist der Versuchsaufbau nur bedingt realitätsnah, da statische Fotografien als soziale Reize verwendet wurden. Dadurch fehlte insbesondere eine dynamische Reizkomponente, wodurch die Komplexität der simulierten Interaktionssituation reduziert wurde. Untersuchungen mit naturalistischer und dynamischer Simulation von JA-Situationen (z.B. mit Live-Interaktionen oder Situationen in virtueller Realität) konnten eine Invol-

vierung von Hirnarealen aufzeigen, die in statischen Versuchsdesigns nicht ermittelt werden konnte (vgl. Redcay et al., 2012; Schilbach et al., 2010). Dies scheint dem Erfordernis zusätzlicher kognitiver Prozesse geschuldet zu sein (vgl. Mundy, 2018; Mundy & Jarrod, 2010). Insofern bedingt der statische Versuchsaufbau eine Limitation in der Beurteilung komplexer neurophysiologischer Prozesse in Bezug auf die reflexive soziale Aufmerksamkeitsorientierung. Gleichzeitig wurde durch die Reduktion der Komplexität ermöglicht, den Fokus auf basale reflexive soziale Aufmerksamkeitsprozesse zu richten.

### **9.5 Validität in Bezug auf die Nebenfragestellung**

Der Vergleich von interindividuellen Daten zur Hirnaktivierung bedingt eine nicht eindeutig quantifizierbare Störvariable: Die Individualität des einzelnen Nervensystems und dessen inhärente Verarbeitungsprozesse. Einer Kontrolle dieser Störvariable wurde versucht sich anzunähern, indem ein Vergleich der Verhaltensdaten der beiden Schichtführungsgruppen durchgeführt wurde. So konnte die durchschnittliche kognitive Aufmerksamkeitsleistung der Individuen beider Gruppen in Bezug auf die räumliche Orientierung gegenübergestellt werden. In den Verhaltensdaten der beiden Gruppen ergaben sich teilweise Unterschiede (vgl. Kapitel 8.1), wodurch eine Limitation in Bezug auf den Vergleich der fMRT-Daten entstand. Eine größere Validität könnte in zukünftigen Untersuchungen dadurch erreicht werden, dass intra- statt interindividuelle Daten miteinander kontrastiert werden. So könnte bspw. dasselbe Versuchsdesign in zwei unabhängigen Messungen, jeweils unter Implementierung eines unterschiedlichen Schichtführungswinkels, mit derselben Person durchgeführt werden.

## 10. Zusammenfassung

Die visuelle reflexive Aufmerksamkeitsorientierung ist für zwischenmenschliche Interaktionen essenziell und u.a. bei Menschen mit Autismus oder Schizophrenie beeinträchtigt. Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit der Erforschung deren neurophysiologischen Grundlagen.

In der Literatur lässt sich Evidenz dafür finden, dass sowohl zentral präsentierte nicht-prädiktive Blick- als auch symbolische Pfeilhinweisreize eine automatische Orientierung der Aufmerksamkeit in Richtung eines peripheren Zielreizes (sog. „Cueing“) bewirken können. Dahingehend wurde in der vorliegenden Untersuchung ein an Friesen & Kingstone (1998) angelehntes zentrales Cueing-Paradigma eingesetzt, bei dem soziale Blickhinweisreize mit nicht-sozialen Pfeilhinweisreizen verglichen wurden. Zusätzlich wurde der Effekt einer Variation des Zielreizes (sozial vs. nicht-sozial) untersucht. Das Experiment wurde mit 52 gesunden Testpersonen durchgeführt. Die Aufmerksamkeitsleistung wurde durch die Messung von Reaktionszeiten quantifiziert, während in der fMRT hämodynamische Korrelate der Hirnaktivierung erfasst wurden.

Auf der Verhaltensebene konnte varianzanalytisch ein Kongruenz-Effekt nur für nicht-soziale Hinweisreize beobachtet werden. Für soziale Hinweisreize wurde hingegen ein robuster Erleichterungseffekt in Kombination mit sozialen Zielreizen ermittelt, welcher unabhängig von der Kongruenz-Bedingung war. Dadurch ergaben sich Hinweise auf einen anderweitigen stimuluspezifischen reflexiven sozialen Aufmerksamkeitsprozess, welcher durch eine implizite Gedächtnisleistung oder eine Salienzsteigerung durch den sozialen Kontext bedingt gewesen sein könnte. In diesem Zusammenhang wurden spezifische Aktivierungen rechtsseitig im posterioren Gyrus temporalis medius und im Gyrus frontalis medius sowie bilateral im Gyrus lingualis in der fMRT detektiert. Unabhängig vom Zielreiz-Typ und damit von der Reaktionsleistung, konnten Aktivierungen für soziale Hinweisreize bilateral im Gyrus fusiformis und im Calcarinen Cortex, sowie rechtsseitig im Cuneus und Gyrus occipitalis inferior festgestellt werden. Diese bestätigen größtenteils bisherige Befunde zur gesichterselektiven neurokognitiven und basalen visuellen Verarbeitung.

In einer Nebenfragestellung wurde anhand des Vergleichs der fMRT-Daten von zwei Gruppen innerhalb o.g. Stichprobe mit unterschiedlichem Schichtführungswinkel untersucht, ob dieser einen Einfluss auf die gemessene hämodynamische Aktivierung (BOLD)

hatte. Aus den Ergebnissen ergaben sich dafür keine wesentlichen Hinweise. Jedoch erscheint zur Überprüfung dieser Fragestellung ein Studiendesign mit einem Vergleich intraindividuelle anstatt interindividueller Daten valider.

## 11. Summary

Visual reflexive orientation of attention is essential for interpersonal interactions and is impaired in people with autism or schizophrenia, among others. The present work dealt with research into their neurophysiological basis.

There is evidence in the literature that both centrally presented non-predictive gaze cues and symbolic arrow cues can induce an automatic orientation of attention towards a peripheral target stimulus (so-called "cueing"). To that effect, the present study used a central cueing paradigm based on Friesen & Kingstone (1998), in which social gaze cues and non-social arrow cues were compared. In addition, the effect of varying the target stimulus (social vs. non-social) was examined. The experiment was conducted with 52 healthy test subjects. Attentional performance was quantified by measuring reaction times, while hemodynamic correlates of brain activation were recorded in fMRI.

At the behavioral level using variance analysis, a congruence effect could only be observed for non-social cues. For social cues, however, a robust facilitation effect was found in combination with social target stimuli, which was independent of the congruence condition. This provided evidence of an otherwise stimulus-specific reflexive social attention process, which could have been caused by implicit memory or an increase in salience due to the social context. In relation to this, specific activations were detected in the fMRI on the right side in the posterior middle temporal gyrus and in the middle frontal gyrus as well as bilaterally in the lingual gyrus. Regardless of the target stimulus type and thus of the response performance, activations for social cues could be identified bilaterally in the fusiform gyrus and the calcarine cortex, as well as on the right side in the cuneus and the inferior occipital gyrus. These largely confirm previous findings on face-selective neurocognitive and basal visual processing.

In a secondary question, the comparison of the fMRI data from two groups within the above-mentioned sample with different slice orientation angles was used to examine whether this had an influence on the measured hemodynamic activation (BOLD). The results do not provide any substantial evidence for this. However, a study design with a comparison of intra-individual rather than inter-individual data would be more valid for examining this question.

## 12. Abkürzungsverzeichnis

aSTS	anteriorer Sulcus temporalis superior
BOLD	Blood-Oxygen-Level-Dependency
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
C	kongruente Bedingung
cm	Zentimeter
CNS@ZPG	Arbeitsgruppe Kognitive Neurowissenschaften des Zentrums für Psychiatrie der Justus-Liebig-Universität Gießen
dIPFC	dorsolateraler präfrontaler Cortex
dmPFC	dorsomedialer präfrontaler Cortex
EEG	Elektroenzephalografie
EPI	Echoplanar Imaging / echoplanare Bildgebung
FEF	Frontal-Eye-Field
FFG	Gyrus fusiformis
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomografie
FWE	Family-Wise-Error
GF	Gaze-Following
I	inkongruente Bedingung
IFG	Gyrus frontalis inferior
IJA	Initiating-Joint-Attention
IOG	Gyrus occipitalis inferior
IPS	Sulcus intraparietalis
JA	Joint-Attention
L	Links / linke Hemisphäre
LG	Gyrus lingualis
m	männlich
MEG	Magnetenzephalografie
MFG	Gyrus frontalis medius
min	Minuten
MNI	Montreal-Neurological-Institute

mOFC	Medialer orbitofrontaler Cortex
MOG	Gyrus occipitalis medius
ms	Millisekunden
MTG	Gyrus temporalis medius
N	Anzahl
NSO	Nicht-sozialer Hinweisreiz
o.g.	oben genannt
OFC	orbitofrontaler Cortex
$\eta^2$	partielltes Eta-Quadrat
PET	Positronenemissionstomografie
PFC	Präfrontaler Cortex
pMTG	posteriorer Gyrus temporalis medius
pSTS	posteriorer Sulcus temporalis superior
R	Rechts / rechte Hemisphäre
RJA	Responding-Joint Attention
RT	Reaction-Time
s	Sekunden
s.o.	siehe oben
SA	Shared-Attention
SEF	Supplementary-Eye-Field
SFG	Gyrus frontalis superior
SOA	Stimulus-Onset-Asynchrony
SOC	Sozialer Hinweisreiz
sog.	so genannt(e,er,es)
SOG	Gyrus occipitalis superior
SPL	Lobulus parietalis superior
SPM	Statistical-Parametric-Mapping
STG	Gyrus temporalis superior
STS	Sulcus temporalis superior
TE	Echo-Time
TPJ	Temporoparietale Junktion
TR	Repetition-Time
vgl.	vergleiche

vlPFC	ventrolateraler präfrontaler Cortex
vmPFC	ventromedialer präfrontaler Cortex
VS	ventrales Striatum
w	weiblich
z.B.	zum Beispiel

### **13. Abbildungsverzeichnis**

**Abbildung 1: Schematische Darstellung verschiedener sozialer Situationen, in denen Blickreize genutzt werden (A-E) (aus Itier & Batty, 2009).**

**Abbildung 2: Cueing-Paradigma mit peripherem Hinweisreiz (A) und zentralem Hinweisreiz (B) (aus Frischen et al., 2007).**

**Abbildung 3: Gaze-Cueing-Paradigma mit schematischen Stimuli (aus Friesen & Kingstone, 1998).**

**Abbildung 4: Modell des neuronalen Netzwerks zur Verarbeitung von Gesichtern (aus Haxby et al., 2000).**

**Abbildung 5: Modell zur neurophysiologischen Verarbeitung von Blickreizen (aus Senju & Johnson, 2009).**

**Abbildung 6: An der neuronalen Verarbeitung von Joint-Attention beteiligte Hirn-areale (aus Pfeiffer et al., 2013).**

**Abbildung 7: Imaginäre Linie zwischen anteriorer und posteriorer Commissur (Transversalebene), an welcher üblicherweise der Schichtführungswinkel in der fMRT orientiert wird (modifizierte Grafik aus Gaillard, 2017).**

**Abbildung 8: Exemplarische Darstellung zweier experimenteller Einzelversuche (sog. „Trials“). Quelle: Eigene Darstellung.**

**Abbildung 9: Hinweisreize. Quelle: Eigene Darstellung.**

**Abbildung 10: Zielreize. Quelle: Eigene Darstellung.**

**Abbildung 11: Darstellung der beiden Schichtführungswinkel (modifizierte Grafik aus Gaillard, 2017).**

**Abbildung 12:** Die Reaktionszeiten der Gesamtstichtprobe in Abhängigkeit von der Kongruenz-Bedingung und des Hinweisreiz-Typs für nicht-soziale (*a*) und soziale Zielreize (*b*) bei einer SOA von 100 ms. Quelle: Eigene Darstellung.

**Abbildung 13:** Zweidimensionale Darstellung der Gehirnareale (rot), welche eine stärkere hämodynamische Aktivierung bei sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Hinweisreizen aufwiesen (*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*) bei *sozialen Zielreizen* und SOA 100 ms. Quelle: Eigene Darstellung.

**Abbildung 14:** Zweidimensionale Darstellung der Gehirnareale (grün), welche eine stärkere hämodynamische Aktivierung bei nicht-sozialen im Vergleich zu sozialen Hinweisreizen aufwiesen (*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*) bei *sozialen Zielreizen* und SOA 100 ms. Quelle: Eigene Darstellung.

**Abbildung 15:** Zweidimensionale Darstellung der Gehirnareale (rot), welche eine stärkere hämodynamische Aktivierung bei sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Hinweisreizen aufwiesen (*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*) bei *nicht-sozialen Zielreizen* und SOA 100 ms. Quelle: Eigene Darstellung.

**Abbildung 16:** Zweidimensionale Darstellung der Gehirnareale (grün), welche eine stärkere hämodynamische Aktivierung bei nicht-sozialen im Vergleich zu sozialen Hinweisreizen aufwiesen (*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*) bei *nicht-sozialen Zielreizen* und SOA 100 ms. Quelle: Eigene Darstellung.

**Abbildung 17:** Die Reaktionszeiten der beiden Gruppen mit unterschiedlicher Schichtführung (reguläre Schichtführung: *a* und *c*, geneigte Schichtführung: *b* und *d*) in Abhängigkeit von der Kongruenz-Bedingung und des Hinweisreiz-Typs für nicht-soziale (*a* und *b*) und soziale Zielreize (*c* und *d*) bei einer SOA von 100 ms. Quelle: Eigene Darstellung.

## 14. Tabellenverzeichnis

**Tabelle 1:** Die vier Hypothesen der Forschungsarbeit.

**Tabelle 2:** Die acht Kombinationen der Messwiederholungsfaktoren des Subdesigns zur Überprüfung der Hypothese 1.

**Tabelle 3:** Die vier Kombinationen der Messwiederholungsfaktoren des Subdesigns zur Überprüfung der Hypothese 2.

**Tabelle 4:** Übersicht über die verwendeten Subdesigns zur Untersuchung der Hypothesen 1-4.

**Tabelle 5:** Die Merkmalskombinationen der acht Teilgruppen innerhalb der Gesamtstichprobe.

**Tabelle 6:** Die 14 in das Modell für die fMRT-Analyse eingehenden Regressoren.

**Tabelle 7:** 3-faktorielle Varianzanalyse der Gesamtstichprobe in der SOA-Bedingung von 100 ms.

**Tabelle 8:** 2-faktorielle Varianzanalyse der Gesamtstichprobe in der SOA-Bedingung von 100 ms innerhalb der nicht-sozialen und der sozialen Zielreize.

**Tabelle 9:** Gehirnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Hinweisreizen (*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*) bei *sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms*.

**Tabelle 10:** Gehirnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei nicht-sozialen im Vergleich zu sozialen Hinweisreizen (*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*) bei *sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms*.

**Tabelle 11:** Gehirnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Hinweisreizen (*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*) bei *nicht-sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms*.

**Tabelle 12:** Gehirnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei nicht-sozialen im Vergleich zu sozialen Hinweisreizen (*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*) bei *nicht-sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms*.

**Tabelle 13:** 4-faktorielle Varianzanalyse der Gesamtstichprobe mit dem Gruppenfaktor „Schichtführung“ in der SOA-Bedingung von 100ms.

**Tabelle 14:** 3-faktorielle Varianzanalyse der Gruppe mit regulärer Schichtführung in der SOA-Bedingung von 100 ms.

**Tabelle 15:** 3-faktorielle Varianzanalyse der Gruppe mit geneigter Schichtführung in der SOA-Bedingung von 100 ms.

**Tabelle 16:** Gehirnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Hinweisreizen (*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*) bei *sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms* unter regulärer (a) und geneigter Schichtführung (b).

**Tabelle 17:** Gehirnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei sozialen im Vergleich zu nicht-sozialen Hinweisreizen (*soziale Hinweisreize > nicht-soziale Hinweisreize*) bei *nicht-sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms* unter regulärer (a) und geneigter Schichtführung (b).

**Tabelle 18:** Gehirnareale mit stärkerer hämodynamischer Aktivierung bei nicht-sozialen im Vergleich zu sozialen Hinweisreizen (*nicht-soziale Hinweisreize > soziale Hinweisreize*) bei *nicht-sozialen Zielreizen* und *SOA 100 ms* unter regulärer (a) und geneigter Schichtführung (b).

**Tabelle 19:** Kongruenz-Effekt bei den verschiedenen Kombinationen der Hinweisreiz- und Zielreiz-Typen.

**Tabelle 20: Vereinfachte Darstellung der durch die verschiedenen Hinweis- und Zielreizkombinationen aktivierten Gehirnareale.**

**Tabelle 21: Vergleich der varianzanalytischen Ergebnisse der beiden Gruppen mit unterschiedlicher fMRT-Schichtführung (*regulär* vs. *geneigt*).**

**Tabelle 22: Vereinfachte Darstellung der durch die verschiedenen Hinweis- und Zielreizkombinationen in den beiden Gruppen mit unterschiedlicher fMRT-Schichtführung aktivierten Gehirnareale.**

## 15. Literaturverzeichnis

- Adams Jr, R. B., & Kleck, R. E. (2005). Effects of direct and averted gaze on the perception of facially communicated emotion. *Emotion, 5*(1), 3.  
<https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.1.3>
- Akiyama, T., Kato, M., Muramatsu, T., Maeda, T., Hara, T., & Kashima, H. (2008). Gaze-triggered orienting is reduced in chronic schizophrenia. *Psychiatry Research, 158*(3), 287–296.  
<https://doi.org/10.1016/j.psychres.2006.12.004>
- Akiyama, T., Kato, M., Muramatsu, T., Saito, F., Umeda, S., & Kashima, H. (2006). Gaze but not arrows: a dissociative impairment after right superior temporal gyrus damage. *Neuropsychologia, 44*(10), 1804–1810.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.03.007>
- Akiyama, T., Kato, M., Muramatsu, T., Umeda, S., Saito, F., & Kashima, H. (2007). Unilateral amygdala lesions hamper attentional orienting triggered by gaze direction. *Cerebral Cortex, 17*(11), 2593–2600.  
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhl166>
- Allkemper, T. (2006). *Ganzkörper-MR-Tomographie: 103 Tabellen*. Georg Thieme Verlag.
- Alwall, N., Johansson, D., & Hansen, S. (2010). The gender difference in gaze-cueing: Associations with empathizing and systemizing. *Personality and Individual Differences, 49*(7), 729–732.  
<https://doi.org/10.1016/j.paid.2010.06.016>
- Astington, J. W., & Barriault, T. (2001). Children’s theory of mind: How young children come to understand that people have thoughts and feelings. *Infants & Young Children, 13*(3), 1–12.  
<http://dx.doi.org/10.1097/00001163-200113030-00005>
- Baker, C. M., Burks, J. D., Briggs, R. G., Stafford, J., Conner, A. K., Glenn, C. A., Sali, G., McCoy, T. M., Battiste, J. D., & O’Donoghue, D. L. (2018). A connectomic atlas of the human cerebrum—chapter 9: the occipital lobe. *Operative Neurosurgery, 15*(suppl\_1), S372–S406.  
<https://doi.org/10.1093%2Fons%2Fopy263>
- Baldwin, D. A. (1995). Understanding the link between joint attention and language. In

*Joint attention: Its origins and role in development.*

<https://psycnet.apa.org/record/1995-97586-006>

Baron-Cohen, S., Cox, A., Baird, G., Swettenham, J., Nightingale, N., Morgan, K., Drew, A., & Charman, T. (1996). Psychological markers in the detection of autism in infancy in a large population. *The British Journal of Psychiatry: The Journal of Mental Science*, *168*(2), 158–163.

<https://doi.org/10.1192/bjp.168.2.158>

Baron-Cohen, S., Ring, H. A., Wheelwright, S., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Simmons, A., & Williams, S. C. (1999). Social intelligence in the normal and autistic brain: an fMRI study. *The European Journal of Neuroscience*, *11*(6), 1891–1898. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.1999.00621.x> (zitiert als Baron-Cohen et al., 1999b)

Baron-Cohen, S. (1995). The eye direction detector (EDD) and the shared attention mechanism (SAM): Two cases for evolutionary psychology. In *Joint attention: Its origins and role in development*. (pp. 41–59). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

<https://psycnet.apa.org/record/1995-97586-002>

Baron-Cohen, S. (1997). *Mindblindness: An essay on autism and theory of mind*. MIT press.

<https://doi.org/10.7551/mitpress/4635.001.0001>

Baron-Cohen, S., O’riordan, M., Stone, V., Jones, R., & Plaisted, K. (1999). Recognition of faux pas by normally developing children and children with Asperger syndrome or high-functioning autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *29*(5), 407–418.

<https://doi.org/10.1023/a:1023035012436> (zitiert als Baron-Cohen et al., 1999a)

Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., & Jolliffe, and T. (1997). Is there a " language of the eyes"? Evidence from normal adults, and adults with autism or Asperger syndrome. *Visual Cognition*, *4*(3), 311–331.

<https://psycnet.apa.org/doi/10.1080/713756761>

Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ): Evidence from asperger syndrome/high-functioning autism, males and females, scientists and mathematicians. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *31*(1), 5–17.

<https://doi.org/10.1023/a:1005653411471>

Bayliss, A. P., di Pellegrino, G., & Tipper, S. P. (2005). Sex differences in eye gaze and

- symbolic cueing of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 58(4), 631–650.  
<https://doi.org/10.1080/02724980443000124>
- Bayliss, A. P., & Tipper, S. P. (2005). Gaze and arrow cueing of attention reveals individual differences along the autism spectrum as a function of target context. *British Journal of Psychology*, 96(1), 95–114.  
<https://doi.org/10.1348/000712604x15626>
- Bedny, M., Pascual-Leone, A., & Saxe, R. R. (2009). Growing up blind does not change the neural bases of Theory of Mind. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(27), 11312–11317.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1073/pnas.0900010106>
- Blonder, L. X., Smith, C. D., Davis, C. E., Kesler, M. L., Garrity, T. F., Avison, M. J., & Andersen, A. H. (2004). Regional brain response to faces of humans and dogs. *Cognitive Brain Research*, 20(3), 384–394.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.cogbrainres.2004.03.020>
- Bogousslavsky, J., Miklossy, J., Deruaz, J.-P., Assal, G., & Regli, F. (1987). Lingual and fusiform gyri in visual processing: a clinico-pathologic study of superior altitudinal hemianopia. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 50(5), 607–614.  
<https://doi.org/10.1136%2Fjnp.50.5.607>
- Brüne, M. (2005). “Theory of Mind” in Schizophrenia: A Review of the Literature. *Schizophrenia Bulletin*, 31(1), 21–42.  
<https://doi.org/10.1093/schbul/sbi002>
- Brunet, E., Sarfati, Y., Hardy-Baylé, M.-C., & Decety, J. (2000). A PET investigation of the attribution of intentions with a nonverbal task. *Neuroimage*, 11(2), 157–166.  
<https://doi.org/10.1006/nimg.1999.0525>
- Burra, N., Hervais-Adelman, A., Kerzel, D., Tamietto, M., De Gelder, B., & Pegna, A. J. (2013). Amygdala activation for eye contact despite complete cortical blindness. *Journal of Neuroscience*, 33(25), 10483–10489.  
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3994-12.2013>
- Butterworth, G., & Jarrett, N. (1991). What minds have in common is space: Spatial mechanisms serving joint visual attention in infancy. *British Journal of Developmental Psychology*, 9(1), 55–72.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1111/j.2044-835X.1991.tb00862.x>
- Calder, A. J., Beaver, J. D., Winston, J. S., Dolan, R. J., Jenkins, R., Eger, E., & Henson,

- R. N. A. (2007). Separate coding of different gaze directions in the superior temporal sulcus and inferior parietal lobule. *Current Biology*, *17*(1), 20–25.  
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.10.052>
- Calder, A. J., Lawrence, A. D., Keane, J., Scott, S. K., Owen, A. M., Christoffels, I., & Young, A. W. (2002). Reading the mind from eye gaze. *Neuropsychologia*, *40*(8), 1129–1138.  
[https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(02\)00008-8](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00008-8)
- Callejas, A., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2014). Dorsal and ventral attention systems underlie social and symbolic cueing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *26*(1), 63–80.  
[https://psycnet.apa.org/doi/10.1162/jocn\\_a\\_00461](https://psycnet.apa.org/doi/10.1162/jocn_a_00461)
- Carlin, J. D., & Calder, A. J. (2013). The neural basis of eye gaze processing. *Current Opinion in Neurobiology*, *23*(3), 450–455.  
<https://doi.org/10.1016/j.conb.2012.11.014>
- Carlin, J. D., Calder, A. J., Kriegeskorte, N., Nili, H., & Rowe, J. B. (2011). A head view-invariant representation of gaze direction in anterior superior temporal sulcus. *Current Biology*, *21*(21), 1817–1821.  
<https://doi.org/10.1016%2Fj.cub.2011.09.025>
- Cary, M. S. (1978). The role of gaze in the initiation of conversation. *Social Psychology*, 269–271.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.2307/3033565>
- Cavallo, A., Lungu, O., Becchio, C., Ansuini, C., Rustichini, A., & Fadiga, L. (2015). When gaze opens the channel for communication: Integrative role of IFG and MPFC. *NeuroImage*, *119*, 63–69.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.neuroimage.2015.06.025>
- Cheal, M., & Lyon, D. R. (1991). Central and peripheral precuing of forced-choice discrimination. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *43*(4), 859–880.  
<https://doi.org/10.1080/14640749108400960>
- Chica, A. B., Bartolomeo, P., & Lupiáñez, J. (2013). Two cognitive and neural systems for endogenous and exogenous spatial attention. *Behavioural Brain Research*, *237*, 107–123.  
<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2012.09.027>
- Chica, A. B., Bartolomeo, P., & Valero-Cabré, A. (2011). Dorsal and ventral parietal contributions to spatial orienting in the human brain. *Journal of Neuroscience*,

31(22), 8143–8149.

<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5463-10.2010>

Coelho, E., George, N., Conty, L., Hugueville, L., & Tijus, C. (2006). Searching for asymmetries in the detection of gaze contact versus averted gaze under different head views: a behavioural study. *Spatial Vision, 19*(6), 529–545.

<https://doi.org/10.1163/156856806779194026>

Cona, G., Marino, G., & Bisiacchi, P. S. (2017). Superior parietal cortex and the attention to delayed intention: an rTMS study. *Neuropsychologia, 95*, 130–135.

<https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.neuropsychologia.2016.12.020>

Corbetta, M., Patel, G., & Shulman, G. L. (2008). The reorienting system of the human brain: from environment to theory of mind. *Neuron, 58*(3), 306–324.

<https://doi.org/10.1016%2Fj.neuron.2008.04.017>

Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience, 3*(3), 201–215.

<https://doi.org/10.1038/nrn755>

Dalton, K. M., Nacewicz, B. M., Johnstone, T., Schaefer, H. S., Gernsbacher, M. A., Goldsmith, H. H., Alexander, A. L., & Davidson, R. J. (2005). Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism. *Nature Neuroscience, 8*(4), 519–526.

<https://doi.org/10.1038/nn1421>

De Panfilis, C., & Schwarzbauer, C. (2005). Positive or negative blips? The effect of phase encoding scheme on susceptibility-induced signal losses in EPI. *Neuroimage, 25*(1), 112–121.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.11.014>

De Schotten, M. T., Dell'Acqua, F., Forkel, S., Simmons, A., Vergani, F., Murphy, D. G. M., & Catani, M. (2011). A lateralized brain network for visuo-spatial attention. *Nature Precedings, 1*.

<https://doi.org/10.1038/nm.2905>

Deichmann, R., Gottfried, J. A., Hutton, C., & Turner, R. (2003). Optimized EPI for fMRI studies of the orbitofrontal cortex. *NeuroImage, 19*(2), 430–441.

[https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00073-9](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00073-9)

Devlin, J. T., Russell, R. P., Davis, M. H., Price, C. J., Wilson, J., Moss, H. E., Matthews, P. M., & Tyler, L. K. (2000). Susceptibility-induced loss of signal: comparing PET and fMRI on a semantic task. *Neuroimage, 11*(6), 589–600.

<https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0595>

- DiQuattro, N. E., & Geng, J. J. (2011). Contextual knowledge configures attentional control networks. *Journal of Neuroscience*, *31*(49), 18026–18035.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1523/JNEUROSCI.4040-11.2011>
- Doricchi, F., Macci, E., Silvetti, M., & Macaluso, E. (2010). Neural correlates of the spatial and expectancy components of endogenous and stimulus-driven orienting of attention in the Posner task. *Cerebral Cortex*, *20*(7), 1574–1585.  
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhp215>
- Downing, P., Dodds, C., & Bray, D. (2004). Why does the gaze of others direct visual attention? *Visual Cognition*, *11*(1), 71–79.  
<https://dx.doi.org/10.1080/13506280344000220>
- Driver, J., Davis, G., Ricciardelli, P., Kidd, P., Maxwell, E., & Baron-Cohen, S. (1999). Gaze perception triggers reflexive visuospatial orienting. In *Visual Cognition* (Vol. 6, Issue 5).  
<https://doi.org/10.1080/135062899394920>
- Emery, N. J. (2000). The eyes have it: the neuroethology, function and evolution of social gaze. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *24*(6), 581–604.  
[https://doi.org/10.1016/s0149-7634\(00\)00025-7](https://doi.org/10.1016/s0149-7634(00)00025-7)
- Engell, A. D., Nummenmaa, L., Oosterhof, N. N., Henson, R. N., Haxby, J. V., & Calder, A. J. (2010). Differential activation of frontoparietal attention networks by social and symbolic spatial cues. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *5*(4), 432–440.  
<https://doi.org/10.1093/scan/nsq008>
- Farroni, T., Mansfield, E. M., Lai, C., & Johnson, M. H. (2003). Infants perceiving and acting on the eyes: Tests of an evolutionary hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology*, *85*(3), 199–212.  
[https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/S0022-0965\(03\)00022-5](https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/S0022-0965(03)00022-5)
- Farroni, T., Massaccesi, S., Pividori, D., & Johnson, M. H. (2004). Gaze Following in Newborns. *Infancy*, *5*(1), 39–60.  
[https://doi.org/10.1207/s15327078in0501\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327078in0501_2)
- Faubel, N. (2010). *Der Einfluss von Blickrichtungsreizen auf die Aufmerksamkeitsauslenkung bei Schizophrenie – unter besonderer Berücksichtigung des „Inhibition of Return“*. Unveröffentlichte Diplomarbeit; Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Fox, M. D., Corbetta, M., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., & Raichle, M. E. (2006).

- Spontaneous neuronal activity distinguishes human dorsal and ventral attention systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(26), 10046–10051.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0604187103>
- Franck, N., Daprati, E., Michel, F., Saoud, M., Daléry, J., Marie-Cardine, M., & Georgieff, N. (1998). Gaze discrimination is unimpaired in schizophrenia. *Psychiatry Research*, 81(1), 67–75.  
[https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/S0165-1781\(98\)00082-1](https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/S0165-1781(98)00082-1)
- Franck, N., Montoute, T., Labruyère, N., Tiberghien, G., Marie-Cardine, M., Daléry, J., D'Amato, T., & Georgieff, N. (2002). Gaze direction determination in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 56(3), 225–234.  
[https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/S0920-9964\(01\)00263-8](https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/S0920-9964(01)00263-8)
- Friesen, C. K., & Kingstone, A. (1998). The eyes have it! Reflexive orienting is triggered by nonpredictive gaze. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(3), 490–495.  
<https://doi.org/10.3758/BF03208827>
- Friesen, C. K., Ristic, J., & Kingstone, A. (2004). Attentional effects of counterpredictive gaze and arrow cues. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(2), 319.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-1523.30.2.319>
- Frischen, A., Bayliss, A. P., & Tipper, S. P. (2007). Gaze cueing of attention: visual attention, social cognition, and individual differences. *Psychological Bulletin*, 133(4), 694–724.  
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.4.694>
- Frischen, A., & Tipper, S. P. (2004). Orienting attention via observed gaze shift evokes longer term inhibitory effects: implications for social interactions, attention, and memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(4), 516.  
<https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.4.516>
- Frith, C. D., Blakemore, S.-J., & Wolpert, D. M. (2000). Abnormalities in the awareness and control of action. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 355(1404), 1771–1788.  
<https://doi.org/10.1098%2Frstb.2000.0734>
- Gaillard F., AC-PC line (diagram). Case study, Radiopaedia.org (Accessed on 7 Jan 2024)  
<https://doi.org/10.53347/rID-50730>
- Galfano, G., Dalmaso, M., Marzoli, D., Pavan, G., Coricelli, C., & Castelli, L. (2012).

- Eye gaze cannot be ignored (but neither can arrows). *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(10), 1895–1910.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1080/17470218.2012.663765>
- Gallagher, H. L., Happé, F., Brunswick, N., Fletcher, P. C., Frith, U., & Frith, C. D. (2000). Reading the mind in cartoons and stories: an fMRI study of ‘theory of mind’ in verbal and nonverbal tasks. *Neuropsychologia*, 38(1), 11–21.  
[https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(99\)00053-6](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(99)00053-6)
- Gamer, M., Schmitz, A. K., Tittgemeyer, M., & Schilbach, L. (2013). The human amygdala drives reflexive orienting towards facial features. *Current Biology*, 23(20), R917–R918.  
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.09.008>
- Geng, J. J., & Mangun, G. R. (2011). Right temporoparietal junction activation by a salient contextual cue facilitates target discrimination. *Neuroimage*, 54(1), 594–601.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.08.025>
- George, N., Driver, J., & Dolan, R. J. (2001). Seen gaze-direction modulates fusiform activity and its coupling with other brain areas during face processing. *Neuroimage*, 13, 1102–1112.  
<https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0769>
- Gerrig, R. J., & Zimbardo, P. G. (2015). *Psychologie*, 20. Aufl., München.
- Gobbini, M. I., & Haxby, J. V. (2007). Neural systems for recognition of familiar faces. *Neuropsychologia*, 45(1), 32–41.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.04.015>
- Gordon, I., Eilbott, J. A., Feldman, R., Pelphrey, K. A., & Vander Wyk, B. C. (2013). Social, reward, and attention brain networks are involved when online bids for joint attention are met with congruent versus incongruent responses. *Social Neuroscience*, 8(6), 544–554.  
<https://doi.org/10.1080/17470919.2013.832374>
- Gottfried, J. A., Deichmann, R., Winston, J. S., & Dolan, R. J. (2002). Functional heterogeneity in human olfactory cortex: an event-related functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, 22(24), 10819–10828.  
<https://doi.org/10.1523/jneurosci.22-24-10819.2002>
- Greene, D. J., Mooshagian, E., Kaplan, J. T., Zaidel, E., & Iacoboni, M. (2009). The neural correlates of social attention: automatic orienting to social and nonsocial cues. *Psychological Research PRPF*, 73(4), 499–511.

- <https://doi.org/10.1007%2Fs00426-009-0233-3>
- Grill-Spector, K., & Malach, R. (2004). The human visual cortex. *Annu. Rev. Neurosci.*, *27*, 649–677.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144220>
- Haxby, J. V, Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(6), 223–233.  
[https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01482-0](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01482-0)
- Haxby, J. V, Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2002). Human neural systems for face recognition and social communication. *Biological Psychiatry*, *51*(1), 59–67.  
[https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(01\)01330-0](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(01)01330-0)
- He, B. J., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., Epstein, A., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2007). Breakdown of functional connectivity in frontoparietal networks underlies behavioral deficits in spatial neglect. *Neuron*, *53*(6), 905–918.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.02.013>
- Hietanen, J. K., Nummenmaa, L., Nyman, M. J., Parkkola, R., & Hämäläinen, H. (2006). Automatic attention orienting by social and symbolic cues activates different neural networks: An fMRI study. *Neuroimage*, *33*(1), 406–413.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.06.048>
- Hoffman, E. A., & Haxby, J. V. (2000). Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nature Neuroscience*, *3*(1), 80–84.  
<https://doi.org/10.1038/71152>
- Hood, B. M., Willen, J. D., & Driver, J. (1998). Adult's Eyes Trigger Shifts of Visual Attention in Human Infants. *Psychological Science*, *9*(2), 131–134.  
<https://doi.org/10.1111/1467-9280.00024>
- Inderbitzin, M. P., Betella, A., Lanatá, A., Scilingo, E. P., Bernardet, U., & Verschure, P. F. M. J. (2013). The social perceptual salience effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *39*(1), 62.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0028317>
- Itier, R. J., & Batty, M. (2009). Neural bases of eye and gaze processing: the core of social cognition. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *33*(6), 843–863.  
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.02.004>
- Japee, S., Holiday, K., Satyshur, M. D., Mukai, I., & Ungerleider, L. G. (2015). A role of right middle frontal gyrus in reorienting of attention: a case study. *Frontiers in*

- Systems Neuroscience*, 9, 23.  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnsys.2015.00023/full>
- Joseph, R. M., Fricker, Z., & Keehn, B. (2015). Activation of frontoparietal attention networks by non-predictive gaze and arrow cues. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(2), 294–301.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1093/scan/nsu054>
- Kampe, K. K. W., Frith, C. D., & Frith, U. (2003). “Hey John”: signals conveying communicative intention toward the self activate brain regions associated with “mentalizing,” regardless of modality. *Journal of Neuroscience*, 23(12), 5258–5263.  
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-12-05258.2003>
- Kawashima, R., Sugiura, M., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Ito, K., Fukuda, H., Kojima, S., & Nakamura, K. (1999). The human amygdala plays an important role in gaze monitoring: A PET study. *Brain*, 122(4), 779–783.  
<https://doi.org/10.1093/brain/122.4.779>
- Kellermann, T., & Habel, U. (2013). Planung und Umsetzung experimenteller Paradigmen. *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie*, 131-150.
- Kincade, J. M., Abrams, R. A., Astafiev, S. V, Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2005). An event-related functional magnetic resonance imaging study of voluntary and stimulus-driven orienting of attention. *Journal of Neuroscience*, 25(18), 4593–4604.  
<https://doi.org/10.1523/jneurosci.0236-05.2005>
- Kingstone, A., Tipper, C., Ristic, J., & Ngan, E. (2004). The eyes have it!: An fMRI investigation. *Brain and Cognition*, 55(2), 269–271.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.bandc.2004.02.037>
- Koster-Hale, J., Bedny, M., & Saxe, R. (2014). Thinking about seeing: Perceptual sources of knowledge are encoded in the theory of mind brain regions of sighted and blind adults. *Cognition*, 133(1), 65–78.  
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.04.006>
- Kozlovskiy, S. A., Pyasik, M. M., Korotkova, A. V, Vartanov, A. V, Glozman, J. M., & Kiselnikov, A. A. (2014). Activation of left lingual gyrus related to working memory for schematic faces. *International Journal of Psychophysiology*, 2(94), 241.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.08.928>
- Krall, S. C., Rottschy, C., Oberwelland, E., Bzdok, D., Fox, P. T., Eickhoff, S. B., Fink, G. R., & Konrad, K. (2015). The role of the right temporoparietal junction in attention and social interaction as revealed by ALE meta-analysis. *Brain Structure*

- and Function*, 220(2), 587–604.  
<https://doi.org/10.1007/s00429-014-0803-z>
- Kronbichler, L., Tschernegg, M., Martin, A. I., Schurz, M., & Kronbichler, M. (2017). Abnormal brain activation during theory of mind tasks in schizophrenia: a meta-analysis. *Schizophrenia Bulletin*, 43(6), 1240–1250.  
<https://doi.org/10.1093/schbul/sbx073>
- Kucyi, A., Moayed, M., Weissman-Fogel, I., Hodaie, M., & Davis, K. D. (2012). Hemispheric asymmetry in white matter connectivity of the temporoparietal junction with the insula and prefrontal cortex. *PloS One*, 7(4).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035589>
- Kuhn, G., Benson, V., Fletcher-Watson, S., Kovshoff, H., McCormick, C. A., Kirkby, J., & Leekam, S. R. (2010). Eye movements affirm: automatic overt gaze and arrow cueing for typical adults and adults with autism spectrum disorder. *Experimental Brain Research*, 201, 155–165.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1007/s00221-009-2019-7>
- Lachat, F., & George, N. (2012). Oscillatory brain correlates of live joint attention: a dual-EEG study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 156.  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2012.00156/full>
- Lambert, A., Roser, M., Wells, I., & Heffer, C. (2006). The spatial correspondence hypothesis and orienting in response to central and peripheral spatial cues. *Visual Cognition*, 13(1), 65–88.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1080/13506280500264460>
- Langdon, R., Corner, T., McLaren, J., Coltheart, M., & Ward, P. B. (2006). Attentional orienting triggered by gaze in schizophrenia. *Neuropsychologia*, 44(3), 417–429.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.05.020>
- Langdon, R., Davies, M., & Coltheart, M. (2002). Understanding minds and understanding communicated meanings in schizophrenia. *Mind & Language*, 17(1-2), 68–104.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1111/1468-0017.00190>
- Langdon, R., Michie, P. T., Ward, P. B., McConaghy, N., Catts, S. V., & Coltheart, M. (1997). Defective self and/or other mentalising in schizophrenia: a cognitive neuropsychological approach. *Cognitive Neuropsychiatry*, 2(3), 167–193.  
<https://doi.org/10.1080/135468097396324>
- Lee, L. C., Andrews, T. J., Johnson, S. J., Woods, W., Gouws, A., Green, G. G. R., &

- Young, A. W. (2010). Neural responses to rigidly moving faces displaying shifts in social attention investigated with fMRI and MEG. *Neuropsychologia*, *48*(2), 477–490.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.neuropsychologia.2009.10.005>
- Lipschutz, B., Friston, K. J., Ashburner, J., Turner, R., & Price, C. J. (2001). Assessing study-specific regional variations in fMRI signal. *Neuroimage*, *13*(2), 392–398.  
<https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0687>
- Lockhofen, D. E. L., Gruppe, H., Ruprecht, C., Gallhofer, B., & Sammer, G. (2014). Hemodynamic response pattern of spatial cueing is different for social and symbolic cues. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 912.  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2014.00912/full>
- Logothetis, N. K. (2003). MR imaging in the non-human primate: studies of function and of dynamic connectivity. *Current Opinion in Neurobiology*, *13*(5), 630–642.  
<https://doi.org/10.1016/j.conb.2003.09.017>
- Machielsen, W. C. M., Rombouts, S. A. R. B., Barkhof, F., Scheltens, P., & Witter, M. P. (2000). fMRI of visual encoding: reproducibility of activation. *Human Brain Mapping*, *9*(3), 156–164.  
[https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0193\(200003\)9:3%3C156::aid-hbm4%3E3.0.co;2-q](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0193(200003)9:3%3C156::aid-hbm4%3E3.0.co;2-q)
- Macrae, C. N., Hood, B. M., Milne, A. B., Rowe, A. C., & Mason, M. F. (2002). Are you looking at me? Eye gaze and person perception. *Psychological Science*, *13*(5), 460–464.  
<https://doi.org/10.1111/1467-9280.00481>
- Marotta, A., Martella, D., Maccari, L., Sebastiani, M., & Casagrande, M. (2014). Poor vigilance affects attentional orienting triggered by central uninformative gaze and arrow cues. *Cognitive Processing*, *15*(4), 503–513. <https://doi.org/10.1007/s10339-014-0614-4>  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1007/s10339-014-0614-4>
- Mason, M. F., Tatlow, E. P., & Macrae, C. N. (2005). The look of love: Gaze shifts and person perception. *Psychological Science*, *16*(3), 236–239.  
<https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.00809.x>
- Mason, M., Hood, B., & Macrae, C. N. (2004). Look into my eyes: Gaze direction and person memory. *Memory*, *12*(5), 637–643.  
<https://doi.org/10.1080/09658210344000152>

- Materna, S., Dicke, P. W., & Thier, P. (2008). Dissociable roles of the superior temporal sulcus and the intraparietal sulcus in joint attention: a functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(1), 108–119.  
<https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20.1.108>
- Maylor, E. A., & Hockey, R. (1985). Inhibitory component of externally controlled covert orienting in visual space. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *11*(6), 777.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-1523.11.6.777>
- Merboldt, K.-D., Fransson, P., Bruhn, H., & Frahm, J. (2001). Functional MRI of the human amygdala? *Neuroimage*, *14*(2), 253–257.  
<https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0802>
- Mertens, I., Siegmund, H., & Grüsser, O.-J. (1993). Gaze motor asymmetries in the perception of faces during a memory task. *Neuropsychologia*, *31*(9), 989–998.  
[https://doi.org/10.1016/0028-3932\(93\)90154-r](https://doi.org/10.1016/0028-3932(93)90154-r)
- Mitchell, P., & Lacochee, H. (1991). Children's early understanding of false belief. *Cognition*, *39*(2), 107–127.  
[https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/0010-0277\(91\)90040-B](https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/0010-0277(91)90040-B)
- Montague, P. R., Berns, G. S., Cohen, J. D., McClure, S. M., Pagnoni, G., Dhamala, M., Wiest, M. C., Karpov, I., King, R. D., & Apple, N. (2002). *Hyperscanning: simultaneous fMRI during linked social interactions*. Academic Press.  
<https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1150>
- Moore, C., Angelopoulos, M., & Bennett, P. (1997). The role of movement in the development of joint visual attention. *Infant Behavior and Development*, *20*(1), 83–92. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(97\)90063-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0163-6383(97)90063-1)
- Moore, C., & Corkum, V. (1994). Social understanding at the end of the first year of life. *Developmental Review*, *14*(4), 349–372.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1006/drev.1994.1014>
- Mormann, F., Niediek, J., Tudusciuc, O., Quesada, C. M., Coenen, V. A., Elger, C. E., & Adolphs, R. (2015). Neurons in the human amygdala encode face identity, but not gaze direction. *Nature Neuroscience*, *18*(11), 1568–1570.  
<https://doi.org/10.1038/nn.4139>
- Mosconi, M. W., Mack, P. B., McCarthy, G., & Pelphrey, K. A. (2005). Taking an “intentional stance” on eye-gaze shifts: a functional neuroimaging study of social perception in children. *Neuroimage*, *27*(1), 247–252.

- <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.03.027>
- Müller, H. J., & Findlay, J. M. (1988). The effect of visual attention of peripheral discrimination thresholds in single and multiple element displays. *Acta Psychologica*, 69(2), 129–155.
- [https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/0001-6918\(88\)90003-0](https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/0001-6918(88)90003-0)
- Müller, H. J., & Rabbitt, P. M. (1989). Reflexive and voluntary orienting of visual attention: time course of activation and resistance to interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15(2), 315.
- <https://doi.org/10.1037//0096-1523.15.2.315>
- Mundy, P. (2018). A review of joint attention and social-cognitive brain systems in typical development and autism spectrum disorder. *The European Journal of Neuroscience*, 47(6), 497–514.
- <https://doi.org/10.1111/ejn.13720>
- Mundy, P., & Jarrold, W. (2010). Infant joint attention, neural networks and social cognition. *Neural Networks*, 23(8–9), 985–997.
- <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2010.08.009>
- Mundy, P., & Newell, L. (2007). Attention, joint attention, and social cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 16(5), 269–274.
- <https://doi.org/10.1111%2Fj.1467-8721.2007.00518.x>
- Nation, K., & Penny, S. (2008). Sensitivity to eye gaze in autism: is it normal? Is it automatic? Is it social? *Development and Psychopathology*, 20(1), 79–97.
- <https://doi.org/10.1017/s0954579408000047>
- Nichols, K. A., & Champness, B. G. (1971). Eye gaze and the GSR. *Journal of Experimental Social Psychology*, 7(6), 623–626.
- [https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/0022-1031\(71\)90024-2](https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/0022-1031(71)90024-2)
- Nomi, J. S., Scherfeld, D., Friederichs, S., Schäfer, R., Franz, M., Wittsack, H.-J., Azari, N. P., Missimer, J., & Seitz, R. J. (2008). On the neural networks of empathy: A principal component analysis of an fMRI study. *Behavioral and Brain Functions*, 4(1), 1–13.
- <https://doi.org/10.1186%2F1744-9081-4-41>
- Ogawa, S., Lee, T.-M., Kay, A. R., & Tank, D. W. (1990). Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87(24), 9868–9872.
- <https://doi.org/10.1073%2Fpnas.87.24.9868>

- Ojemann, J. G., Akbudak, E., Snyder, A. Z., McKinstry, R. C., Raichle, M. E., & Conturo, T. E. (1997). Anatomic localization and quantitative analysis of gradient refocused echo-planar fMRI susceptibility artifacts. *Neuroimage*, *6*(3), 156–167.  
<https://doi.org/10.1006/nimg.1997.0289>
- Okada, T., Sato, W., Kubota, Y., Usui, K., Inoue, Y., Murai, T., Hayashi, T., & Toichi, M. (2008). Involvement of medial temporal structures in reflexive attentional shift by gaze. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *3*(1), 80–88.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1093/scan/nsm027>
- Palejwala, A. H., Dadario, N. B., Young, I. M., O'Connor, K., Briggs, R. G., Conner, A. K., O'Donoghue, D. L., & Sughrue, M. E. (2021). Anatomy and white matter connections of the lingual gyrus and cuneus. *World Neurosurgery*, *151*, e426–e437.  
<https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.04.050>
- Palejwala, A. H., O'Connor, K. P., Milton, C. K., Anderson, C., Pelargos, P., Briggs, R. G., Conner, A. K., O'Donoghue, D. L., Glenn, C. A., & Sughrue, M. E. (2020). Anatomy and white matter connections of the fusiform gyrus. *Scientific Reports*, *10*(1), 1–12.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-70410-6>
- Parker, J. G., Zalusky, E. J., & Kirbas, C. (2014). Functional MRI mapping of visual function and selective attention for performance assessment and presurgical planning using conjunctive visual search. *Brain and Behavior*, *4*(2), 227–237.  
<https://doi.org/10.1002/2Fbrb3.213>
- Pellicano, E., & Rhodes, G. (2003). The role of eye-gaze in understanding other minds. *British Journal of Developmental Psychology*, *21*(1), 33–43.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1348/026151003321164609>
- Pelphrey, K. A., Singerman, J. D., Allison, T., & McCarthy, G. (2003). Brain activation evoked by perception of gaze shifts: the influence of context. *Neuropsychologia*, *41*(2), 156–170.  
[https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(02\)00146-x](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00146-x)
- Pelphrey, K. A., Viola, R. J., & McCarthy, G. (2004). When strangers pass: processing of mutual and averted social gaze in the superior temporal sulcus. *Psychological Science*, *15*(9), 598–603.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1111/j.0956-7976.2004.00726.x>
- Penn, D. L., Addington, J., & Pinkham, A. (2006). Social Cognitive Impairments. In J. A. Lieberman, T. S. Stroup, & D. O. Perkins (Eds.), *The American Psychiatric*

- Publishing textbook of schizophrenia* (1st ed.). American Psychiatric Pub.  
<https://psycnet.apa.org/record/2006-03593-014>
- Perrett, D. I., & Emery, N. J. (1994). *Understanding the intentions of others from visual signals: neurophysiological evidence*.  
<https://psycnet.apa.org/record/1995-24608-001>
- Pfeiffer, U. J., Schilbach, L., Timmermans, B., Kuzmanovic, B., Georgescu, A. L., Bente, G., & Vogeley, K. (2014). Why we interact: on the functional role of the striatum in the subjective experience of social interaction. *NeuroImage*, *101*, 124–137.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.06.061>
- Pfeiffer, U. J., Vogeley, K., & Schilbach, L. (2013). From gaze cueing to dual eye-tracking: novel approaches to investigate the neural correlates of gaze in social interaction. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *37*(10 Pt 2), 2516–2528.  
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.07.017>
- Pitcher, D., Walsh, V., & Duchaine, B. (2011). The role of the occipital face area in the cortical face perception network. *Experimental Brain Research*, *209*(4), 481–493.  
<https://doi.org/10.1007/s00221-011-2579-1>
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*(1), 3–25.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1080/00335558008248231>
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. *Attention and Performance X: Control of Language Processes*, *32*, 531–556.  
[https://www.researchgate.net/publication/203918232\\_Components\\_of\\_visual\\_orienting](https://www.researchgate.net/publication/203918232_Components_of_visual_orienting)
- Pratt, J., & Hommel, B. (2003). Symbolic control of visual attention: The role of working memory and attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*(5), 835.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-1523.29.5.835>
- Premack, D., & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*, *1*(4), 515–526.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1017/S0140525X00076512>
- Pruett, J. R., LaMacchia, A., Hoertel, S., Squire, E., McVey, K., Todd, R. D., Constantino, J. N., & Petersen, S. E. (2011). Social and non-social cueing of visuospatial attention in autism and typical development. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *41*, 715–731.

- <https://doi.org/10.1007%2Fs10803-010-1090-z>
- Quadflieg, S., Mason, M. F., & Macrae, C. N. (2004). The owl and the pussycat: Gaze cues and visuospatial orienting. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*(5), 826–831.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.3758/BF03196708>
- Quintana, J., Davidson, T., Kovalik, E., Marder, S. R., & Mazziotta, J. C. (2001). A compensatory mirror cortical mechanism for facial affect processing in schizophrenia. *Neuropsychopharmacology*, *25*(6), 915–924.  
[https://doi.org/10.1016/s0893-133x\(01\)00304-9](https://doi.org/10.1016/s0893-133x(01)00304-9)
- Redcay, E. (2008). The superior temporal sulcus performs a common function for social and speech perception: implications for the emergence of autism. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *32*(1), 123–142.  
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2007.06.004>
- Redcay, E., Dodell-Feder, D., Pearrow, M. J., Mavros, P. L., Kleiner, M., Gabrieli, J. D. E., & Saxe, R. (2010). Live face-to-face interaction during fMRI: a new tool for social cognitive neuroscience. *Neuroimage*, *50*(4), 1639–1647.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.01.052>
- Redcay, E., Kleiner, M., & Saxe, R. (2012). Look at this: the neural correlates of initiating and responding to bids for joint attention. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, 169.  
<https://doi.org/10.3389%2Ffnhum.2012.00169>
- Remington, R. W., Johnston, J. C., & Yantis, S. (1992). Involuntary attentional capture by abrupt onsets. *Perception & Psychophysics*, *51*(3), 279–290.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.3758/BF03212254>
- Ristic, J., Friesen, C. K., & Kingstone, A. (2002). Are eyes special? It depends on how you look at it. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(3), 507–513.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.3758/BF03196306>
- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2010). The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(4), 264–274.  
<https://doi.org/10.1038/nrn2805>
- Rolls, E. T., Cheng, W., & Feng, J. (2020). The orbitofrontal cortex: reward, emotion and depression. *Brain Communications*, *2*(2), fcaa196.  
<https://doi.org/10.1093%2Fbraincomms%2Ffcaa196>
- Rösler, L., End, A., & Gamer, M. (2017). Orienting towards social features in naturalistic scenes is reflexive. *PLoS One*, *12*(7), e0182037.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182037>

Rossion, B., Caldara, R., Seghier, M., Schuller, A., Lazeyras, F., & Mayer, E. (2003). A network of occipito-temporal face-sensitive areas besides the right middle fusiform gyrus is necessary for normal face processing. *Brain*, *126*(11), 2381–2395.

<https://doi.org/10.1093/brain/awg241>

Saito, D. N., Tanabe, H. C., Izuma, K., Hayashi, M. J., Morito, Y., Komeda, H., Uchiyama, H., Kosaka, H., Okazawa, H., & Fujibayashi, Y. (2010). “Stay tuned”: inter-individual neural synchronization during mutual gaze and joint attention. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *4*, 127.

<https://doi.org/10.3389/fnint.2010.00127>

Sato, W., Kochiyama, T., Uono, S., & Yoshikawa, S. (2009). Commonalities in the neural mechanisms underlying automatic attentional shifts by gaze, gestures, and symbols. *Neuroimage*, *45*(3), 984–992.

<https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.neuroimage.2008.12.052>

Saxe, R. (2006). Uniquely human social cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, *16*(2), 235–239.

<https://doi.org/10.1016/j.conb.2006.03.001>

Schilbach, L., Wilms, M., Eickhoff, S. B., Romanzetti, S., Tepest, R., Bente, G., Shah, N. J., Fink, G. R., & Vogeley, K. (2010). Minds made for sharing: initiating joint attention recruits reward-related neurocircuitry. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(12), 2702–2715.

<https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21401>

Schilbach, L., Wohlschlaeger, A. M., Kraemer, N. C., Newen, A., Shah, N. J., Fink, G. R., & Vogeley, K. (2006). Being with virtual others: Neural correlates of social interaction. *Neuropsychologia*, *44*(5), 718–730.

<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.07.017>

Schneider, F., & Fink, G. R. (2013). *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie*. Springer.

Schultz, J., & Pilz, K. S. (2009). Natural facial motion enhances cortical responses to faces. *Experimental Brain Research*, *194*(3), 465–475.

<https://psycnet.apa.org/doi/10.1007/s00221-009-1721-9>

Senju, A., & Hasegawa, T. (2005). Direct gaze captures visuospatial attention. *Visual Cognition*, *12*(1), 127–144.

<https://psycnet.apa.org/doi/10.1080/13506280444000157>

- Senju, A., & Johnson, M. H. (2009). The eye contact effect: mechanisms and development. *Trends in Cognitive Sciences, 13*(3), 127–134.  
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.11.009>
- Shulman, G. L., Astafiev, S. V., McAvoy, M. P., D'Avossa, G., & Corbetta, M. (2007). Right TPJ deactivation during visual search: functional significance and support for a filter hypothesis. *Cerebral Cortex, 17*(11), 2625–2633.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1093/cercor/bhl170>
- Shulman, G. L., McAvoy, M. P., Cowan, M. C., Astafiev, S. V., Tansy, A. P., D'Avossa, G., & Corbetta, M. (2003). Quantitative analysis of attention and detection signals during visual search. *Journal of Neurophysiology, 90*(5), 3384–3397.  
<https://doi.org/10.1152/jn.00343.2003>
- Slessor, G., Venturini, C., Bonny, E. J., Insch, P. M., Rokaszewicz, A., & Finnerty, A. N. (2016). Specificity of age-related differences in eye-gaze following: evidence from social and nonsocial stimuli. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 71*(1), 11–22.  
<https://doi.org/10.1093/geronb/gbu088>
- Spezio, M. L., Huang, P.-Y. S., Castelli, F., & Adolphs, R. (2007). Amygdala damage impairs eye contact during conversations with real people. *Journal of Neuroscience, 27*(15), 3994–3997.  
<https://doi.org/10.1523/jneurosci.3789-06.2007>
- Stöcker, T., & Shah, N. J. (2007). Grundlagen der MR-Bildgebung. In *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie* (pp. 61–78). Springer.
- Strick, M., Holland, R. W., & van Knippenberg, A. (2008). Seductive eyes: Attractiveness and direct gaze increase desire for associated objects. *Cognition, 106*(3), 1487–1496.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.cognition.2007.05.008>
- Tipper, C. M., Handy, T. C., Giesbrecht, B., & Kingstone, A. (2008). Brain responses to biological relevance. *Journal of Cognitive Neuroscience, 20*(5), 879–891.  
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1162/jocn.2008.20510>
- Tipples, J. (2002). Eye gaze is not unique: Automatic orienting in response to uninformative arrows. *Psychonomic Bulletin & Review, 9*(2), 314–318.  
<https://link.springer.com/article/10.3758/BF03196287>
- Todd, J. J., Fougny, D., & Marois, R. (2005). Visual short-term memory load suppresses temporo-parietal junction activity and induces inattentive blindness. *Psychological Science, 16*(12), 965–972.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01645.x>

Todorov, A., & Engell, A. D. (2008). The role of the amygdala in implicit evaluation of emotionally neutral faces. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(4), 303–312.

<https://doi.org/10.1093%2Fscan%2Fnsn033>

Umarova, R. M., Saur, D., Schnell, S., Kaller, C. P., Vry, M.-S., Glauche, V., Rijntjes, M., Hennig, J., Kiselev, V., & Weiller, C. (2010). Structural connectivity for visuospatial attention: significance of ventral pathways. *Cerebral Cortex*, 20(1), 121–129.

<https://doi.org/10.1093/cercor/bhp086>

Vander Wyk, B. C., Hudac, C. M., Carter, E. J., Sobel, D. M., & Pelphrey, K. A. (2009). Action understanding in the superior temporal sulcus region. *Psychological Science*, 20(6), 771–777.

<https://doi.org/10.1111%2Fj.1467-9280.2009.02359.x>

Vogeley, K., Bussfeld, P., Newen, A., Herrmann, S., Happé, F., Falkai, P., Maier, W., Shah, N. J., Fink, G. R., & Zilles, K. (2001). Mind reading: neural mechanisms of theory of mind and self-perspective. *Neuroimage*, 14(1), 170–181.

<https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0789>

Von Grünau, M., & Anston, C. (1995). The detection of gaze direction: A stare-in-the-crowd effect. *Perception*, 24(11), 1297–1313.

<https://doi.org/10.1068/p241297>

Vossel, S., Geng, J. J., & Fink, G. R. (2014). Dorsal and ventral attention systems: distinct neural circuits but collaborative roles. *The Neuroscientist*, 20(2), 150–159.

<https://doi.org/10.1177/1073858413494269>

Vossel, S., Weidner, R., & Fink, G. R. (2011). Dynamic coding of events within the inferior frontal gyrus in a probabilistic selective attention task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(2), 414–424.

<https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21441>

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. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(10), 1854–1863.

<https://doi.org/10.1162/0898929042947838>

Wandell, B. A., Dumoulin, S. O., & Brewer, A. A. (2007). Visual field maps in human cortex. *Neuron*, 56(2), 366–383.

<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.10.012>

Weiskopf, N., Hutton, C., Josephs, O., & Deichmann, R. (2006). Optimal EPI parameters for reduction of susceptibility-induced BOLD sensitivity losses: a whole-brain analysis at 3 T and 1.5 T. *Neuroimage*, *33*(2), 493–504.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.07.029>

Wicker, B., Perrett, D. I., Baron-Cohen, S., & Decety, J. (2003). Being the target of another's emotion: a PET study. *Neuropsychologia*, *41*(2), 139–146.

[https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/S0028-3932\(02\)00144-6](https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/S0028-3932(02)00144-6)

Williams, J. H. G., Waiter, G. D., Perra, O., Perrett, D. I., & Whiten, A. (2005). An fMRI study of joint attention experience. *NeuroImage*, *25*(1), 133–140.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.10.047>

Wimmer, H., & Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs: Representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition*, *13*(1), 103–128.

[https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/0010-0277\(83\)90004-5](https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/0010-0277(83)90004-5)

Wlodarski, R., & Dunbar, R. I. M. (2016). When BOLD is thicker than water: processing social information about kin and friends at different levels of the social network. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *11*(12), 1952–1960.

<https://doi.org/10.1093/scan/nsw101>

Wohlschläger, A., & Kellermann, T. (2013). Datenanalyse: Vorverarbeitung, Statistik und Auswertung. In *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie* (pp. 151–171). Springer.

## **16. Publikationsverzeichnis**

Posterbeitrag beim Wissenschaftstag der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie des Universitätsklinikums Gießen und Marburg (Standort Gießen) am 24.08.2018 von Maximilian Schneider und Harald Gruppe mit dem Titel : „Der Einfluss sozialer und nicht-sozialer Reizbedingungen auf die Verbundene Aufmerksamkeit“.

## 17. Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.

---

Ort/Datum

---

Maximilian Schneider

## **18. Danksagung**

Ich möchte mich sehr herzlich bei Herrn Prof. Dr. Gebhard Sammer und Herrn Dr. Harald Gruppe für den stetigen konstruktiven und anregenden Austausch bedanken. Ohne Ihre Unterstützung wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen!

Des Weiteren bedanke ich mich beim gesamten Team der Arbeitsgruppe Kognitive Neurowissenschaften des Zentrums für Psychiatrie der JLU Gießen (CNS@ZPG) für die große Offenheit bei Fragen und das kollegiale Miteinander.

Ein besonderer Dank gilt Frau Dr. Ulrike Warmers für die Inspiration zur Promotion und die permanente Unterstützung auf meinem Bildungsweg.

Daneben möchte ich mich bei Sebastian Schneider, Guido Schellen, Dennis Rockenbach und Roberto Burkert für das aufmerksame Gegenlesen, wertvolle Anregungen und die emotionale Unterstützung bedanken.