

**Effekte maskierter visueller Stimuli auf die
Ausführung von konkurrierenden motorischen Reaktionen
und kognitiven Aufgaben**

Dissertation

zur Erlangung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Doktorgrades

"Doctor rerum naturalium"

der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Susan Klapötke (geb. Meißner)

aus Magdeburg

Göttingen 2011

Referent: Prof. Dr. Uwe Mattler

Koreferentin: Prof. Dr. Uta Lass

Tag der mündlichen Prüfung: 06.04.2011

Danksagung

In erster Linie möchte ich mich bei Prof. Dr. Uwe Mattler ganz herzlich für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und die hilfreiche fachliche und menschliche Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit bedanken. Mein Dank gilt ebenso Prof. Dr. Uta Lass, nicht nur für die Begutachtung der Arbeit, sondern auch für die angenehme Zusammenarbeit und die vielen aufmunternden Worte zur richtigen Zeit.

Ich danke auch allen weiteren Kollegen der Abteilung für Experimentelle Psychologie für die Hilfsbereitschaft und fachkundige Unterstützung während der gesamten Zeit meiner Promotion. Ganz lieber Dank gilt dabei insbesondere Daniel Krüger, dessen Hilfe weit über den fachlichen Bereich hinaus ging.

Peggy Sparenberg, Daniel Krüger und Sandra Meißner möchte ich für die Durchsicht der Arbeit danken. An Peggy Sparenberg, deren Freundschaft für mich stets eine große Unterstützung war, geht darüber hinaus mein besonderer Dank.

Wiebke Wölm danke ich für die zuverlässige Hilfe bei der Datenerhebung.

Von ganzem Herzen möchte ich mich bei meinem Mann Henning, meinen Eltern, meinen Großeltern und meiner Schwester für ihren Rückhalt und ihr Verständnis während meiner gesamten Studien- und Promotionszeit bedanken.

Diese Dissertation entstand im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projektes (MA 2276/3-1; MA 2276/3-2).

Zusammenfassung

Das Ausmaß, in dem unbewusste Informationen das menschliche Verhalten beeinflussen können, ist eine zentrale Frage der Neurowissenschaften. Eine Methode, um unbewusste Verarbeitung zu untersuchen, ist das maskierte Priming Paradigma, in dem vor einem relevanten Stimulus ein schlecht sichtbarer Prime dargeboten wird. Der relevante Stimulus dient gleichzeitig als Maske, die die Sichtbarkeit des Primes reduzieren soll. Untersuchungen haben gezeigt, dass der Prime die motorische Reaktion auf den nachfolgenden, bewusst wahrgenommenen Stimulus (Maske) beeinflussen kann. So wird schneller reagiert, wenn Prime und Maske dieselbe Reaktion ankündigen (*Antwort-Priming*). Während Prime und Maske beim Antwort-Priming mit einer motorischen Reaktion verknüpft sind, geben sie beim *Aufgaben-Priming* an, welche von zwei Aufgaben mit einem nachfolgenden Zielreiz ausgeführt werden muss. Auch hier zeigen sich zum Antwort-Priming vergleichbare Effekte mit schnelleren Reaktionen, wenn Prime und Maske dieselbe Aufgabe ankündigen. Interessanterweise ist die Fähigkeit des Primes das Verhalten zu beeinflussen, dabei unabhängig von seiner Sichtbarkeit.

Die beschriebenen Effekte konnten bereits in einer Reihe von Untersuchungen repliziert werden. Dementsprechend versuchen neuere Studien nun die Mechanismen zu verstehen, die diesen Phänomenen zugrunde liegen. Diesem Ziel schließt sich auch die vorliegende Arbeit an, wobei insbesondere die Frage untersucht wurde, ob die Effekte maskierter Stimuli durch einen generellen Mechanismus erzeugt werden. Dabei wurde mit Hilfe von Verhaltensexperimenten und der funktionellen Magnetresonanztomographie untersucht, welche Ebenen der Stimulusverarbeitung an der Entstehung von Priming Effekten beteiligt und welches die zugrunde liegenden neuroanatomischen Strukturen sind. Die Verhaltensexperimente (Experimente 1 - 3) zum *Antwort-Priming* weisen darauf hin, dass der Prime die perzeptuelle Analyse der nachfolgenden Maske und die Reaktionsauswahl beeinflusst. Dies wurde durch eine fMRT Untersuchung (Experiment 5) bestätigt, in der Priming Effekte im visuellen Cortex (BA 17, 18) und in Arealen beobachtet wurden, die an der Steuerung der Auswahl der korrekten motorischen Reaktion beteiligt sein könnten (supplementär motorisches Areal, anteriorer cingulärer Cortex, dorsolateraler präfrontaler Cortex, Sulcus intraparietalis). Darüber hinaus wurden Hinweise darauf gefunden, dass Primes direkt die mit ihnen assoziierte motorische Reaktion im primären motorischen Cortex aktivieren. Die Experimente zum *Aufgaben-Priming* (Experiment 4b, 6) weisen ebenso auf einen Priming Effekt im visuellen System (BA 17, 18) hin. Des Weiteren sprechen sie

dafür, dass Primes das mit ihnen assoziierte Task Set aktivieren und damit einen Einfluss auf die Auswahl der für die auszuführende Aufgabe relevanten Regeln haben (medialer Gyrus frontalis superior, Sulcus intraparietalis, Precuneus, Lobulus parietalis inferior). Für einen Effekt in aufgabenspezifischen Arealen wurden jedoch nur begrenzt Hinweise gefunden. Die Befunde deuten darauf hin, dass Primes sowohl beim Antwort- als auch beim Aufgaben-Priming einen Einfluss auf die frühe perzeptuelle Verarbeitung und auf den Entscheidungsprozess für eine Reaktion oder Aufgabe (Reaktionsauswahl, Aufgabenauswahl) haben. Hinweise auf Effekte auf die Prozesse, die stattfinden, nachdem die Reaktion oder Aufgabe ausgewählt wurde, wurden in beiden Paradigmen begrenzt gefunden. Aus diesem Grund wird angenommen, dass die Effekte maskierter Primes durch einen vergleichbaren Mechanismus gesteuert werden.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Danksagung..... | I |
| Zusammenfassung..... | II |
| Inhaltsverzeichnis..... | IV |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Das Antwort-Priming Paradigma | 3 |
| 1.1.1 Metakontrastmaskierung | 4 |
| 1.1.2 Antwort-Priming: Zeitliche Dynamik und Unabhängigkeit von der Prime Sichtbarkeit | 6 |
| 1.1.3 Grundlagen der Dissoziation von Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit..... | 8 |
| 1.1.4 Mechanismen des Antwort-Priming Effekts | 10 |
| 1.2 Das Aufgaben-Priming Paradigma | 16 |
| 1.2.1 Aufgaben-Priming: Zeitliche Dynamik und Unabhängigkeit von der Prime Sichtbarkeit | 17 |
| 1.2.2 Mechanismen von Aufgaben-Priming Effekten | 19 |
| 1.3 Antwort- und Aufgaben-Priming: Gemeinsamkeiten und Unterschiede | 21 |
| 1.4 Ziel der Dissertation und Überblick über die Experimente | 23 |
| 2 Lokalisation von Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten mit dem Paradigma der Psychologischen Refraktärzeit..... | 25 |
| 2.1 Das Paradigma der Psychologischen Refraktärzeit | 25 |
| 2.1.1 Das Effektabsorptions-Verfahren | 26 |
| 2.1.2 Das Effektübertragungs-Verfahren | 28 |
| 2.2 Antwort-Priming..... | 31 |
| 2.2.1 Experiment 1 | 31 |
| 2.2.1.1 Methode..... | 31 |
| 2.2.1.2 Ergebnisse | 35 |
| 2.2.1.3 Diskussion | 38 |
| 2.2.2 Experiment 2 | 40 |
| 2.2.2.1 Methode..... | 41 |
| 2.2.2.2 Ergebnisse | 42 |
| 2.2.2.3 Diskussion | 44 |
| 2.2.3 Experiment 3 | 46 |
| 2.2.3.1 Methode..... | 47 |
| 2.2.3.2 Ergebnisse | 47 |
| 2.2.3.3 Diskussion | 51 |
| 2.2.4 Diskussion der Experimente 1 - 3 | 52 |
| 2.3 Aufgaben-Priming | 58 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 2.3.1 | Experiment 4a..... | 58 |
| 2.3.1.1 | Methode..... | 58 |
| 2.3.1.2 | Ergebnisse | 62 |
| 2.3.1.3 | Diskussion | 64 |
| 2.3.2 | Experiment 4b | 66 |
| 2.3.2.1 | Methode..... | 66 |
| 2.3.2.2 | Ergebnisse | 68 |
| 2.3.2.3 | Diskussion | 69 |
| 2.4 | Diskussion der Experimente 1 – 4..... | 70 |
| 3 | Neuronale Korrelate von Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten | 73 |
| 3.1 | Experiment 5 – Antwort-Priming | 73 |
| 3.1.1 | Methode..... | 75 |
| 3.1.2 | Ergebnisse | 83 |
| 3.1.2.1 | Verhaltensdaten | 83 |
| 3.1.2.2 | fMRT Analysen..... | 85 |
| 3.1.3 | Diskussion | 90 |
| 3.2 | Experiment 6 – Aufgaben-Priming..... | 96 |
| 3.2.1 | Methode..... | 96 |
| 3.2.2 | Ergebnisse | 103 |
| 3.2.2.1 | Verhaltensdaten | 103 |
| 3.2.2.2 | fMRT Analysen..... | 104 |
| 3.2.3 | Diskussion | 110 |
| 3.3 | Vergleich Antwort-Priming und Aufgaben-Priming..... | 117 |
| 3.3.1 | Methode..... | 118 |
| 3.3.2 | Ergebnisse | 118 |
| 3.3.3 | Diskussion | 120 |
| 4 | Allgemeine Diskussion..... | 125 |
| 4.1 | Antwort-Priming Effekt..... | 125 |
| 4.1.1 | Lokus des Antwort-Priming Effekts..... | 125 |
| 4.1.2 | Mögliche Mechanismen des Antwort-Priming Effekts | 127 |
| 4.2 | Aufgaben-Priming Effekt | 129 |
| 4.2.1 | Lokus des Aufgaben-Priming Effekts | 129 |
| 4.2.2 | Mögliche Mechanismen des Aufgaben-Priming Effekts..... | 130 |
| 4.3 | Gemeinsamkeiten und Unterschiede | 132 |
| 4.4 | Priming und kognitive Kontrollprozesse..... | 135 |
| 4.5 | Unabhängigkeit vom Bewusstsein..... | 135 |

| | | |
|------------------------------------|----------------------------------|------------|
| 4.6 | Fazit und Ausblick..... | 137 |
| 5 | Literaturverzeichnis..... | 138 |
| Anhang I..... | 153 | |
| Anhang II – Tabellen | 165 | |
| Abkürzungsverzeichnis..... | 173 | |
| Abbildungsverzeichnis | 175 | |
| Tabellenverzeichnis | 178 | |
| Lebenslauf | 179 | |

1 Einleitung

Die Frage, ob und in welchem Ausmaß unbewusst präsentierte Informationen unser Verhalten beeinflussen können, ist eine der zentralsten in der Geschichte der Neurowissenschaften. Sie wird seit mehr als einem Jahrhundert untersucht und bis heute intensiv diskutiert (Holender, 1986; Kouider & Dehaene, 2007; Merikle & Daneman, 1998). Bereits 1898 präsentierte Sidis seinen Versuchspersonen Karten mit alphanumerischen Zeichen, die mit einer so großen Distanz dargeboten wurden, dass die Versuchspersonen zunächst angaben, lediglich verschwommene Punkte zu erkennen. Dennoch waren sie nicht nur in der Lage überzufällig zu entscheiden, ob es sich um eine Zahl oder einen Buchstaben handelte, sondern konnten auch die Identität des Zeichens überzufällig korrekt schätzen. Dieser und anderen frühen Studien (Kunst-Wilson & Zajonc, 1980; Peirce & Jastrow, 1884; Stroh, Shaw & Washburn, 1908) wurde jedoch mit erheblicher Skepsis begegnet, da nicht zufriedenstellend gezeigt werden konnte, dass die gemessenen Effekte tatsächlich unabhängig vom Bewusstsein waren (Holender, 1986; Merikle, 1998; Reingold & Merikle, 1993).

Unterstützung fanden diese Untersuchungen durch Beobachtungen an Patienten mit neuropsychologischen Störungen (Covey & Stoerig, 1991; Schweinberger & Stief, 2001; Vuilleumier & Rafal, 1999; Weiskrantz, 2002, 2004). So können Patienten, die einen Neglekt oder Blindsight zeigen, Stimuli, die in einem bestimmten Teil ihres Gesichtsfeldes präsentiert werden, nicht bewusst wahrnehmen. Vuilleumier und Rafal (1999) konnten zeigen, dass diese Patienten nicht in der Lage sind anzugeben, ob überhaupt ein Stimulus dargeboten wurde. Wenn sie jedoch aufgefordert wurden die Stimuli (z.B. Zahlen) zu benennen, antworteten sie überzufällig richtig. Des Weiteren demonstrierten Schweinberger und Stief (2001), dass Neglektpatienten Wörter schneller identifizieren können, wenn dasselbe Wort zuvor schon einmal in dem visuellen Gesichtsfeld dargeboten wurde, in dem sie keine bewusste Stimuluswahrnehmung aufwiesen. Diese Beobachtungen zeigen eindrucksvoll, dass nicht bewusst wahrgenommene Stimuli einen Einfluss auf das Verhalten haben können.

In den vergangenen Jahren wurde der Effekt unbewusster Stimuli auf das Verhalten typischerweise in Maskierungsexperimenten untersucht. In diesen wird die Sichtbarkeit visueller Stimuli durch die Präsentation einer visuellen Maske eingeschränkt. Dabei wird

der Effekt eines kurz dargebotenen maskierten visuellen Stimulus auf die Verarbeitung eines nachfolgenden gut sichtbaren Zielreizes geprüft. Es wurde festgestellt, dass schneller auf den Zielreiz reagiert werden kann, wenn dieser identisch zum maskierten Stimulus war (Fehrer & Raab, 1962; Neumann & Klotz, 1994). Dieses Phänomen wird als Priming bezeichnet. Empirische Befunde sprechen dafür, dass die Kapazität eines Stimulus, das Verhalten zu beeinflussen, unabhängig von seiner Sichtbarkeit ist (z.B. Vorberg, Mattler, Heinecke, Schmidt & Schwarzbach, 2003). Interessanterweise deuten Ergebnisse von Mattler (2003, 2005) darauf hin, dass nicht nur Reaktionen auf einen Zielreiz, sondern auch kognitive Prozesse wie die Verschiebung der Aufmerksamkeit oder die Ausführung einer Aufgabe in vergleichbarer Weise durch maskierte Stimuli beeinflusst werden könnten. Diese Beobachtung legt die Vermutung nahe, dass die den Effekten maskierter Stimuli zugrunde liegenden Mechanismen genereller Natur sind. Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit eben diesen Mechanismen. Um sie zu identifizieren, wurden sowohl Verhaltensexperimente als auch kernspintomographische Untersuchungen durchgeführt.

Im Kapitel 1 werden die Paradigmen vorgestellt, mit denen der Effekt maskierter Stimuli auf die Klassifikation eines Zielreizes (Antwort-Priming Paradigma) und auf höhere kognitive Prozesse (Aufgaben-Priming Paradigma) untersucht werden soll. Dabei wird zunächst das *Antwort-Priming Paradigma* beschrieben. Es werden empirische Befunde dargelegt, die den Antwort-Priming Effekt, insbesondere in Hinblick auf dessen Abhängigkeit von der Sichtbarkeit der maskierten Stimuli, charakterisieren. Anschließend wird auf mögliche zugrunde liegende Mechanismen eingegangen. Im zweiten Teil des ersten Kapitels wird das *Aufgaben-Priming Paradigma* beschrieben. Zunächst werden Eigenschaften des Aufgaben-Priming Effekts und anschließend mögliche Mechanismen dargestellt. Zum Abschluss des ersten Kapitels wird auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Aufgaben- und Antwort-Priming Effekten eingegangen. In den folgenden zwei Kapiteln werden die empirischen Untersuchungen vorgestellt, in denen die für das Antwort- und das Aufgaben-Priming verantwortlichen Mechanismen untersucht wurden. Dabei werden im Kapitel 2 die Verhaltensexperimente und im Kapitel 3 die kernspintomographischen Untersuchungen beschrieben. Im vierten Kapitel werden alle durchgeführten Untersuchungen zusammengefasst und abschließend diskutiert.

1.1 Das Antwort-Priming Paradigma

Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass Versuchspersonen schneller auf einen visuellen Stimulus reagieren können, wenn dieser kurz zuvor schon einmal dargeboten wurde (z.B. Klotz & Wolff, 1995; Klotz & Neumann, 1999; Mattler, 2003; Schmidt, 2000; 2002; Vorberg, Mattler, Schmidt, Heinecke & Schwarzbach, 2003). Vorberg und Kollegen (2003) beispielsweise präsentierten ihren Versuchspersonen einen nach links oder rechts weisenden Pfeil, wobei die Aufgabe darin bestand, die Orientierung des Pfeils so schnell und so fehlerfrei wie möglich anzugeben (Abbildung 1.1 A). Eine Reaktion mit dem linken Zeigefinger war erforderlich, wenn der Pfeil nach links zeigte und eine Reaktion mit dem rechten Zeigefinger, wenn dieser nach rechts zeigte. Vor diesem Zielreiz wurde für wenige Millisekunden (ms) ein weiterer Pfeil präsentiert, der entweder die identische (*kongruent*) oder die entgegengesetzte Richtung (*inkongruent*) des Zielreizes angab. Dieser erste Stimulus wird auch als *Prime* bezeichnet. Der Zielreiz diente gleichzeitig als *Maske*, um die Sichtbarkeit des Primes zu reduzieren. Typischerweise wurden in kongruenten Durchgängen schnellere und weniger fehlerhafte

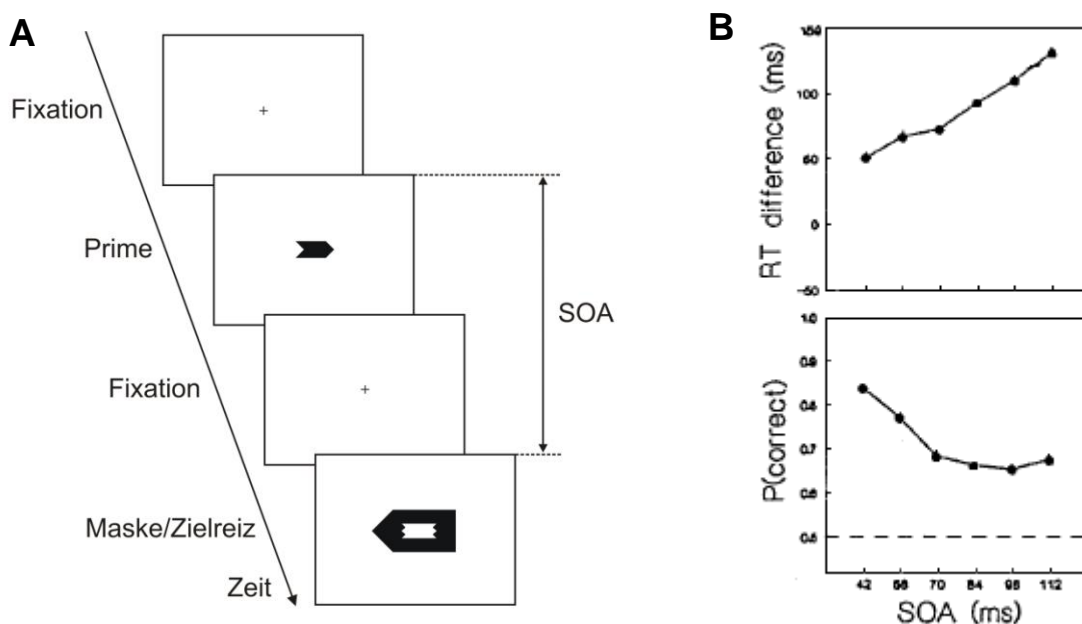


Abb. 1.1 Experimenteller Ablauf und Ergebnisse bei Vorberg und Kollegen (2003). (A) Ablauf eines Durchgangs. Die Versuchspersonen reagierten auf die Richtung des Pfeils (= Maske/Zielreiz). In diesem Beispiel ist eine inkongruente Prime-Masken Kombination dargestellt. Der zeitliche Abstand zwischen Prime und Maske (SOA; engl. Stimulus Onset Asynchrony) wird typischerweise in mehreren Schritten variiert. (B) Dargestellt ist der Priming Effekt als Differenz zwischen Reaktionszeiten in inkongruenten und kongruenten Durchgängen (oben) und der prozentuale Anteil an korrekten Reaktionen in der Prime Identifikation (unten) in Abhängigkeit vom Prime-Masken SOA. Während der Antwort-Priming Effekt mit steigendem SOA zunimmt, sinkt die Prime Sichtbarkeit (Doppelte Dissoziation) (aus Vorberg et al., 2003).

Reaktionen beobachtet als in inkongruenten Durchgängen. Der Einfluss eines Primes auf die Klassifikation eines nachfolgenden Zielreizes wird häufig als Differenz zwischen den Reaktionszeiten (RTn) bzw. Fehlerraten in inkongruenten und kongruenten Durchgängen quantifiziert. Man spricht dann vom *Antwort-Priming Effekt*.

Um zu untersuchen, ob dieser Priming Effekt von einer bewussten Prime Wahrnehmung abhängig ist, wird auch die Prime Sichtbarkeit überprüft. Vorberg und Kollegen (2003) beispielsweise forderten die Versuchspersonen in einer gesonderten Sitzung auf, die Identität des Primes (nach links vs. nach rechts weisender Pfeil) per Tastendruck anzugeben. Dabei konnte gezeigt werden, dass der Priming Effekt auch dann auftritt, wenn der Prime nicht bewusst wahrgenommen werden kann.

In den folgenden Abschnitten soll dieser Antwort-Priming Effekt näher charakterisiert werden. Dabei wird zunächst die Methode der Metakontrastmaskierung beschrieben, die bereits in einer Reihe von Untersuchungen (z.B. Klotz & Wolff, 1995; Klotz & Neumann, 1999; Mattler, 2003, 2005, 2006; Vorberg et al., 2003) und auch in den vorliegenden Experimenten eingesetzt wurde, um die Sichtbarkeit des Primes zu reduzieren. Anschließend wird auf den Zusammenhang zwischen Priming Effekt und bewusster Prime Wahrnehmung eingegangen, um abschließend mögliche Mechanismen zu diskutieren, die dem Antwort-Priming Effekt zugrunde liegen könnten.

1.1.1 Metakontrastmaskierung

Um zu zeigen, dass der Antwort-Priming Effekt von einer bewussten Prime Wahrnehmung dissoziiert ist, muss die Sichtbarkeit des Primes manipuliert werden. Eine bewährte Methode ist die visuelle Maskierung, bei welcher durch Präsentation eines visuellen Stimulus (= Maske) die Sichtbarkeit eines zweiten Stimulus (= Prime) eingeschränkt wird, der ohne diese Maske gut sichtbar gewesen wäre. Hierbei wird zwischen Vorwärts- und Rückwärtsmaskierung unterschieden, wobei die Maske bei der ersten Form vor und bei der zweiten Form nach dem zu maskierenden Stimulus (d.h. dem Prime) präsentiert wird. Eine besondere Form der Rückwärtsmaskierung ist die *Metakontrastmaskierung*. Bei der Metakontrastmaskierung grenzen der zu maskierende Stimulus und die Maske räumlich aneinander ohne dabei zu überlappen (Abbildung 1.1 A). Bereits Werner (1935) nutzte diese Form der Maskierung, um die Sichtbarkeit eines Stimulus zu reduzieren. Er präsentierte eine Scheibe, die von einem

Ring als Maske gefolgt wurde. Die innere Kontur der Maske grenzte dabei an die äußere Kontur der Scheibe. Die Sichtbarkeit der Scheibe wurde dadurch stark reduziert.

Breitmeyer und Ögmen (2006) konnten zeigen, dass die Stärke der Maskierung von verschiedenen Parametern abhängt. Eine bedeutende Rolle spielt das Energieverhältnis von Maske und Prime, welches unter anderem durch die Präsentationsdauer, die Intensität und den Kontrast beider Stimuli bestimmt wird. Ein weiterer wesentlicher Parameter ist die zeitliche Differenz zwischen dem Erscheinen des Primes und dem Erscheinen der Maske (SOA; engl. Stimulus Onset Asynchrony). In Bezug auf dieses SOA unterscheidet man zwischen zwei verschiedenen Maskierungstypen (Abbildung 1.2). Bei der Typ A Maskierung zeigt sich eine monoton mit dem SOA ansteigende Maskierungsfunktion, d.h., die Sichtbarkeit erhöht sich mit zunehmendem SOA. Bei der Typ B Maskierung folgt die Prime Sichtbarkeit einem umgekehrt u-förmigen Verlauf mit einer maximalen Maskierung (minimale Sichtbarkeit) im mittleren SOA Bereich (Breitmeyer & Ögmen, 2006). Die Form der Maskierungsfunktion hängt nach Breitmeyer und Ögmen (2006) vom Energieverhältnis zwischen Maske und Prime ab. Wenn dieses einen Wert von eins übersteigt (die Maske also eine höhere Energie hat als der zu maskierende Stimulus), dann resultiert eine Typ A Maskierungsfunktion, im anderen Fall eine Typ B Maskierungsfunktion. Kürzlich wurde jedoch berichtet, dass Versuchspersonen auch bei gleich bleibenden physikalischen Bedingungen individuelle Unterschiede hinsichtlich der

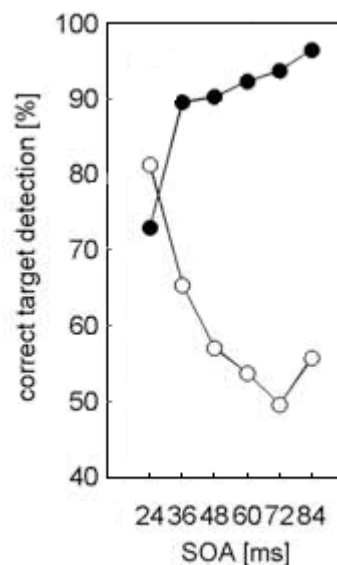


Abb. 1.2 Identifikationsleistung in Abhängigkeit vom Prime-Masken SOA. Die Versuchspersonen haben die Aufgabe den Prime zu identifizieren. Typ A (geschlossene Symbole) und Typ B (offene Symbole) Maskierungsfunktion (aus Albrecht et al., 2009).

Maskierungsfunktion zeigen (Albrecht, Klapötke & Mattler, 2009). So wird bei einigen Versuchspersonen bereits nach wenigen Durchgängen eine typische Typ A Funktion beobachtet; andere wiederum entwickeln relativ schnell eine Typ B Funktion. Das zeigt, dass sich Personen darin unterscheiden, wie sie die Stimulussequenz verarbeiten, was unter gleich bleibenden Bedingungen unterschiedliche Maskierungsfunktionen zur Folge haben kann.

Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass die Metakontrastmaskierung ein geeignetes Mittel darstellt, um die Prime Sichtbarkeit zu manipulieren und damit den Priming Effekt von einer bewussten Prime Wahrnehmung zu dissoziieren (u.a. Neumann & Klotz, 1994; Mattler, 2003; Vorberg et al., 2003). Darauf wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

1.1.2 Antwort-Priming: Zeitliche Dynamik und Unabhängigkeit von der Prime Sichtbarkeit

Eine große Herausforderung der vergangenen Jahre war die Klärung der Frage, ob der Antwort-Priming Effekt von der Sichtbarkeit des Primes abhängt. Dabei demonstrierten Neumann und Klotz (1994), dass das Potenzial eines Stimulus, Reaktionen auszulösen, nicht an dessen bewusste Wahrnehmung gebunden ist. In ihren Experimenten hatten die Versuchspersonen die Aufgabe einen Zielreiz zu klassifizieren. Vor diesem Zielreiz wurde ein Prime präsentiert, der entweder in dieselbe Kategorie wie der Zielreiz fiel und somit dieselbe Reaktion erforderte (kongruent), in die alternative Kategorie fiel und somit die alternative Reaktion erforderte (inkongruent) oder keine aufgabenrelevante Information enthielt (neutral). Der Zielreiz diente gleichzeitig als Metakontrast Maske für den Prime. Neumann und Klotz (1994) beobachteten einen typischen Antwort-Priming Effekt mit schnelleren und weniger fehlerhaften Reaktionen in kongruenten verglichen mit inkongruenten Durchgängen. Um zu überprüfen, ob dieser Effekt des Primes von dessen Sichtbarkeit abhing, führten sie einen Sichtbarkeitstest durch. In einer gesonderten Sitzung wurde den Versuchspersonen dieselbe Stimulussequenz erneut präsentiert. Diesmal sollten sie jedoch auf einer 5-stufigen Skala angeben, wie sicher sie sich waren, ob der Prime aufgabenrelevante Information (kongruent, inkongruent) oder keine aufgabenrelevante Information enthielt (neutral). Die Analyse dieser Daten ergab, dass aufgabenrelevante (kongruente oder inkongruente) Primes nicht von neutralen Primes unterschieden werden

konnten. Während sich also ein Effekt des Primes auf die RTn und Fehlerraten zeigte, konnte dessen aufgabenrelevantes Merkmal nicht überzufällig wahrgenommen werden. Das Vorhandensein eines Priming Effekts bei gleichzeitiger Abwesenheit einer bewussten Prime Wahrnehmung wird auch als *einfache Dissoziation* bezeichnet (Schmidt & Vorberg, 2006). Vorberg und Kollegen (2003) erweiterten das Paradigma von Neumann und Klotz (1994) und variierten zusätzlich zur Prime-Masken Kongruenz das SOA zwischen beiden Stimuli, um die Sichtbarkeit des Primes zu modulieren (Breitmeyer & Ögmen, 2006). Sie konnten somit die Frage untersuchen, ob das Ausmaß, in dem ein Stimulus das Verhalten beeinflusst gleichermaßen mit einer veränderten Sichtbarkeit dieses Prime Stimulus variiert. Wie bereits beschrieben (Abbildung 1.1 A), präsentierten sie ihren Versuchspersonen einen nach links oder rechts weisenden Pfeil als Prime beziehungsweise Maske (= Zielreiz), wobei ersterer direkt in den Innenausschnitt der Maske passte (Metakontrastmaskierung). In ihrem ersten Experiment zeigte sich, dass der Antwort-Priming Effekt nahezu linear mit dem Prime-Masken SOA zunahm. Auch hier wurde ein Sichtbarkeitstest durchgeführt, in dem die Versuchspersonen ohne Zeitdruck die Richtung des Primes angeben sollten. Die Primes konnten dabei im gesamten SOA Bereich (14 – 84 ms) nicht überzufällig diskriminiert werden. Dies entspricht der von Neumann und Klotz (1994) beschriebenen einfachen Dissoziation. Im zweiten Experiment variierten sie unter anderem zusätzlich die Präsentationsdauer des Primes (14 vs. 42 ms). Diese Variation führte zu einer qualitativen Veränderung der Maskierungsfunktion. Bei kurz dargebotenen Primes (14 ms) wurde eine Typ A Maskierung und bei lang dargebotenen Primes (42 ms) eine Typ B Maskierung beobachtet. Der Priming Effekt hingegen nahm unabhängig vom Typ der Maskierungsfunktion linear mit steigendem SOA zu. Für den Fall einer Typ B Maskierungsfunktion konnte darüber hinaus ein entgegengesetzter Verlauf von Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit gezeigt werden: Während der Priming Effekt mit steigendem SOA zunahm, zeigte sich gleichzeitig eine Abnahme der Prime Sichtbarkeit (Abbildung 1.1 B). Dies wird auch als *doppelte Dissoziation* von Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit bezeichnet. Daraus schlussfolgerten die Autoren, dass die Verarbeitungsprozesse, die dem Priming Effekt zugrunde liegen, unabhängig von dem Ausmaß sind, in dem der Prime bewusst verarbeitet wird. Oder anders ausgedrückt: Die Mechanismen, die für die Entstehung des Priming

Effekts verantwortlich sind, müssen unabhängig sein von den Verarbeitungsprozessen, die Grundlage für eine bewusste Prime Wahrnehmung sind.

Einen weiteren Hinweis auf die Unabhängigkeit der Prozesse, die an der bewussten Prime Wahrnehmung und an der Entstehung des Priming Effekts beteiligt sind, liefern Untersuchungen von Albrecht und Kollegen (2009). Sie konnten zeigen, dass Übung zwar die Identifikationsleistung beeinflusst und zu einer Erhöhung der Prime Sichtbarkeit führt, nicht jedoch den Antwort-Priming Effekt verändert.

In verschiedenen Untersuchungen konnte somit demonstriert werden, dass Antwort-Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit voneinander dissoziiert sind. Der Verlauf des Priming Effekts blieb unverändert – egal ob die Maskierung perfekt war (einfache Dissoziation), ob sie einer Typ A oder einer Typ B (doppelte Dissoziation) Funktion folgte (Vorberg et al., 2003). Dabei nimmt das Konzept der doppelten Dissoziation einen besonderen Stellenwert ein. Zum einen zeigt es, dass beide Maße einen gegensätzlichen Verlauf aufweisen. Zum anderen kann auch dann, wenn die Prime Sichtbarkeit nicht bei Zufallsniveau liegt, gezeigt werden, dass die den beiden Maßen zugrunde liegenden Mechanismen voneinander unabhängig sind.

1.1.3 Grundlagen der Dissoziation von Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit

Um die Dissoziation zwischen Priming Effekt und Prime Bewusstsein zu verstehen, wurden verschiedene theoretische Modelle vorgeschlagen. Dazu zählen zum einen das Akkumulator Modell (Vorberg et al., 2003) und das Konzept der direkten Parameterspezifikation (Klotz & Neumann, 1999). Das von Vorberg und Kollegen (2003) beschriebene Akkumulator Modell versucht insbesondere die SOA Abhängigkeit des Priming Effekts zu erklären. Dieses Modell nimmt zwei Akkumulatoren an, wobei einer Evidenz für die linke und der andere Evidenz für die rechte Reaktion sammelt. Die Akkumulatoren erhalten Input aus einem sensorischen Speicher, in dem sensorische Stimulusinformation verbleibt, bis neue Information in diesen Speicher gelangt. Es wird angenommen, dass sich beide Akkumulatoren gegenseitig hemmen und dass eine Reaktion dann ausgelöst wird, wenn der Aktivierungsunterschied zwischen den Akkumulatoren eine kritische Schwelle übersteigt. Wichtig ist, dass Prime und Maske (Zielreiz) für die Akkumulation gleich effektiv sind, d.h. die Akkumulatoren können von

Prime und Maske in der gleichen Zeit gleich stark aktiviert werden. Zunächst gelangt die Prime Information in den sensorischen Speicher, so dass die initiale Akkumulationsphase durch den Prime bestimmt wird. Ein kongruenter Prime führt zu einer Aktivierung des für die korrekte Reaktion zuständigen Akkumulators und ein inkongruenter Prime aktiviert den Akkumulator, der für die inkorrekte Reaktion zuständig ist. Dieser Akkumulationsprozess dauert so lange an, bis die Maske in den sensorischen Speicher gelangt. Von diesem Zeitpunkt an bestimmt sie den Akkumulationsprozess. Da ein kongruenter Prime die Akkumulation in Richtung der korrekten Reaktion und ein inkongruenter Prime in Richtung der inkorrekten Reaktion beeinflusst, wird die Schwelle zur Auslösung der Reaktion im ersten Fall schneller erreicht als im zweiten Fall. Die Zunahme des Priming Effekts mit steigendem SOA kann dadurch erklärt werden, dass der Prime die Akkumulation so lange bestimmt bis die Maske präsentiert wird. Es konnte gezeigt werden, dass dieses Modell die empirischen Daten gut abbilden kann (Vorberg et al. 2003).

Klotz und Neumann (1999) hingegen erklären die Dissoziation zwischen Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit mit dem Konzept der direkten Parameterspezifikation. Sie nehmen an, dass Informationen in parallelen Pfaden verarbeitet werden. Während ein Pfad in die bewusste Stimuluswahrnehmung involviert ist, ist der andere verantwortlich für die visuomotorische Verhaltensregulation. Über letzteren führt das Ergebnis der sensorischen Analyse des Primes direkt zu einer Festlegung von motorischen Parametern, ohne dabei die Verarbeitungsstufen des ersten Pfades zu passieren, die eine bewusste Erfahrung generieren. Der Priming Effekt entsteht also durch eine Etablierung von direkten, vorübergehenden Stimulus-Reaktion Verknüpfungen, die unabhängig von den Prozessen der bewussten Prime Wahrnehmung sind.

Eine solche Dichotomie zwischen Wahrnehmung und Handlung findet sich auch in neuroanatomischen Konzepten, zum Beispiel bei der Unterscheidung zwischen ventralem und dorsalem Pfad der visuellen Informationsverarbeitung (Milner & Goodale, 1995). Während der ventrale Pfad („Was-Pfad“) verantwortlich ist für die Objekterkennung, ist der dorsale Pfad („Wie-“ oder „Handlungspfad“) in die visuomotorische Kontrolle involviert. Eine Maskierung könnte somit die bewusste Objekterkennung beeinträchtigen, ohne die visuomotorische Verarbeitung zu beeinflussen.

Darüber hinaus gibt es aktuellere Theorien (Lamme, Zipser & Spekreijse, 2002), die annehmen, dass ein visueller Stimulus Aktivierungen auslöst, die in frühen posterioren Hirnarealen beginnen und sich in höhere anteriore Areale fortsetzen. Der primäre visuelle Cortex (V1) wird dabei ca. 40 ms nach Beginn der Stimuluspräsentation erreicht, von dort wird die visuelle Information dann relativ schnell an extrastriale, parietale und temporale Areale weiter geleitet (nach ca. 60 ms). Dieser so genannte „feedforward sweep“ der Informationsverarbeitung ist nicht mit einer bewussten Stimuluswahrnehmung verbunden. Nach ca. 100 ms folgen auf diese vorwärtsgerichtete Informationsverarbeitung rekurrente Interaktionen zwischen höheren kortikalen und frühen visuellen Arealen. Dieser rückwärtsgerichtete Informationsfluss ist Voraussetzung für eine bewusste visuelle Wahrnehmung. Auch diese Theorie lässt sich in Einklang mit der Dissoziation zwischen Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit bringen. So könnte der maskierte Prime immer noch eine hinreichende „feedforward“ Aktivierung in visuellen und nicht-visuellen Arealen auslösen und dadurch einen Einfluss auf das Verhalten haben. Die rückwärtsgerichteten Interaktionen werden jedoch durch die Maskierung unterbrochen, was die bewusste Prime Wahrnehmung einschränkt. In einer TMS (Transkranielle Magnetstimulation) Studie konnte beispielsweise gezeigt werden, dass die Unterbrechung der rekurrenten Verarbeitung des Primes durch einen TMS Puls zwar zu einer Reduktion der Prime Sichtbarkeit führt, der Antwort-Priming Effekt jedoch gleichzeitig erhalten blieb (Sack, van der Mark, Schuhmann, Schwarzbach & Goebel, 2009).

Diese Konzepte beschreiben zwar eine mögliche neuronale Grundlage für die Dissoziation zwischen Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit, lassen jedoch die Frage nach den genauen Mechanismen, die dem Antwort-Priming Effekt zugrunde liegen, unbeantwortet. Im folgenden Abschnitt wird daher näher auf mögliche Mechanismen eingegangen, welche für die Entstehung des Antwort-Priming Effekts verantwortlich sein könnten.

1.1.4 Mechanismen des Antwort-Priming Effekts

Das Antwort-Priming Paradigma hat sich mittlerweile etabliert und wurde in einer Reihe von Untersuchungen angewandt, um den Effekt unbewusster Stimuli zu untersuchen (Dehaene et al., 1998; Dell’Aqua & Grainger, 1999; Greenwald, Draine & Abrams, 1996; Klotz & Neumann, 1999; Neumann & Klotz, 1994; Vorberg et al., 2003).

Entsprechend hat sich das Interesse gewandelt und man versucht nun die Mechanismen zu verstehen, die diesem Phänomen zugrunde liegen.

Dabei ist es in den kognitiven Wissenschaften verbreitet, menschliches Verhalten als eine Abfolge von Verarbeitungsprozessen zu begreifen, um die Identität der beteiligten Prozesse zu bestimmen (Hommel, 2006). Diese Stufenlogik findet sich bereits bei Donders (1868) und Neisser (1967) und entspricht ebenso unserem Alltagsverständnis menschlichen Handelns: So werden zunächst Informationen gesammelt, auf deren Basis wird über die beste Handlungsstrategie entschieden, um anschließend die entsprechende Handlung auszuführen. Bei der Frage, wie der Prime die nachfolgende Reaktion auf den Zielreiz beeinflusst, kann dementsprechend die Beteiligung folgender Verarbeitungsprozesse angenommen werden: Zunächst muss der Zielreiz perzeptuell analysiert werden. Es schließt sich ein Entscheidungsprozess an, in dessen Verlauf nicht nur eine Entscheidung bezüglich der passenden Reaktion getroffen wird, sondern diese auch ausgewählt werden muss. Anschließend wird die ausgewählte Reaktion vorbereitet und ausgeführt. Prinzipiell könnte der Prime jeden dieser Verarbeitungsprozesse beeinflussen.

Perzeptuelle Mechanismen

Da der Zielreiz (Maske) zunächst perzeptuell analysiert werden muss, ist es denkbar, dass diese perzeptuelle Analyse durch den Prime moduliert wird. So sind kongruente Primes dem Zielreiz in der Regel perzeptuell ähnlich, was zu einer Erleichterung der visuellen Verarbeitung des Zielreizes führen könnte. Inkongruente Primes hingegen sind dem Zielreiz eher perzeptuell unähnlich, was eine Erschwerung seiner visuellen Analyse zur Folge haben könnte.

Verschiedene Untersuchungen sprechen dafür, dass zumindest Teile des Effekts auf visuellen Ebenen der Verarbeitung entstehen könnten. In einer Studie von Bodner und Dypvik (2005) beispielsweise wurden die Probanden instruiert anzugeben, ob eine präsentierte Zahl gerade oder ungerade ist. Vor diesem Zielreiz wurde als Prime ebenfalls eine Zahl präsentiert. Prime und Zielreiz konnten dabei kongruent und perzeptuell identisch (z.B. 1 - 1), kongruent aber perzeptuell verschieden (z.B. 1 - 3) oder inkongruent und perzeptuell verschieden (z.B. 1 - 2) sein. Es zeigte sich, dass die Versuchspersonen schneller reagierten, wenn Prime und Zielreiz perzeptuell identisch waren als wenn diese zwar kongruent aber perzeptuell verschieden waren. Dieses Ergebnis spricht dafür, dass

die perzeptuelle Ähnlichkeit zwischen Prime und Zielreiz zum Priming Effekt beiträgt. Jedoch zeigten sich im Vergleich zu kongruenten, unähnlichen Primes langsamere Reaktionen, wenn inkongruente Primes dargeboten wurden. Das ist ein Hinweis darauf, dass neben perzeptuellen Prozessen auch nicht-perzeptuelle Prozesse von Bedeutung sind. Diese Ergebnisse werden durch Untersuchungen von Dehaene und Kollegen (2001, 2004) unterstützt, die Priming Effekte von verbalen Stimuli im visuellen System zeigten. In diesen Untersuchungen reduzierte sich die Aktivität in spezifischen Regionen des visuellen Systems, wenn nach einem subliminal präsentierten Prime Wort das identische Wort noch einmal als Zielreiz dargeboten wurde. Dabei zeigte sich in frühen visuellen Arealen (extrastriärer Cortex) nur dann ein Effekt, wenn Prime-Wort und Ziel-Wort beide entweder in Groß- oder Kleinschrift dargeboten wurden und damit perzeptuell absolut identisch waren. Dies spricht dafür, dass die visuelle Enkodierung erleichtert wird, wenn zweimal hintereinander der identische Stimulus dargeboten wird, obwohl ersterer nicht bewusst wahrgenommen werden kann. In späteren visuellen Arealen (linker Gyrus fusiformis) wurde eine Reduktion der Aktivierung jedoch auch dann beobachtet, wenn Prime und Zielreiz in unterschiedlicher Schriftform präsentiert wurden (z.B. RAGE - rage), so dass sich die perzeptuellen Merkmale deutlich voneinander unterscheiden. Dies spricht dafür, dass auch spezifische Informationen bezüglich der Identität des Wortes extrahiert und enkodiert wurden. In Übereinstimmung mit Bodner und Dypvik (2005) weisen diese Befunde darauf hin, dass ein Teil des Priming Effekts perzeptueller Natur ist, dass aber auch noch andere nicht-perzeptuelle Mechanismen an dessen Entstehung beteiligt zu sein scheinen.

Gegen einen Antwort-Priming Effekt im visuellen System spricht jedoch eine elektrophysiologische Untersuchung von Leuthold und Kopp (1998), in der kein Einfluss von Primes auf den Verlauf oder die Amplitude von visuellen ereigniskorrelierten Potenzialen gefunden wurde.

Zentrale Mechanismen

An die perzeptuelle Analyse des Zielreizes schließt sich ein Entscheidungsprozess an, in dessen Verlauf die adäquate Reaktion ausgewählt werden muss. Es wäre vorstellbar, dass inkongruente Primes diesen Entscheidungs- und Reaktionsauswahlprozess erschweren und damit ein Teil des Antwort-Priming Effekts auf dieser zentralen Stufe der Verarbeitung entsteht.

Hinweise dafür finden sich beispielsweise in einer elektrophysiologischen Untersuchung von Dehaene und Kollegen (1998), in der die Versuchspersonen eine Zahl als größer oder kleiner fünf klassifizieren mussten. Vor dieser Zahl wurde ein Prime präsentiert, der ebenfalls größer oder kleiner fünf sein konnte. Es zeigte sich, dass eine zentral gemessene Positivität in inkongruenten Durchgängen im Vergleich zu kongruenten Durchgängen verzögert auftrat. Diese Verzögerung wurde als Konflikt im Reaktionsauswahlprozess interpretiert. Hinweise darauf, dass unbewusste Primes den Reaktionsauswahlprozess beeinflussen, kommen außerdem von einer fMRT Untersuchung (van Gaal, Scholte, Lamme, Fahrenfort & Ridderinkhof, 2010), in der kürzlich gezeigt werden konnte, dass die neuronale Dichte in der präsupplementär motorischen Area (präSMA) negativ mit dem Antwort-Priming Effekt auf Verhaltensebene korreliert: je höher die neuronale Dichte, desto geringer war der Priming Effekt. Da der präSMA insbesondere eine Rolle in der Steuerung der Auswahl angemessener Reaktionen zugeschrieben wird, spricht der negative Zusammenhang dafür, dass Versuchspersonen mit einer hohen neuronalen Dichte in der präSMA besser in der Lage sind, die passende Reaktion in einer konflikthaften Situation auszuwählen als Personen mit einer geringen neuronalen Dichte. Inkongruente Primes haben damit einen weniger starken Einfluss auf die RT, was sich in einem geringeren Priming widerspiegelt. Gleichzeitig liefern die Ergebnisse Belege dafür, dass Primes diesen Reaktionsauswahlprozess beeinflussen könnten.

Gegen einen Priming Effekt im zentralen System spricht hingegen eine fMRT Studie von Dehaene und Kollegen (2003), in der Priming Effekte von bewusst (unmaskiert) und unbewusst (maskiert) wahrgenommenen Primes untersucht wurden. Die Autoren berichteten, dass nur bewusst wahrgenommene inkongruente Primes zu einer Aktivierung des anterioren cingulären Cortex (ACC) führten, welcher an der Entdeckung von Reaktionskonflikten beteiligt ist (Botvinick, Nytrom, Fissel, Carter & Cohen, 1999; Cohen, Botvinick & Carter, 2000; Mac Donald, Cohen, Stenger & Carter, 2000). Für subliminale Primes hingegen wurde kein vergleichbarer Priming Effekt im ACC gefunden. Dehaene und Kollegen (2003) schlussfolgerten, dass nur bewusste Kontrollprozesse durch den ACC gesteuert werden, wohingegen subliminale Primes nicht zu einer Aktivierung des zentralen Kontrollsystems führen. Diese Daten schließen die Beeinflussung von zentralen Kontrollprozessen durch subliminale Stimuli jedoch nicht

grundsätzlich aus, da in den Verhaltensdaten dieser Studie deutlich größere Priming Effekte für unmaskierte Primes (ca. 34 ms) im Vergleich zu maskierten Primes (ca. 12 ms) beobachtet wurden. Der verhältnismäßig kleine Priming Effekt maskierter Primes könnte somit von einem relativ geringen Reaktionskonflikt begleitet gewesen sein, der nicht ausreichte um eine ACC Aktivierung durch inkongruente Primes nachzuweisen. Darüber hinaus ist nicht nur der ACC an zentralen Kontrollprozessen beteiligt. Er wird zwar mit dem Erkennen von Reaktionskonflikten in Verbindung gebracht, jedoch sind vor allem Areale im lateralen präfrontalen Cortex (LPFC) (Mac Donald et al., 2000; Miller & Cohen, 2001), aber auch andere frontale, präfrontale, mediale und parietale Hirnregionen an top-down gesteuerten Kontrollprozessen beteiligt (Braver, Reynolds & Donaldson, 2003; Cole & Schneider, 2007; Crone, Wendelken, Donohue & Bunge, 2006; Fan, McCandliss, Fossella, Flombaum, & Posner, 2005; Fincham & Anderson, 2006; Sakai & Passingham, 2006).

Die Ergebnisse aus diesen Studien sprechen weder eindeutig für (van Gaal et al., 2010) noch gegen (Dehaene et al., 2003) einen Priming Effekt auf Entscheidungsebene. Somit bleibt unklar, ob Teile des Antwort-Priming Effekts auf zentralen Ebenen der Stimulusverarbeitung entstehen.

Motorische Mechanismen

An den Reaktionsauswahlprozess schließt sich unmittelbar die Vorbereitung und Ausführung der motorischen Reaktion an. Auch dieser Prozess könnte durch Primes moduliert werden, indem sie die mit ihnen assoziierte motorische Reaktion direkt aktivieren. Kongruente Primes würden die korrekte Reaktion voraktivieren, so dass die Aktivierungsschwelle zur Ausführung der Reaktion relativ schnell überschritten wird, nachdem der Zielreiz präsentiert wurde. Inkongruente Primes hingegen könnten die irrelevante Reaktion aktivieren, mit der Folge, dass die Schwelle zur Ausführung der korrekten Reaktion relativ spät überschritten wird, nachdem der Zielreiz präsentiert wurde.

Die stärksten Hinweise für einen Priming Effekt im motorischen System liefern elektrophysiologische Studien, in denen der Zeitverlauf des Lateralisierten Bereitschaftspotenzials (LRP; engl. Lateralized Readiness Potential) gemessen wurde. Das LRP ist ein Maß für die Lateralisierung der motorischen Aktivität (Coles, Gratton & Donchin, 1988). Es ist sensitiv für unterschwellige motorische Aktivierungen, die nicht

unbedingt zu einer offenen motorischen Reaktion führen. Sobald sich die motorische Aktivierung in Richtung einer linken oder rechten Reaktion verschiebt, zeigt sich ein LRP, das von null verschieden ist. Das Vorzeichen des LRP gibt an, ob die korrekte oder die inkorrekte Reaktion aktiviert wird, wobei positive Abweichungen konventionell eine Reaktionsvorbereitung der korrekten Seite reflektieren. Dehaene und Kollegen (1998) beobachteten, dass inkongruente Primes zu einer frühen Negativierung führten, was dafür spricht, dass sie die inkorrekte, aber mit ihnen assoziierte motorische Reaktion aktivierten. Kongruente Primes hingegen führten zu einer frühen Positivierung, die sich jedoch nicht signifikant von null unterschied. Auch in einer Untersuchung von Leuthold und Kopp (1998) sprach der Signalverlauf des LRP dafür, dass inkongruente Primes, die mit ihnen assoziierte (inkorrekte) motorische Reaktion aktivieren. Diese Ergebnisse werden unterstützt durch eine Studie von Dehaene und Kollegen (Dehaene et al., 1998). Unter Verwendung der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) bestimmten die Autoren analog zum LRP das LBR (engl. Lateralized BOLD Response), ebenfalls ein Maß für die lateralisierte motorische Aktivierung. Das LBR wurde über dem präzentralen Cortex gemessen und war in kongruenten Durchgängen größer als in inkongruenten Durchgängen. Die Autoren schlussfolgerten, dass inkongruente Primes den für die Reaktion irrelevanten motorischen Cortex aktivierten, wodurch sich die motorische Aktivität auf beide Cortices verteilte und sich das LBR reduzierte.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass bisherige Studien darauf hinweisen, dass Antwort-Priming Effekte auf allen drei beschriebenen Ebenen der Stimulusverarbeitung entstehen. Diese Sichtweise ist konsistent mit einer Untersuchung von Mattler (2006, Experiment 1). In dieser Studie wurde der Effekt kongruenter Primes untersucht, die perzeptuell ähnlich zum nachfolgenden Zielreiz waren (kongruente ähnliche Primes) und der Effekt von kongruenten Primes, die zwar mit derselben Reaktion wie der Zielreiz assoziiert, aber perzeptuell verschieden waren (kongruente, unähnliche Primes). Kongruente, ähnliche Primes führten zu schnelleren RTn als kongruente, unähnliche Primes. Dies zeigt, dass die perzeptuelle Ähnlichkeit zwischen Prime und Zielreiz ein entscheidender Faktor bei der Entstehung von Antwort-Priming Effekten ist. Dennoch reagierten die Versuchspersonen signifikant schneller, wenn kongruente, unähnliche Primes präsentiert wurden, als wenn ein inkongruenter Prime vor dem Zielreiz präsentiert wurde. Dieses Ergebnis spricht dafür, dass Antwort-Priming Effekte nicht

ausschließlich durch eine perzeptuelle Interaktion zwischen Prime und Zielreiz entstehen, sondern dass auch nicht-perzeptuelle Mechanismen von Bedeutung sind.

Im folgenden Abschnitt wird das Aufgaben-Priming Paradigma vorgestellt, welches ebenso Gegenstand dieser Arbeit ist.

1.2 Das Aufgaben-Priming Paradigma

Wie bereits dargestellt, gibt es zahlreiche Untersuchungen, die zeigen, dass maskierte Primes die Reaktion auf einen nachfolgenden Zielreiz beeinflussen können, wenn sie selbst direkt mit einer motorischen Reaktion verknüpft sind. Nun stellt sich die Frage, ob auch höhere kognitive Prozesse wie die Verlagerung der Aufmerksamkeit oder die Vorbereitung auf eine Aufgabe durch maskierte Primes moduliert werden können.

Um diese Frage zu untersuchen, wurde das Antwort-Priming Paradigma von Mattler (2003) erweitert. In einer Reihe von Experimenten (Experimente 3 - 5) diente die Maske nicht mehr länger als Zielreiz, sondern als Hinweisreiz dafür, wie ein nachfolgender Zielreiz verarbeitet werden soll. Das Zwei-Stimulus Paradigma (Prime – Maske/Zielreiz) wurde somit um einen dritten Stimulus erweitert (Prime – Maske/Hinweisreiz – Zielreiz). Es wurden quadrat- und rautenförmige Stimuli als Hinweisreize auf die geforderte Verarbeitung des nachfolgenden Zielreizes verwendet. Wurde beispielsweise ein Quadrat als Hinweisreiz dargeboten, sollten die Versuchspersonen per Tastendruck die Farbe eines visuellen Stimulus angeben (rot – links drücken; grün – rechts drücken). Wurde hingegen eine Raute präsentiert, sollte die Höhe eines auditorischen Stimulus (hoch – links drücken; tief – rechts drücken) beurteilt werden (Experiment 3). Die Maske (d.h. der Hinweisreiz) war nun nicht mehr direkt mit einer motorischen Reaktion verknüpft, sondern diente vielmehr dazu, dass die Versuchspersonen ihre Aufmerksamkeit auf die visuelle oder die auditorische Modalität verlagern. Vor diesem Hinweisreiz wurde ebenfalls ein quadrat- oder rautenförmiger Prime dargeboten, für den der Hinweisreiz als Metakontrast Maske diente. Interessanterweise zeigten sich auch hier schnellere Reaktionen, wenn Prime und Hinweisreiz dieselbe Modalität ankündigten (kongruent), verglichen mit den Durchgängen, in denen der Prime die zum Hinweisreiz entgegengesetzte Modalität (inkongruent) vorhersagte.

In weiteren Experimenten (Experimente 4 und 5) kündigte der Hinweisreiz an, welche Aufgabe mit einem nachfolgenden Zielreiz ausgeführt werden soll. Im vierten Experiment

beispielsweise wurde als Zielreiz ein auditorischer Stimulus dargeboten. Die Qualität dieses Tons wurde entlang der Dimensionen Tonhöhe (tief, hoch) und Klang (Klavier, Marimba) variiert. Die Kombination dieser Dimensionen ergab somit vier verschiedene Töne, wobei in jedem Durchgang nur eine dieser vier Tonvarianten präsentiert wurde. Der Hinweisreiz kündigte den Versuchspersonen an, ob sie den Ton hinsichtlich seiner Höhe oder seines Klangs beurteilen sollten. Wenn ein Quadrat als Hinweisreiz erschien, sollte die Tonhöhe, bei einer Raute dagegen sollte der Klang beurteilt werden. Auf einen tiefen Ton bzw. ein Klavier wurde mit dem Zeigefinger der linken Hand und auf einen hohen Ton bzw. eine Marimba mit dem Zeigefinger der rechten Hand reagiert. Erneut wurden schnellere Reaktionen in kongruenten verglichen mit inkongruenten Durchgängen beobachtet. Dieses Drei-Stimulus Paradigma wird in der vorliegenden Arbeit als *Aufgaben-Priming Paradigma* bezeichnet. Aufgaben-Priming Effekte sind, neben Antwort-Priming Effekten, Gegenstand dieser Arbeit und sollen im Folgenden näher charakterisiert werden.

1.2.1 Aufgaben-Priming: Zeitliche Dynamik und Unabhängigkeit von der Prime Sichtbarkeit

In seinen Experimenten untersuchte Mattler (2003) auch die zeitlichen Eigenschaften des Aufgaben-Priming Effekts und dessen Abhängigkeit von einer bewussten Prime Wahrnehmung. Insbesondere interessierte dabei die Frage, ob Aufgaben-Priming Effekte vollkommen anderen, ähnlichen oder sogar identischen Gesetzmäßigkeiten folgen wie Antwort-Priming Effekte. Um dies zu überprüfen, führte Mattler (2003) zusätzlich zu dem beschriebenen Aufgaben-Priming Experiment (Experiment 4, siehe oben) ein Antwort-Priming Experiment (Experiment 1) durch. Beide Experimente waren in allen physikalischen Parametern identisch. Der einzige Unterschied bestand darin, dass im Experiment 1 auf die Form der Maske reagiert werden sollte (Quadrat – links drücken; Raute – rechts drücken), während diese im Experiment 4 angab, welche Aufgabe (Tonhöhe vs. Instrument) mit dem nachfolgenden auditorischen Stimulus ausgeführt werden sollte. In beiden Experimenten wurde das Prime-Masken SOA systematisch variiert. Neben den Priming Effekten wurde in einer gesonderten Sitzung auch die Prime Sichtbarkeit geprüft. In dieser sollten die Versuchspersonen per Tastendruck angeben, ob ein quadrat- oder rautenförmiger Prime dargeboten wurde. Wie erwartet, nahm der

Antwort-Priming Effekt linear mit steigendem SOA zu, während die Prime Sichtbarkeit gleichzeitig abnahm (Doppelte Dissoziation). Damit wurden Befunde vorheriger Studien repliziert (u.a. Vorberg et al., 2003). Interessanterweise zeigte der *Aufgaben-Priming Effekt* einen ähnlichen zeitlichen Verlauf. Mit steigendem SOA nahm dieser ebenso linear zu, wobei sich in der Sichtbarkeitsprüfung eine gleichzeitige Abnahme der Identifikationsleistung zeigte. Auch für Aufgaben-Priming Effekte konnte somit eine doppelte Dissoziation nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass Aufgaben-Priming Effekte analog zu Antwort-Priming Effekten mit steigendem SOA zunehmen und zudem unabhängig von einer bewussten Prime Wahrnehmung sind. Diese zentralen Eigenschaften werden somit von Aufgaben- und Antwort-Priming Effekten geteilt.

Dabei könnte auch die Abhängigkeit des Aufgaben-Priming Effekts vom SOA durch das Akkumulator Modell von Vorberg und Kollegen (2003, siehe Abschnitt 1.3) erklärt werden, indem angenommen wird, dass die Akkumulatoren nicht Evidenz für eine bestimmte motorische Reaktion, sondern für eine bestimmte Aufgabe sammeln. Dieser Akkumulationsprozess wird so lange vom Prime bestimmt, bis der Hinweisreiz erscheint. Dadurch wird die Aktivierung der Akkumulatoren SOA abhängig in die korrekte (kongruenter Prime) oder die inkorrekte (inkongruenter Prime) Richtung verschoben. Des Weiteren könnten Aufgaben-Priming Effekte unabhängig von der bewussten Prime Wahrnehmung sein, weil - analog zum Antwort-Priming - das vorwärtsgerichtete Signal des Prime Stimulus stark genug ist, um einen Priming Effekt zu bewirken. Rekurrente Signale hingegen werden durch die Maskierung unterbrochen und reduzieren die bewusste Prime Wahrnehmung, die nicht notwendig für einen Effekt des Primes ist (Lamme, Zipser & Spekreijse, 2002).

Neben diesen Gemeinsamkeiten wurden jedoch auch Unterschiede beobachtet. Zum einen zeigte sich, dass Aufgaben-Priming Effekte in den Reaktionszeiten nur ungefähr halb so groß sind wie Antwort-Priming Effekte. Zum anderen werden beim Antwort-Priming auch stabile Effekte in den Fehlerraten gefunden, während sich beim Aufgaben-Priming keine oder nur stark verminderte Effekte zeigen.

Aufgaben-Priming und Antwort-Priming Effekte folgen also zwar nicht identischen, jedoch sehr ähnlichen Gesetzmäßigkeiten. Dies unterstützt die Annahme, dass sie von vergleichbaren Mechanismen gesteuert werden. Im folgenden Abschnitt soll näher auf die

möglichen Mechanismen eingegangen werden, die Aufgaben-Priming Effekten zugrunde liegen könnten.

1.2.2 Mechanismen von Aufgaben-Priming Effekten

Die Tatsache, dass maskierte Primes auch dann einen Einfluss auf die RTn haben, wenn sie nicht direkt mit einer motorischen Reaktion verknüpft werden können, spricht dafür, dass Priming Effekte nicht auf die Motorik beschränkt sind. Zeigen diese Befunde somit, dass auch höhere kognitive Prozesse wie die Vorbereitung einer Aufgabe durch subliminal präsentierte Primes moduliert werden können? Oder entsteht der Effekt auf frühen Ebenen der visuellen Stimulusverarbeitung?

Um zu verstehen, auf welchen Verarbeitungsebenen Aufgaben-Priming Effekte generiert werden, ist es erneut sinnvoll zu überlegen, welche Prozesse bei der Bearbeitung der Aufgabe involviert sind: Zunächst muss der Hinweisreiz perzeptuell analysiert werden. Diese frühe visuelle Analyse wird gefolgt von zentralen Entscheidungsprozessen, in denen die korrekte Aufgabe ausgewählt und die entsprechenden Aufgabenregeln implementiert werden müssen. An diese zentrale Verarbeitung schließen sich postzentrale Prozesse an, die spezifisch sind für die Art der Aufgabe, die ausgeführt werden muss (z.B. Prozesse, die in die Analyse der Tonhöhe involviert sind). Prinzipiell könnten Aufgaben-Priming Effekte auf allen drei dieser Verarbeitungsebenen entstehen.

Perzeptuelle Mechanismen

Kongruente Primes waren bei Mattler (2003, 2005) im Gegensatz zu inkongruenten Primes der Maske (d.h. dem Hinweisreiz) immer visuell ähnlich. Analog zur Argumentation beim Antwort-Priming könnten somit auch Aufgaben-Priming Effekte durch die visuelle Ähnlichkeit von Prime und Maske (Hinweisreiz) in kongruenten bzw. Unähnlichkeit in inkongruenten Durchgängen entstehen. Die perzeptuelle Analyse der Maske könnte bei visuell ähnlichen Primes im Vergleich zu visuell unähnlichen Primes erleichtert werden, was wiederum zu schnelleren RTn in kongruenten Durchgängen führt.

Diese Annahme wird durch eine Untersuchung von Mattler (2006, Experiment 2) unterstützt, in der der Effekt von kongruenten Primes untersucht wurde, die perzeptuell ähnlich (kongruente, ähnliche Primes) oder perzeptuell unähnlich (kongruente, unähnliche Primes) zur Maske waren. Kongruente, ähnliche Primes führten zu schnelleren Reaktionen

als kongruente, unähnliche Primes. Dies spricht dafür, dass die perzeptuelle Ähnlichkeit zwischen Prime und Maske ein entscheidender Faktor bei der Entstehung von Aufgaben-Priming Effekten ist. Dennoch reagierten die Versuchspersonen signifikant schneller, wenn kongruente, unähnliche Primes präsentiert wurden, als wenn ein inkongruenter Prime dargeboten wurde, der sowohl perzeptuell unähnlich als auch mit der irrelevanten Aufgabe assoziiert war. Dieses Ergebnis ist ein Hinweis darauf, dass Aufgaben-Priming Effekte nicht ausschließlich durch eine perzeptuelle Interaktion zwischen Prime und Maske entstehen, sondern dass auch nicht-perzeptuelle Mechanismen von Bedeutung sind.

Zentrale Mechanismen

Da für die Ausführung von jeder der durch den Hinweisreiz angekündigten Aufgabe ein anderer Satz an Regeln notwendig ist, muss dieses Task Set¹ in jedem Durchgang neu aktiviert werden. Dieser Auswahl- und Implementierungsprozess stellt eine der höchsten Formen der kognitiven Kontrolle dar (Koechlin, Ody & Kouneiher, 2003; Miller & Cohen, 2001). Traditionell wird dabei davon ausgegangen, dass höhere kognitive Kontrollfunktionen Bewusstsein erfordern (Dehaene et al., 2003; Jack & Shallice, 2001; Mayr, 2004). Das Vorhandensein eines Priming Effekts auf Verhaltensebene könnte jedoch zeigen, dass der Prime diese Prozesse beeinflussen kann, ohne dass dazu Bewusstsein notwendig ist. Dafür spricht eine fMRT Untersuchung von Lau und Passingham (2007), in der die Versuchspersonen entweder eine semantische (konkret, abstrakt) oder phonologische (einsilbig, mehrsilbig) Beurteilung eines Wortes ausführten. Es wurde ein Aufgabenhinweis präsentiert und vor diesem ein Prime. Die Autoren zeigten, dass die Aktivierung im linken dorsolateralen PFC (DLPC) in inkongruenten Durchgängen höher war als in kongruenten Durchgängen, auch wenn die Primes nicht bewusst wahrgenommen wurden. Da der DLPFC Teil eines Kontrollnetzwerks ist, schlussfolgerten die Autoren, dass die Versuchspersonen in inkongruenten Durchgängen zwei Aufgaben vorbereiten. Der dadurch erhöhte kognitive Kontrollbedarf zeigt sich in einer größeren Aktivierung des DLPFC. Im medialen frontalen Cortex (z.B. ACC) fanden

¹ Als Task Set bezeichnet man das für die Ausführung einer Aufgabe notwendige Regelwissen. Ein Task Set enthält typischerweise die Repräsentation des Aufgabenziels (z.B. auf eine bestimmte Farbe zu achten), die Menge an aufgabenrelevanten Stimuli (z.B. rot und blau), die Menge an möglichen Reaktionen (z.B. linker oder rechter Tastendruck) und die Verknüpfung der Stimuli mit den passenden Reaktionen (S-R Regeln; z.B. bei rot mit linkem Tastendruck reagieren) (Monsell, 1996; Koch et al., 2010).

sie hingegen keinen Priming Effekt. Dies unterstützt die Befunde von Dehaene und Kollegen (2003), die bei einem unbewussten Konflikt keine Aktivierung im ACC beobachteten.

Aufgabenspezifische Mechanismen

Darüber hinaus wäre es möglich, dass Primes aufgabenspezifische Prozesse aktivieren, die nach der zentralen Entscheidungsebene stattfinden. Auch dafür fanden Lau und Passingham (2007) Hinweise, in dem sie zeigten, dass Primes das mit ihnen assoziierte Aufgabenareal im Cortex aktivieren.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die bisherigen Befunde dafür sprechen, dass Aufgaben-Priming Effekte auf verschiedenen Ebenen der Verarbeitung entstehen können. Im Folgenden werden die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten genauer spezifiziert. Dabei wird insbesondere auf den Vergleich der den Effekten zugrunde liegenden Mechanismen eingegangen.

1.3 Antwort- und Aufgaben-Priming: Gemeinsamkeiten und Unterschiede

Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, folgen Antwort- und Aufgaben-Priming Effekte vergleichbaren Gesetzmäßigkeiten: (1) Kongruente Primes führen im Vergleich zu inkongruenten Primes zu einer Verkürzung der RTn. (2) Der Priming Effekt nimmt linear mit dem SOA zu und (3) Priming Effekte sind sowohl einfach als auch doppelt von der Prime Sichtbarkeit dissoziiert.

Diese Gemeinsamkeiten legen nahe, dass Antwort- und Aufgaben-Priming Effekte von einem gemeinsamen Mechanismus bzw. von Mechanismen mit vergleichbaren Eigenschaften gesteuert werden. Von einem gemeinsamen Mechanismus würde man dann ausgehen, wenn Antwort- und Aufgaben-Priming Effekte auf denselben Verarbeitungsebenen entstehen. Da dieselben Prime und Masken Stimuli verwendet werden, ist zunächst anzunehmen, dass ähnliche *perzeptuelle* Mechanismen involviert sind. Bei beiden Varianten könnten kongruente Primes die visuelle Analyse der Maske erleichtern und inkongruente Primes diese erschweren. Da die Maske beim Antwort- und Aufgaben-Priming eine unterschiedliche Bedeutung hat, unterscheidet sich jedoch die Verarbeitung auf *zentraler* Ebene (Reaktionsauswahl vs. Auswahl und Implementierung

des Task Sets). Dennoch könnten Primes in beiden Fällen diese zentralen Verarbeitungsprozesse in vergleichbarer Weise beeinflussen. Ebenso unterscheidet sich die Verarbeitung nach der zentralen Entscheidungsstufe. Hier sind Prozesse involviert, die als *Konsequenz der auf zentraler Ebene getroffenen Entscheidung* aktiviert werden. Während beim Antwort-Priming die ausgewählte Reaktion vorbereitet und ausgeführt werden muss, wird beim Aufgaben-Priming die Aufgabe vorbereitet und ausgeführt. Auch hier würde man von einem vergleichbaren Mechanismus sprechen, wenn Primes diese Prozesse in beiden Fällen beeinflussen würden.

Neben Gemeinsamkeiten wurden jedoch auch Unterschiede festgestellt: (1) Während der Antwort-Priming Effekt mit steigendem Prime-Masken SOA mit einer Steigung von eins zunahm (d.h., der Priming Effekt entspricht in seiner Größe dem SOA), wurde für den Aufgaben-Priming Effekt eine geringere Steigung gefunden. Anders ausgedrückt, sind Aufgaben-Priming Effekte bei gleichem SOA nur ungefähr halb so groß wie Antwort-Priming Effekte. Dieser Befund könnte für die Annahme vergleichbarer Mechanismen kritisch sein, da er darauf hinweist, dass nur ein Teil der Prozesse, die dem Antwort-Priming Effekt zugrunde liegen, auch beim Aufgaben-Priming eine Rolle spielen. Da dieselben Prime und Masken Stimuli verwendet werden, wäre es möglich, dass dies perzeptuelle Mechanismen sind. Das würde auch bedeuten, dass der Aufgaben-Priming Effekt kein Effekt von maskierten Stimuli auf höhere kognitive Prozesse, sondern lediglich auf die frühe perzeptuelle Verarbeitung ist. Dagegen sprechen jedoch die Befunde von Mattler (2006) und Lau und Passingham (2007), die zeigen konnten, dass nicht-perzeptuelle Prozesse an der Entstehung des Effekts beteiligt sein könnten. Darüber hinaus ist dieser Befund nur dann kritisch, wenn angenommen wird, dass der Effekt des Primes auf der entsprechenden Verarbeitungsebene beim Antwort- und Aufgaben-Priming gleich stark ist. Nur dann würde man erwarten, dass sich dies in gleich starken Priming Effekten zeigt. Wenn der Einfluss der Primes auf einer bestimmten Verarbeitungsebene (z.B. auf die spezifische Verarbeitung) beim Antwort-Priming jedoch stärker ist als beim Aufgaben-Priming, können unterschiedlich große Priming Effekte trotz vergleichbarer Mechanismen resultieren. (2) Ein weiterer Unterschied betrifft die Fehlerraten, bei denen nur in Antwort-Priming Experimenten ein stabiler Priming Effekt gefunden wurde. Dieser Befund spricht nicht automatisch gegen die Annahme ähnlicher Mechanismen. Er ist vielmehr ein Hinweis darauf, dass der Prime im Antwort-Priming einen Einfluss auf die

Auswahl, Vorbereitung oder Ausführung der motorischen Reaktion hat und damit fehlerhafte Reaktionen auslösen könnte. Da der Prime beim Aufgaben-Priming nicht mit einer motorischen Reaktion verknüpft ist, sollte ein Effekt auf die Fehlerrate nicht bzw. weniger deutlich² auftreten.

1.4 Ziel der Dissertation und Überblick über die Experimente

Ziel der vorliegenden Dissertation war es, die Mechanismen zu identifizieren, die Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten zugrunde liegen. Während insbesondere vergangene fMRT und EEG Studien den Effekt maskierter Stimuli zum großen Teil isoliert auf spezifischen Verarbeitungsebenen untersucht haben (z.B. ausschließlich im motorischen System; Dehaene et al., 1998), sollte der Effekt in den vorliegenden Experimenten auf allen Ebenen der Stimulusverarbeitung gleichzeitig untersucht werden. Dabei wurden in Verhaltensexperimenten zunächst die an der Entstehung von Priming Effekten beteiligten Verarbeitungsebenen identifiziert. Anschließend erfolgte eine neuroanatomische Lokalisation mittels fMRT (funktionelle Magnetresonanztomographie). In diesen fMRT Untersuchungen wurde darüber hinaus die Prime Sichtbarkeit manipuliert. Diese Vorgehensweise erlaubte es, Hirnareale zu identifizieren, die nicht nur einen Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Bedingungen, sondern auch von der Sichtbarkeit dissoziierte neuronale Priming Effekte aufweisen. Ziel war es zu zeigen, dass nicht nur der Verhaltenseffekt, sondern auch der neuronale Priming Effekt von einer bewussten Prime Wahrnehmung doppelt dissoziiert ist. Darüber hinaus sollte die Frage geklärt werden, ob für Antwort- und Aufgaben-Priming Effekte ein vergleichbarer Mechanismus angenommen werden kann. Aus diesem Grund wurden Experimente zum Antwort- und Aufgaben-Priming durchgeführt, deren physikalische Parameter möglichst identisch waren und bei denen lediglich die Aufgabe entsprechend des Paradigmas verändert wurde. So konnte ein direkter Vergleich zwischen beiden Priming Paradigmen vorgenommen werden.

Um diese Fragen zu untersuchen, wurde zunächst das Paradigma der Psychologischen Refraktärzeit eingesetzt. Mit Hilfe dieses experimentellen Ansatzes kann der Effekt maskierter Stimuli relativ zu einem auf zentraler Entscheidungsebene angenommenen

² Wenn Primes die Auswahl bzw. Ausführung der Aufgabe beeinflussen, wäre ein Effekt auf die Fehlerraten denkbar, da in inkongruenten Durchgängen die falsche Aufgabe und somit die falsche Stimulus-Reaktions Regel aktiviert wird.

Flaschenhals lokalisiert werden. In den Experimenten 1 - 3 wurden dabei Antwort-Priming Effekte auf den verschiedenen Verarbeitungsebenen lokalisiert, wobei einander ergänzende Varianten des Paradigmas der Psychologischen Refraktärzeit verwendet wurden. Um Aufgaben-Priming in einem fMRT Experiment untersuchen zu können, wurden neue Aufgabentypen etabliert, mit denen selbige zuverlässig gezeigt und der bekannte Zeitverlauf von Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit repliziert werden kann (Experiment 4a). Im Experiment 4b wurde die Quelle dieses Aufgaben-Priming Effekts mit dem PRP Paradigma lokalisiert. Ergänzt wurden diese Verhaltensexperimente durch zwei fMRT Untersuchungen, in denen die für Antwort- (Experiment 5) und Aufgaben-Priming Effekte (Experiment 6) verantwortlichen Hirnareale identifiziert wurden. Ein Vergleich dieser beiden Experimente sollte Aufschluss darüber geben, ob die Effekte auf denselben Verarbeitungsebenen entstehen und ob gemeinsame Hirnareale an der Entstehung von Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten beteiligt sind.

2 Lokalisation von Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten mit dem Paradigma der Psychologischen Refraktärzeit

Im zweiten Kapitel werden Untersuchungen berichtet, in denen das Paradigma der Psychologischen Refraktärzeit (PRP; engl. Psychological Refractory Period) eingesetzt wurde, um Antwort- und Aufgaben-Priming Effekte auf den verschiedenen Ebenen der Stimulusverarbeitung zu lokalisieren. Da das Wissen um die Logik dieser experimentellen Methode für das Verständnis und die Interpretation der Ergebnisse unabdingbar ist, soll das PRP Paradigma zunächst kurz dargestellt werden.

2.1 Das Paradigma der Psychologischen Refraktärzeit

In klassischen PRP Experimenten werden zwei Stimuli (S1 und S2) entweder mit kurzem oder mit langem SOA nacheinander präsentiert. Die Versuchspersonen werden instruiert, zwei voneinander getrennte Reaktionen auf beide Stimuli abzugeben – sie sollen zuerst auf S1 und dann auf S2 reagieren. Im ersten Experiment der vorliegenden Arbeit beispielsweise wurde den Versuchspersonen zuerst ein Ton präsentiert, den sie per Tastendruck als hoch oder tief klassifizieren sollten. Die zweite Aufgabe war eine Formdiskriminationsaufgabe, in der die Form einer nach einem Prime präsentierten Maske angegeben werden sollte (quadrat- oder rautenförmig). Die Reaktionszeit auf den ersten Stimulus (RT1) ist dabei typischerweise unabhängig vom SOA zwischen beiden Stimuli. Die Reaktionszeit auf den zweiten Stimulus (RT2) ist jedoch bedeutend langsamer, wenn beide Stimuli mit kurzem SOA aufeinander folgen, als wenn sie mit langem SOA präsentiert werden. Um diesen, so genannten PRP Effekt (Telford, 1931) zu erklären, wurde das zentrale Flaschenhalsmodell vorgeschlagen (Pashler, 1984; Pashler & Johnston, 1989; Welford, 1952). Dieses Modell basiert auf der Annahme, dass die Stimulusverarbeitung in jeder Aufgabe auf drei aufeinanderfolgenden Stufen erfolgt: (A) präzentrale Verarbeitung vor dem Flaschenhals (z.B. perzeptuelle Verarbeitung), (B) zentrale Verarbeitung im Flaschenhals (z.B. Reaktionsauswahl) und (C) postzentrale Verarbeitung nach dem Flaschenhals (z.B. Reaktionsausführung). Eine weitere Annahme ist, dass Informationen auf der prä- und postzentralen Stufe parallel verarbeitet werden können. Auf der zentralen Stufe jedoch wird ein Flaschenhals mit begrenzter Verarbeitungskapazität angenommen, in dem eingehende Informationen nur sequenziell

verarbeitet werden können. Wenn beide Stimuli mit einem hinreichend langen SOA präsentiert werden, ist die Verarbeitung von S1 auf zentraler Stufe bereits abgeschlossen, wenn die zentrale Verarbeitung von S2 beginnt. Dieser kann somit ohne Verzögerung verarbeitet werden. Wenn jedoch die Stimuli beider Aufgaben unmittelbar nacheinander (mit kurzem SOA) präsentiert werden, muss die Verarbeitung von S2 vor dem zentralen Flaschenhals warten, bis die zentrale Verarbeitung von S1 abgeschlossen ist. Diese Warteperiode verlängert RT2 bei kurzem SOA. Dies entspricht dem PRP Effekt.

Auf der Grundlage dieser Annahmen wurde das PRP Paradigma bereits in den verschiedensten Studien angewandt, um die Effekte experimenteller Faktoren auf den beschriebenen Verarbeitungsebenen (präzentral, zentral und postzentral) zu lokalisieren (Ferreira & Pashler, 2002; Franz, Sebastian, Hust & Norris, 2008; Lachmann & van Leeuwen, 2007; Miller & Reynolds, 2003; Ruthruff, Miller & Lachmann, 1995; Ruthruff, Allen, Lien & Grabbe, 2008). Auch in den Experimenten 1, 2, 3 und 4b der vorliegenden Arbeit wurden mit Hilfe dieses Paradigmas Antwort- und Aufgaben-Priming Effekte relativ zum zentralen Flaschenhals lokalisiert. Dabei wurden zwei komplementäre Ansätze des PRP Paradigmas verwendet: das Effektabsorptions-Verfahren (Experimente 1, 2 und 4b) und das Effektübertragungs-Verfahren (Experiment 2). Beide Verfahren werden im Folgenden beschrieben.

2.1.1 Das Effektabsorptions-Verfahren

Das Effektabsorptions-Verfahren wird eingesetzt, um Effekte experimenteller Faktoren (1) vor oder (2) im bzw. nach dem zentralen Flaschenhals zu lokalisieren. In Experiment 1 beispielsweise wurde zunächst ein Ton präsentiert, nach welchem mit einem Ton-Prime SOA von 50 oder 800 ms ein visueller Prime folgte. Nach diesem Prime wurde eine Maske präsentiert. Die Versuchspersonen wurden instruiert, per Tastendruck zuerst auf die Höhe des Tons (hoch vs. tief; RT1) und anschließend auf die Form der Maske (Quadrat vs. Raute; RT2) zu reagieren. Wenn beide Aufgaben mit kurzem SOA dargeboten werden (starke Aufgabenüberlappung), muss die zentrale Verarbeitung der visuellen Stimuli warten, bis die Verarbeitung des ersten Stimulus (Ton) im Flaschenhals abgeschlossen ist. In Abhängigkeit von der Quelle des Priming Effekts erlaubt das Modell drei verschiedene Vorhersagen hinsichtlich seiner Größe bei kurzem Ton-Prime SOA

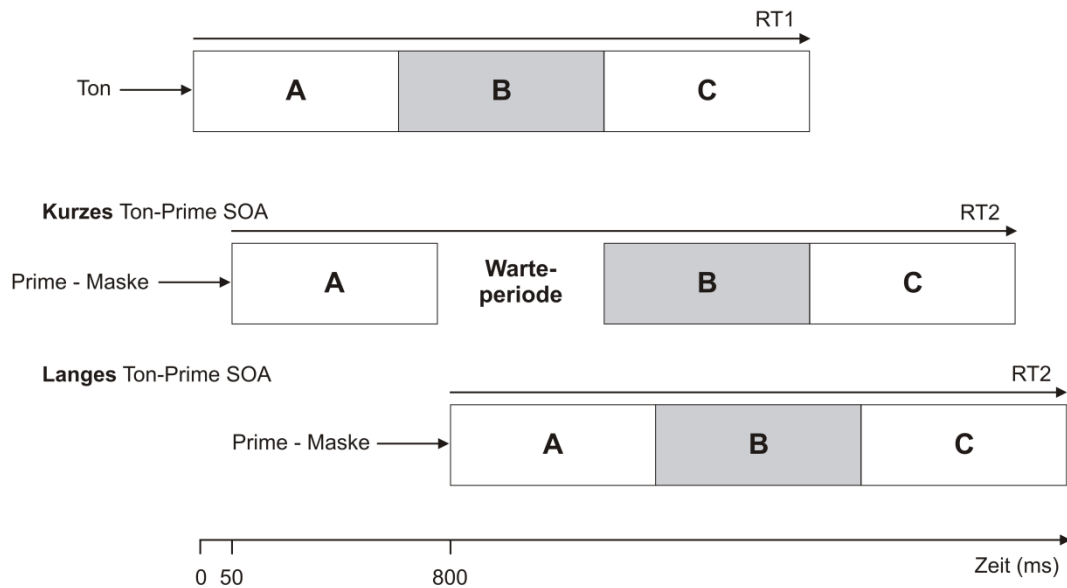


Abb. 2.1 Schematische Darstellung des Effektabsorptions-Verfahrens am Beispiel des unter 2.1 beschriebenen Experiments. Die Ebenen A, B und C beziehen sich auf frühe präzentrale (z.B. perzeptuelle), zentrale (z.B. Reaktionsauswahl) und postzentrale (z.B. Reaktionsausführung) Ebenen der Stimulusverarbeitung. Bei kurzem SOA verzögert sich die zentrale Verarbeitung der zweiten Aufgabe (Warteperiode), weil die zentrale Verarbeitung der ersten Aufgabe noch nicht abgeschlossen ist, wenn der Reaktionsauswahlprozess in Aufgabe 2 beginnen könnte. Dies führt zu einer verlängerten RT2. Faktoren, die die präzentrale Verarbeitung beeinflussen, haben keinen Einfluss auf RT2, weil ihr Effekt in die Warteperiode absorbiert wird. Bei langem SOA hingegen können beide Aufgaben ohne gegenseitige Wechselwirkung ablaufen und es sollte ein Priming Effekt normaler Größe auftreten.

(Abbildung 2.1): (1) Erstens könnte der Priming Effekt ausschließlich durch eine Wechselwirkung zwischen Prime und Maske auf der *perzeptuellen* Verarbeitungsebene entstehen. In diesem Fall würde man keinen Priming Effekt in RT2 bei kurzem SOA erwarten. Da die visuelle Verarbeitung der Stimuli durch den Flaschenhals verzögert wird, sollte eine Verkürzung (kongruente Durchgänge) oder Verlängerung (inkongruente Durchgänge) der perzeptuellen Verarbeitung in die Warteperiode absorbiert werden. Bei langem SOA hingegen kann die zentrale Verarbeitung direkt nach der perzeptuellen Verarbeitung beginnen. Der Effekt einer perzeptuellen Prime-Masken Interaktion mit einer Verkürzung oder Verlängerung der perzeptuellen Verarbeitung sollte sich somit auf die folgenden Prozesse übertragen und sich in RT2 zeigen. Wenn sich also der Priming Effekt vollständig mit einem perzeptuellen Mechanismus erklären lässt, erwarten wir keinen Priming Effekt bei kurzem SOA, aber einen Priming Effekt normaler Größe bei langem SOA. (2) Zweitens könnte die Kongruenz zwischen Prime und Maske ausschließlich die Dauer der *zentralen oder postzentralen* Verarbeitung beeinflussen, so dass der experimentelle Effekt nach der Warteperiode lokalisiert ist. In diesem Fall wird

der Priming Effekt nicht in die Warteperiode absorbiert und ist bei kurzem und langem SOA gleich groß. (3) Drittens wird eine unteradditive Interaktion von Priming Effekt und SOA erwartet, wenn die Prime-Masken Interaktion sowohl auf der frühen *perzeptuellen* Ebene als auch auf späteren *zentralen oder postzentralen* Ebenen stattfindet: Bei kurzem SOA sollte der perzeptuelle Anteil des Effekts in die Warteperiode absorbiert werden. Der Teil des Effekts, der jedoch auf zentraler und postzentraler Ebene entsteht, sollte sich als Effekt in RT2 zeigen. Man würde somit einen kleinen Effekt bei kurzem SOA und einen substantiell größeren Effekt bei langem SOA erwarten.

2.1.2 Das Effektübertragungs-Verfahren

Das Effektübertragungs-Verfahren stellt einen zum Effektabsorptions-Verfahren komplementären Ansatz dar. Es kann eingesetzt werden, um den Priming Effekt (1) vor bzw. im Flaschenhals oder (2) nach dem Flaschenhals zu lokalisieren (Ferreira & Pashler, 2002; Pashler & Johnston, 1998). Hierbei wird die Reihenfolge der Aufgaben vertauscht, so dass zuerst die visuellen Stimuli und anschließend der Ton präsentiert werden. Das SOA zwischen beiden Aufgaben wird erneut variiert. Dieser Ansatz wurde in Experiment 3 verwendet. Die Versuchspersonen wurden angewiesen, zuerst auf die Maske (RT1) und danach auf den Ton (RT2) zu reagieren. Die Größe des Priming Effekts in RT2 bei kurzem SOA wird herangezogen, um die Quelle des Effekts zu lokalisieren (Abbildung 2.2). (1) In dem Fall, dass Prime und Maske auf der *perzeptuellen und zentralen* Ebene interagieren, sollte der Priming Effekt bei kurzem SOA vollständig von RT1 auf RT2 übertragen werden, da die zentrale Verarbeitung des Tons nicht beginnen kann, bevor die zentrale Verarbeitung von Prime und Maske abgeschlossen ist. Eine kongruenzbedingte Verkürzung oder Verlängerung der Verarbeitungsdauer auf der Ebene vor oder im Flaschenhals sollte sich direkt auf RT2 übertragen. (2) Zweitens könnte die Kongruenz zwischen Prime und Maske ausschließlich die Dauer der *postzentralen* Verarbeitung beeinflussen. Dann würde der Flaschenhals bei kurzem SOA in kongruenten und inkongruenten Durchgängen gleichermaßen blockiert werden, so dass sich die zentrale Verarbeitung des Tons unabhängig von der Kongruenz gleich stark verzögert. Aus diesem Grund sollte es keinen Priming Effekt in RT2 geben. (3) Drittens könnten an der Entstehung des Priming Effekts Verarbeitungsprozesse auf *perzeptueller oder zentraler und postzentraler* Ebene beteiligt sein. In diesem Fall sollte ein Teil des Priming

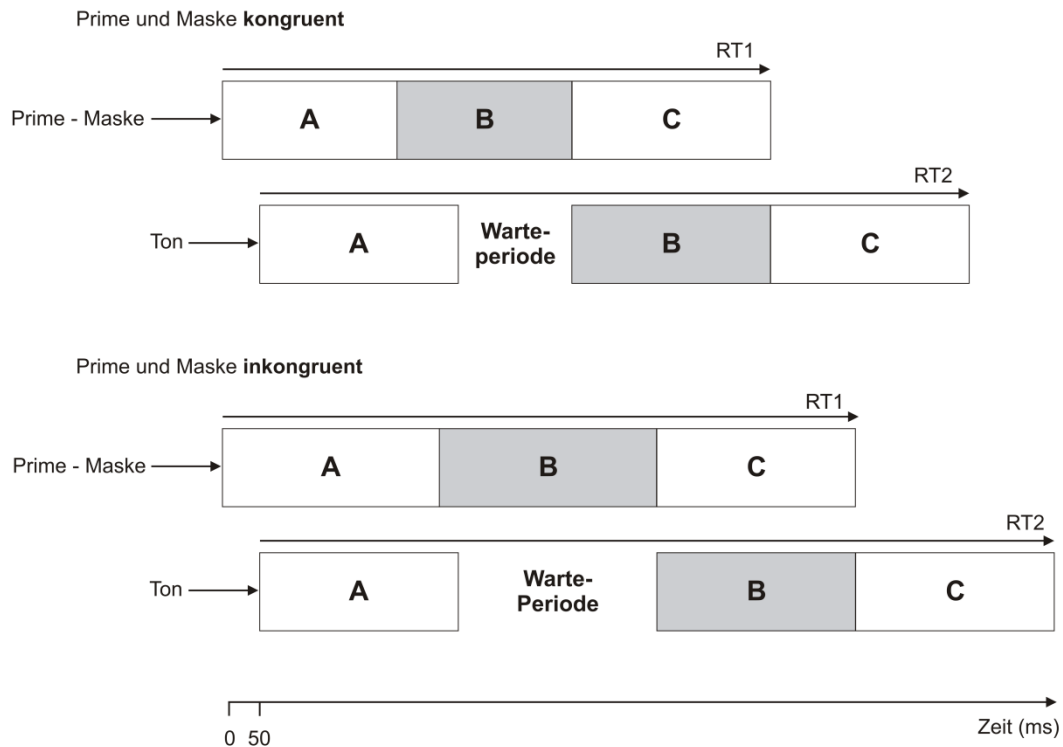


Abb. 2.2 Schematische Darstellung des Effektübertragungs-Verfahrens am Beispiel des unter 2.1 beschriebenen Experiments. Die Stufen A, B und C beziehen sich auf frühe präzentrale (z.B. perzeptuelle), zentrale (z.B. Reaktionsauswahl) und postzentrale (z.B. Reaktionsausführung) Ebenen der Stimulusverarbeitung. Dargestellt sind nur die Abläufe bei kurzem SOA. Angenommen der Priming Effekt entsteht (wie in der Abbildung) auf präzentralen oder zentralen Verarbeitungsebenen und Prime und Maske sind kongruent. Dann verkürzt sich die Verarbeitung auf den Stufen A und B und damit auch die Warteperiode. Wenn Prime und Maske hingegen inkongruent sind, verlängert sich die Verarbeitung auf den Stufen A und B. Dadurch verlängert sich die Warteperiode und die Verarbeitung der zweiten Aufgabe muss länger vor dem Flaschenhals warten als in der kongruenten Bedingung. Aus diesem Grund überträgt sich der Priming Effekt von RT_1 vollständig auf RT_2 . Ein Effekt des Primes auf die postzentrale Verarbeitung sollte sich jedoch nicht auf RT_2 übertragen (hier nicht dargestellt).

Effekts von RT_1 auf RT_2 übertragen werden, so dass sich bei kurzem SOA in RT_2 zwar ein signifikanter Priming Effekt zeigt, der jedoch kleiner ist als der Priming Effekt in RT_1 .

Obwohl das PRP Paradigma bereits in verschiedensten Studien angewendet wurde, um experimentelle Effekte zu lokalisieren, besteht ein intensiver Diskurs hinsichtlich der Annahmen des Modells. Während das PRP Paradigma einen strukturellen Flaschenhals annimmt, in dem zu einem bestimmten Zeitpunkt nur eine Aufgabe verarbeitet werden kann, wurden in den vergangenen Jahren alternative Ansätze zur Erklärung des PRP Effekts vorgeschlagen (z.B. De Jong, 1993; Meyer & Kieras, 1997a, 1997b; Tombu & Jolicoeur, 2002, 2003). Eine Bewertung dieser Ansätze soll nicht das Ziel dieser Arbeit sein. Es sollte jedoch erwähnt werden, dass umfangreiche Belege für die Vorhersagen des Flaschenhalsmodells existieren. Die Annahme, dass der PRP Effekt hauptsächlich durch

einen zentralen Reaktionsauswahl-Flaschenhals verursacht wird, wird zum Beispiel durch die Beobachtung unterstützt, dass eine PRP Interferenz auch bei Aufgaben gefunden wird, die nicht dieselben Input- und Outputmodalitäten aufweisen (Pashler & Johnston, 1998). Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass isolierte Manipulationen der Dauer spezifischer Verarbeitungsebenen der zweiten Aufgabe im Rahmen des Effektabsorptions-Verfahrens die Annahmen des zentralen Flaschenhalsmodells hinsichtlich der Effekte auf die RT2 bestätigten (McCann & Johnston, 1992; Pashler, 1984; Pashler & Johnston, 1989). So wurden beispielsweise unteradditive Interaktionen für Faktoren gefunden, die eindeutig perzeptuelle Prozesse beeinflussen und additive Effekte für Faktoren, die einen Effekt auf den zentralen Reaktionsauswahlprozess haben (Pashler & Johnston, 1998). Darüber hinaus fördern die in den vorliegenden Experimenten hergestellten Bedingungen das Auftreten eines zentralen Flaschenhalses: Zum einen wurden die Priorität der ersten Aufgabe und eine serielle Aufgabenbearbeitung betont. Zum anderen wurden relativ ungeübte Aufgaben verwendet. Die Verwendung von wenig geübten Aufgaben ist von Bedeutung, weil Untersuchungen gezeigt haben, dass sich der PRP Effekt durch intensive Übung reduzieren kann (u.a. Levy & Pashler, 2001; Ruthruff, Johnston & van Selst, 2001; Schumacher, Seymour, Glass, Kieras & Meyer, 2001). Dieser Effekt spricht dafür, dass sich die Dauer der Verarbeitung im Flaschenhals stark verkürzt oder dieser sogar umgangen werden kann (Ruthruff, Johnston, Van Selst, Whitsell & Remington, 2003; Ruthruff, Van Selst, Johnston & Remington, 2006).

Aus diesen Gründen wurde das bereits mehrfach erfolgreich verwendete PRP Paradigma für die vorliegende Arbeit als geeignete Methode angesehen, um die Quelle von Priming Effekten zu untersuchen.

Im Folgenden werden zunächst drei Experimente vorgestellt, die mit dem Ziel durchgeführt wurden, *Antwort-Priming Effekte* mit dem PRP Paradigma zu lokalisieren. In den Experimenten 1 und 2 wurde das Effektabsorptions-Verfahren und im Experiment 3 das Effektübertragungs-Verfahren verwendet. Im sich anschließenden Abschnitt wird ein viertes Experiment dargestellt, in dem *Aufgaben-Priming Effekte* lokalisiert werden sollten. Im Experiment 4a wurde Aufgaben-Priming mit einer bislang noch nicht verwendeten Aufgabe (Gesichter-/Szenendiskrimination) und dessen Unabhängigkeit von der Prime Sichtbarkeit demonstriert. Im Experiment 4b sollte die Quelle dieses Priming Effekts mit dem Effektabsorptions-Verfahren lokalisiert werden. In einer abschließenden

Diskussion wird ein Vergleich zwischen Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten hergestellt.

2.2 Antwort-Priming

2.2.1 Experiment 1

Im ersten Experiment wurde das Effektabsorptions-Verfahren verwendet, um Antwort-Priming Effekte zu lokalisieren. Dazu wurde eine Tonhöhenaufgabe mit einer Formaufgabe kombiniert. Antwort-Priming Effekte könnten dabei auf allen drei Ebenen der Stimulusverarbeitung entstehen: der Prime könnte die perzeptuelle Analyse der Maske, den zentralen Reaktionsauswahlprozess oder die Reaktionsausführung beeinflussen. Wenn der Prime ausschließlich die frühe perzeptuelle Verarbeitung moduliert, sollte man bei kurzem SOA keinen Antwort-Priming Effekt finden, da dieser vollständig in die Warteperiode absorbiert wird. In dem Ausmaß jedoch, in dem der Prime die Reaktionsauswahl oder die motorische Verarbeitung beeinflusst, sollte sich auch bei kurzem SOA ein Priming Effekt zeigen.

Aufgrund der in der Einleitung dargestellten Befunde (u.a. Bodner & Dypvik, 2005; Dehaene et al., 1998; Mattler, 2006; van Gaal et al., 2010) wurde angenommen, dass Antwort-Priming Effekte auf allen drei Ebenen der Stimulusverarbeitung entstehen. Dementsprechend wurde erwartet, dass der Antwort-Priming Effekt bei kurzem SOA zwischen beiden Aufgaben substantiell kleiner ist als bei langem SOA, sich dabei jedoch noch signifikant von null unterscheidet.

2.2.1.1 Methode

Versuchspersonen. An diesem Experiment nahmen 22 Studenten (20 weiblich, 2 männlich) der Universität Magdeburg mit einem mittleren Alter von 23.8 Jahren (Spanne: 20 – 33 Jahre) teil. Ein Teilnehmer war linkshändig und alle waren normalsichtig oder hatten ihre Fehlsichtigkeit angemessen korrigiert. Sie erhielten 17.50 € für die Teilnahme an beiden Sitzungen des Experiments (Dauer jeweils ca. 60 Minuten).

Stimuli. In der Tonaufgabe wurde entweder ein 600 oder ein 1100 Hz Ton mit einer Dauer von 100 ms über Kopfhörer präsentiert. Die visuellen Stimuli wurden in schwarz auf weißem Hintergrund mit einer Bildwiederholungsrate von 60 Hz dargeboten. In der

Formaufgabe wurden quadrat- und rautenförmige Prime und Masken Stimuli verwendet (Abbildung 2.3). Die Primes waren ein Pixel kleiner als der Innenausschnitt der Masken und wurden mit einem Sehwinkel von 1.1° (Quadrat) und 1.5° (Raute) dargeboten. Die quadrat- und rautenförmigen Masken umfassten einen Sehwinkel von 1.8° bzw. 2.6° . Des Weiteren wurden grauskalierte Gesichter/Szenen Stimuli präsentiert. Diese entstanden, indem eine Fotografie eines weiblichen oder männlichen Gesichts (Frontalansicht) transparent mit einer Fotografie einer Innen- oder Außenszene überlagert wurde. Das Bild wurde in der Mitte des Bildschirms mit einem Sehwinkel von 6.5° Höhe und 5.7° Breite präsentiert. Diese Gesichter/Szenen Stimuli waren irrelevant für das Experiment. Sie wurden dargeboten, um einen Vergleich der Ergebnisse zum Antwort-Priming mit denen zum Aufgaben-Priming zu ermöglichen, in dem diese Bilder als Zielreize dienten (Mattler, 2003, 2005).

Aufgaben. Sitzung 1: In der ersten Sitzung führten die Versuchspersonen in jedem Durchgang nacheinander zwei Aufgaben aus. Sie wurden angewiesen, zuerst auf die Höhe des Tons und anschließend auf die Form der Maske zu reagieren. In der Tonaufgabe war eine Reaktion mit dem Mittelfinger der linken Hand erforderlich, wenn ein tiefer Ton präsentiert wurde und eine Reaktion mit dem Zeigefinger der linken Hand, wenn ein hoher

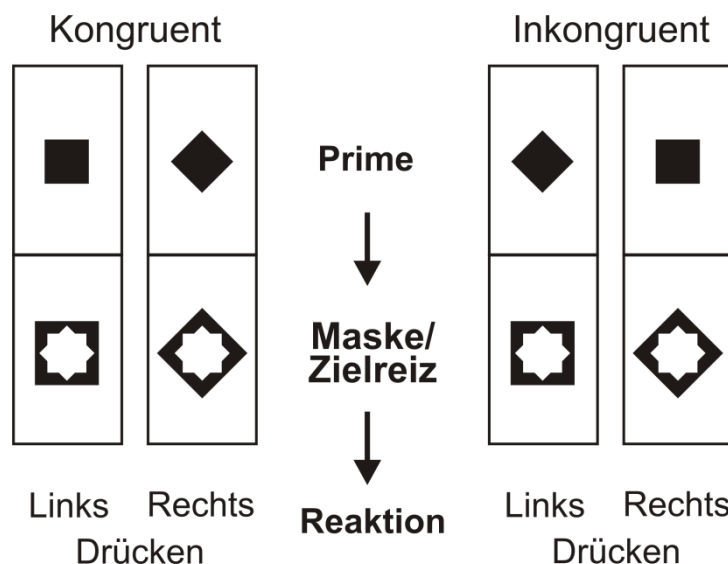


Abb. 2.3 In Experiment 1 verwendete Prime und Masken Stimuli. Die Maske diente gleichzeitig als Zielreiz (Quadrat – links drücken; Raute – rechts drücken). In kongruenten Durchgängen waren Prime und Maske mit der gleichen Reaktion verknüpft, in inkongruenten Durchgängen gab der Prime die zur Maske entgegengesetzte Reaktion an. In jedem Durchgang wurde eine dieser vier Prime-Masken Kombinationen präsentiert.

Ton dargeboten wurde. In der Formaufgabe sollte mit dem Zeigefinger der rechten Hand reagiert werden, wenn ein Quadrat erschien und mit dem Mittelfinger der rechten Hand, wenn eine Raute präsentiert wurde.

Sitzung 2: In der zweiten Sitzung war die Abfolge der Stimuli mit der in der ersten Sitzung identisch. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand jedoch darin, die Form des Primes anzugeben. Dabei reagierten sie mit dem Zeigefinger der linken Hand, wenn ein quadratförmiger Prime präsentiert wurde und mit dem Zeigefinger der rechten Hand, wenn ein rautenförmiger Prime erschien.

Ablauf. Die Versuchspersonen nahmen an zwei Sitzungen teil, die an verschiedenen Tagen durchgeführt wurden. Diese fanden in einem schwach beleuchteten Raum statt. Um sicher zu stellen, dass sie mit einem Abstand von 100 cm vor dem Computer Monitor saßen, wurde der Kopf durch eine Kinnstütze fixiert.

Sitzung 1: Zu Beginn der ersten Sitzung wurde jede Aufgabe separat geübt. Dazu wurde jeweils ein Block mit 32 Durchgängen absolviert. Danach folgte die Doppelaufgabe. In jedem Durchgang wurde zunächst für 700 ms ein Fixationskreuz präsentiert. Danach folgte ein 100 ms langer Ton. Nach einem SOA von 50 oder 800 ms (Ton-Prime SOA) wurde für 17 ms ein Prime dargeboten. Mit einem Interstimulus-Intervall von 66 ms folgte die Maske (Prime-Masken SOA = 83 ms), die für 100 ms präsentiert wurde. Der Gesichter/Szenen Stimulus wurde 50 ms später in der Mitte des Monitors für 700 ms dargeboten (Abbildung 2.4). Die Versuchspersonen wurden angewiesen, diesen Gesichter/Szenen Stimulus zu ignorieren, da er für ihre Aufgabe irrelevant war. Beide Reaktionen wurden bis 2150 ms nach Beginn der Präsentation des jeweiligen Zielreizes aufgezeichnet. Die Tonaufgabe wurde als Hauptaufgabe betont. Die Versuchspersonen wurden instruiert, zuerst auf den Ton und anschließend auf die Form der Maske zu reagieren. Beide Reaktionen sollten so schnell und so fehlerfrei wie möglich abgegeben werden. Am Ende eines jeden Durchgangs wurde ein Fehlerfeedback gegeben: Im Fall einer falschen Reaktion auf den Ton oder die Maske wurden die Wörter “Ton falsch” oder “Form falsch” dargeboten. Waren beide Reaktionen falsch, erschienen die Wörter “Ton + Form falsch”.

Sitzung 2: In der Prime Identifikationssitzung war die Abfolge der Stimuli mit der in der ersten Sitzung identisch. Zu Beginn der zweiten Sitzung wurden die Versuchspersonen jedoch über das Vorhandensein der Primes und über alle möglichen Prime-Masken

Kombinationen aufgeklärt. In acht Übungsdurchgängen wurden Prime und Maske zunächst in verlangsamer Abfolge dargeboten. Die Versuchspersonen wurden angewiesen, ohne Zeitdruck, so fehlerfrei wie möglich auf die Form des Primes zu reagieren und bei Unsicherheit zu raten. Im Fall einer falschen Reaktion wurde das Wort “Fehler” auf dem Monitor dargeboten.

Design. Sitzung 1: In der ersten Sitzung absolvierten die Versuchspersonen 17 Blöcke mit der Doppelaufgabe mit jeweils 32 Durchgängen. Der erste Block war ein Übungsblock und wurde von der Datenanalyse ausgeschlossen. Die faktorielle Kombination der

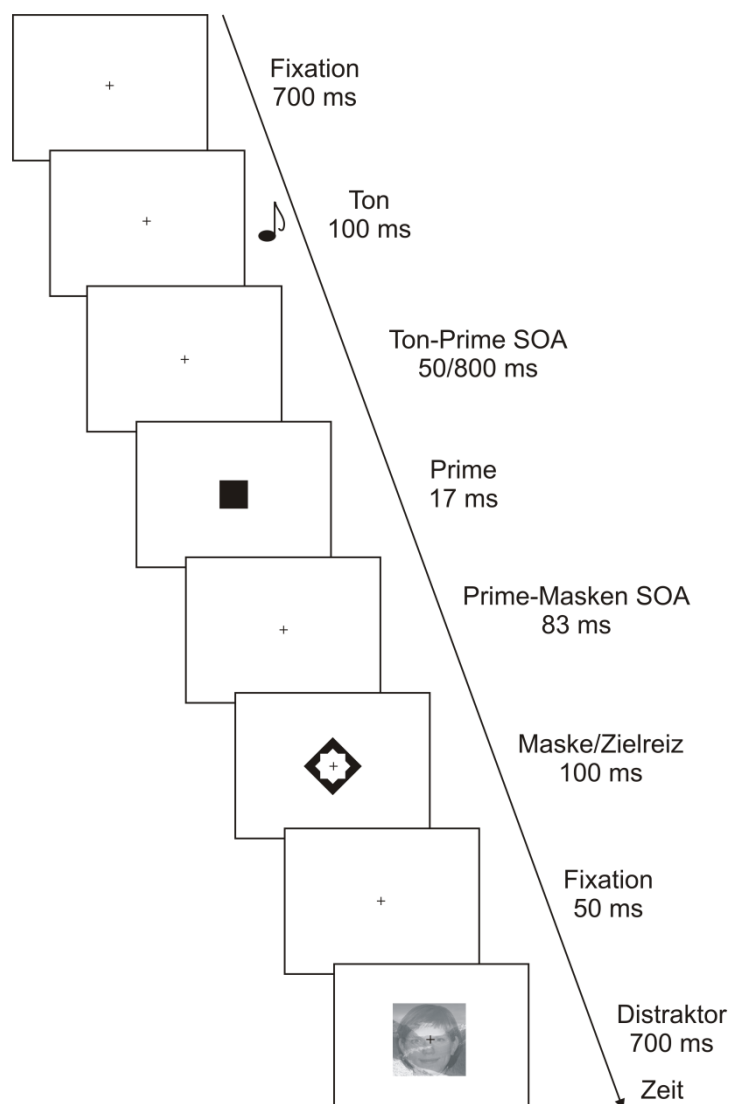


Abb. 2.4 Ablauf eines Durchgangs in Experiment 1. Die Versuchspersonen reagierten zuerst auf die Höhe des Tons und anschließend auf die Form der Maske. In diesem Beispiel ist eine inkongruente Prime-Masken Kombination dargestellt.

unabhängigen Variablen Ton (hoch, tief), SOA (50 ms, 800 ms), Form der Maske (Quadrat, Raute) und Kongruenz (kongruent, inkongruent) ergab 16 Bedingungen. Diese wurden gleich häufig und in pseudo-randomisierter Reihenfolge dargeboten. Für die Datenanalyse wurde über die Faktoren Ton und Form der Maske gemittelt. Dies ergab ein 2 x 2 faktorielles Design mit Messwiederholung mit den Faktoren SOA und Kongruenz als unabhängige Variablen. Als abhängige Variablen wurden die Reaktionszeiten und prozentualen Fehlerraten für die erste (RT1, PF1) und die zweite Aufgabe (RT2, PF2) berechnet.

Sitzung 2: In der Prime Identifikationssitzung wurden ebenfalls 17 Blöcke mit jeweils 32 Durchgängen absolviert, wobei der erste Block als Übung diente. Für jede Versuchsperson wurden der prozentuale Anteil der richtigen Reaktionen und d' als abhängige Variablen berechnet.

Statistische Analyse. Sitzung 1: Für die erste Sitzung wurden die RTn der korrekten Durchgänge für jede Versuchsperson, jede Bedingung und jede der beiden Aufgaben berechnet. Ausgeschlossen von der Analyse wurden Durchgänge, in denen in mindestens einer der beiden Aufgaben ein Fehler gemacht wurde, Durchgänge, die auf einen Fehler folgten (Rabitt, 1966) und die zwei schnellsten und drei langsamsten Durchgänge pro Bedingung. Die RTn und Arkussinus transformierten Fehlerraten³ wurden getrennt für beide Aufgaben in einer 2 x 2 faktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung mit den Faktoren SOA und Kongruenz analysiert.

Sitzung 2: Für die zweite Sitzung wurde für jede Versuchsperson d' berechnet und mittels t-Test auf Signifikanz geprüft.

2.2.1.2 Ergebnisse

RT Tonaufgabe. Die 2 x 2 faktorielle ANOVA ergab einen signifikanten Effekt des Faktors SOA ($F(1, 21) = 9.5$, $MS_e = 4234.8$, $\eta^2 = .31$, $p < .01$) auf RT1 mit 569 ms bei kurzem und 527 ms bei langem SOA (Abbildung 2.5 A). Kein anderer Effekt erreichte die Signifikanzschwelle.

³ Die Anwendung dieser Transformation war notwendig, weil die prozentualen Fehlerraten einer Binomialverteilung folgen. Wenn diese varianzanalytisch untersucht werden sollen, muss berücksichtigt werden, dass eine wichtige Voraussetzung der Varianzanalyse, die Varianzhomogenität, nicht erfüllt ist. Durch die Arkussinus Transformation ist es möglich, die Varianzen zu homogenisieren (Steel, Torrie & Dickey, 1997).

PF Tonaufgabe. Insgesamt wurden 1.8% Fehler gemacht (Tabelle 2.1). Bei kurzem SOA wurden signifikant mehr Fehler gemacht als bei langem SOA (2.2% bzw. 1.3%) ($F(1, 21) = 4.5$, $MS_e = 0.025$, $\eta^2 = .18$, $p < .05$). Auch für die Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Kongruenz wurde ein signifikantes Ergebnis beobachtet ($F(1, 21) = 8.2$, $MS_e = 0.007$, $\eta^2 = .28$, $p < .01$). Dennoch zeigte sich weder bei kurzem (-0.7%; $t(21) = -1.9$, $p = .07$) noch bei langem SOA (0.4%; $t(21) = 1.5$, $p = .16$) ein signifikanter Priming Effekt.

RT Formaufgabe. Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors SOA ($F(1, 21) = 241.8$, $MS_e = 10802.9$, $\eta^2 = .92$, $p < .001$) mit langsameren Reaktionen bei kurzem (792 ms) verglichen mit langem SOA (448 ms) (Abbildung 2.5 B). Dieser Effekt entspricht dem PRP Effekt. Der Faktor Kongruenz hatte ebenso einen signifikanten Einfluss auf RT2 ($F(1, 21) = 26.3$, $MS_e = 638.0$, $\eta^2 = .56$, $p < .001$) mit 606 ms in kongruenten und 634 ms in inkongruenten Durchgängen. Dieser Priming Effekt wurde durch das SOA moduliert ($F(1, 21) = 13.9$, $MS_e = 705.6$, $\eta^2 = .40$, $p < .01$). T-Tests für abhängige Stichproben zeigten, dass der Priming Effekt von 7 ms bei kurzem SOA nicht signifikant war ($t(21) = 0.7$, $p = .49$), wohingegen bei langem SOA ein substantieller Effekt von 49 ms beobachtet wurde ($t(21) = 8.5$, $p < .001$).

PF Formaufgabe. Im Mittel wurden 3.6% Fehler gemacht (Tabelle 2.1). Die Fehlerraten wurden nicht durch das SOA ($F < 1$) beeinflusst. Es fand sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Kongruenz mit 3.0% Fehlern in kongruenten und 4.3% Fehlern in inkongruenten Durchgängen ($F(1, 21) = 15.5$, $MS_e = 0.013$, $\eta^2 = .43$, $p < .01$). Auch die Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Kongruenz wurde signifikant ($F(1, 21) = 17.9$, $MS_e = 0.198$, $\eta^2 = .46$, $p < .001$). Ein t-Test für abhängige Stichproben ergab keinen signifikanten Priming Effekt bei kurzem (-0.5%; $t(21) = 1.1$, $p = .29$) und einen signifikanten Priming Effekt bei langem SOA (3.1%; $t(21) = 4.8$, $p < .001$).

Prime Identifikation. Die Primes wurden im Mittel in 74% aller Durchgänge korrekt klassifiziert (Spanne: 47% - 98%). Das mittlere d' von 1.5 war signifikant von null verschieden ($t(21) = 5.9$, $p < .001$). Da die Identifikationsleistung überzufällig war, wurde zusätzlich überprüft, ob die Höhe der Prime Sichtbarkeit die Größe des Priming Effekts beeinflusst hat. Dazu wurde eine Regressionsanalyse mit dem Priming Effekt in RT2 als abhängige und den d' -Werten als unabhängige Variable, getrennt für das kurze und das lange SOA, berechnet (Greenwald, Klinger & Schuh, 1995). Dabei wurde der

Steigungskoeffizient der Regressionsgeraden (β) bestimmt, um zu testen, ob der Priming Effekt von der Prime Sichtbarkeit abhing. Darüber hinaus entspricht die Regressionskonstante (Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der y-Achse) dem Wert der abhängigen Variablen, wenn die unabhängige Variable den Wert null aufweist. Sie ist somit ein Maß für die mögliche Größe des Priming Effekts bei einer Prime Sichtbarkeit von null. So spricht eine signifikante Regressionskonstante für einen substantiellen Priming Effekt bei gleichzeitiger Prime Sichtbarkeit auf Zufallsniveau. Weder für das kurze ($\beta = .002$; $t(21) = .01$, $p = .99$), noch für das lange SOA ($\beta = -.01$; $t(21) = 0.4$,

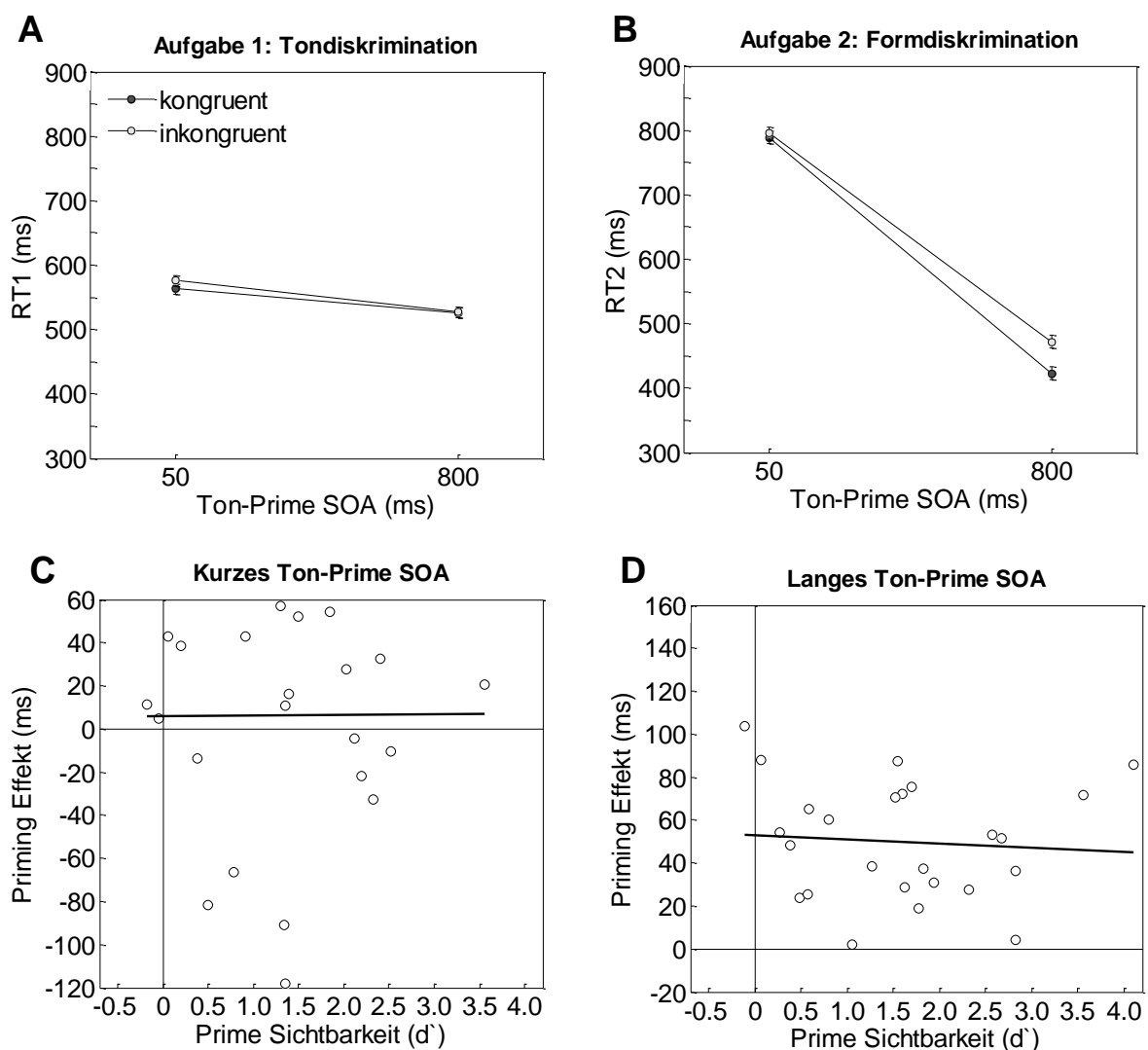


Abb. 2.5 Mittlere RTn und Ergebnisse der Regressionsanalysen in Experiment 1. (A) Mittlere RTn für die Ton- und die (B) Formdiskriminationsaufgabe in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion SOA x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994). (C/D) Individuelle Priming Effekte in Abhängigkeit von der Prime Sichtbarkeit für das (C) kurze und das (D) lange Ton-Prime SOA. Abgetragen ist auch die Regressionsgerade. Der Priming Effekt wurde als Differenz zwischen den RTn in inkongruenten und kongruenten Durchgängen berechnet.

Tab. 2.1 Mittlere prozentuale Fehlerraten in den Experimenten 1, 2, 3 und 4b in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz.

| Kongruenz | SOA (ms) | | | |
|---------------|-----------|-----|-----------|------|
| | Aufgabe 1 | | Aufgabe 2 | |
| | 50 | 800 | 50 | 800 |
| Experiment 1 | | | | |
| kongruent | 2.6 | 1.1 | 3.7 | 2.2 |
| inkongruent | 1.9 | 1.5 | 3.3 | 5.3 |
| Experiment 2 | | | | |
| kongruent | 3.6 | 1.7 | 6.0 | 2.6 |
| inkongruent | 4.3 | 2.1 | 8.4 | 12.4 |
| Experiment 3 | | | | |
| kongruent | 1.4 | 1.2 | 4.7 | 2.7 |
| inkongruent | 5.8 | 4.8 | 3.8 | 2.5 |
| Experiment 4b | | | | |
| kongruent | 3.3 | 1.6 | 13.4 | 9.8 |
| inkongruent | 3.0 | 1.5 | 14.8 | 10.3 |

Anmerkung. Experiment 1: Aufgabe 1 = Tonhöhendiskrimination, Aufgabe 2 = Formdiskrimination; Experiment 2: Aufgabe 1 = Tonhöhendiskrimination, Aufgabe 2 = Positionsdiskrimination; Experiment 3: Aufgabe 1 = Positionsdiskrimination, Aufgabe 2 = Tonhöhendiskrimination; Experiment 4b: Aufgabe 1 = Tonhöhendiskrimination, Aufgabe 2 = Gesichter-/Szenendiskrimination.

$p = .70$) wurde eine signifikante Steigung berechnet. Die Regressionskonstanten betragen 6 ($t(21) = 0.4$, $p = .71$) für das kurze und 51 ($t(21) = 5.0$, $p < .001$) für das lange SOA, wobei nur bei langem SOA ein signifikantes Ergebnis ermittelt wurde (Abbildung 2.5 C und D).

2.2.1.3 Diskussion

In der Formaufgabe wurde der typische PRP Effekt beobachtet, mit langsameren Reaktionen bei kurzem verglichen mit langem SOA. Dies spricht für die Annahme, dass ein zentraler Flaschenhals Teil der Stimulusverarbeitung war und die Reaktion in der zweiten Aufgabe durch das Warten vor dem Flaschenhals verlangsamt wurde. Des Weiteren zeigte sich, dass die Prime-Masken Kongruenz nur bei langem SOA einen

Einfluss auf die RTn in der Formaufgabe hatte. Bei kurzem SOA wurde der Effekt des Primes vollständig in die Warteperiode absorbiert. Entsprechend der Logik des PRP Paradigmas spricht dieses Ergebnismuster für eine *perzeptuelle* Quelle des Antwort-Priming Effekts: Da in kongruenten Durchgängen zweimal kurz hintereinander eine ähnliche Form präsentiert wurde, könnte die visuelle Analyse der zweiten Form (Maske) erleichtert und damit beschleunigt werden. In inkongruenten Durchgängen wurde vor der Maske ein visuell unähnlicher Prime dargeboten, was die visuelle Analyse der Maske erschweren und damit verlangsamen könnte.

In der Prime Identifikationssitzung wurde beobachtet, dass die Primes überzufällig korrekt klassifiziert werden konnten. In einer Regressionsanalyse wurde jedoch gezeigt, dass sich die Steigung der Regressionsgeraden weder bei kurzem, noch bei langem SOA signifikant von null unterschied. Das spricht dafür, dass der Priming Effekt nicht von der Prime Sichtbarkeit beeinflusst wurde. Darüber hinaus wurde bei langem SOA eine signifikante Regressionskonstante berechnet. Dies ist ein Hinweis darauf, dass Priming Effekte auch bei einer Prime Sichtbarkeit auf Zufallsniveau auftreten. Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit Befunden, die zeigen, dass Priming Effekte nicht von der bewussten Prime Wahrnehmung abhängen (z.B. Mattler, 2003; Vorberg et al., 2003).

Das Fehlen eines substantiellen Priming Effekts bei kurzem SOA spricht zwar für eine ausschließlich perzeptuelle Quelle, dennoch könnte ein Anteil des Effekts auch durch postperzeptuelle Prozesse entstanden sein. So beobachteten wir bei kurzem SOA immerhin einen Priming Effekt von 7 ms, der allerdings die Signifikanzschwelle nicht erreichte. Es wäre möglich, dass die statistische Power zu gering gewesen ist, um einen derart kleinen Priming Effekt zu entdecken. Da Priming Effekte typischerweise monoton mit zunehmendem Prime-Masken SOA ansteigen (Mattler 2003; Vorberg et al., 2003), wurde dieses SOA im zweiten Experiment mit dem Ziel, größere Priming Effekte zu generieren, von 83 ms auf 100 ms erhöht. Wenn auch bei einem verlängerten Prime-Masken SOA kein substantieller Effekt bei kurzem Ton-Prime SOA gefunden wird, muss davon ausgegangen werden, dass tatsächlich der gesamte Priming Effekt perzeptuellen Ursprungs ist.

2.2.2 Experiment 2

Experiment 2 wurde durchgeführt, um zu untersuchen, ob sich die im Experiment 1 gefundene Tendenz eines Priming Effekts bei kurzem Ton-Prime SOA (7 ms) bestätigt, wenn Voraussetzungen für einen größeren Priming Effekt geschaffen werden. Aus diesem Grund wurde das SOA zwischen Prime und Maske in der zweiten Aufgabe verlängert und eine neue Gruppe von Versuchspersonen mit dem Effektabsorptions-Verfahren untersucht. Wenn zumindest ein Teil des Effekts durch den Einfluss des Primes auf postperzeptuelle Verarbeitungsebenen entsteht, sollte sich im zweiten Experiment bei kurzem Ton-Prime SOA ein signifikanter Priming Effekt zeigen. Da eine Verlängerung des Prime-Masken SOAs zu einer Erhöhung der Prime Sichtbarkeit führt (z.B. Mattler, 2003), wurde eine komplexere Stimulus Anordnung gewählt. Dies ermöglichte es, die Prime Sichtbarkeit zu reduzieren. Dazu wurde eine aus vier Stimuli bestehende Maskenanordnung präsentiert. Diese bestand aus einem rautenförmigen Zielreiz und drei quadratförmigen Distraktoren (Mattler, 2003). Im Unterschied zum ersten Experiment reagierten die Versuchspersonen nicht auf die Form, sondern auf die Position des Zielreizes (links vs. rechts), der zusammen mit einem Distraktor entweder links oder rechts vom Fixationskreuz erschien. Auf der gegenüberliegenden Seite wurden die beiden übrigen Distraktoren präsentiert (Abbildung 2.6). Die Position des Zielreizes wurde durch einen rautenförmigen Prime entweder richtig (kongruent) oder falsch (inkongruent) angekündigt. Dieser erschien ebenfalls zusammen mit drei quadratförmigen Distraktoren. In den ersten Studien, in denen Antwort-Priming Effekte demonstriert wurden (z.B. Klotz & Neumann, 1999; Neumann & Klotz, 1994), wurden ebenfalls Positionsaufgaben verwendet. In einer Untersuchung von Neumann und Klotz (1994; Experiment 1) wurde den Versuchspersonen ein horizontal angeordnetes Stimuluspaar, bestehend aus einem Quadrat und einer Raute, präsentiert. Dieses Stimuluspaar diente als Maske für ein zuvor präsentiertes Primepaar (ebenfalls Quadrat und Raute). Die Versuchspersonen sollten per Tastendruck entweder die Position der quadrat- oder der rautenförmigen Maske angeben. Die in diesen Experimenten gefundenen Antwort-Priming Effekte sind vergleichbar mit solchen, die mit Formaufgaben gefunden wurden (z.B. Mattler, 2003; Vorberg et al., 2003). Analog zum Experiment 1 könnte der Effekt (1) perzeptueller Natur sein, (2) auf der Ebene der Reaktionsauswahl und/oder (3) auf der Ebene der Ausführung der motorischen Reaktion entstehen.

2.2.2.1 Methode

Versuchspersonen. An dem Experiment nahmen 24 Studenten (22 weiblich, 2 männlich) der Universität Göttingen mit einem durchschnittlichen Alter von 22.3 Jahren (Spanne: 19 - 29 Jahre) teil. Unter den Versuchspersonen waren 22 Rechtshänder, ein Links- und ein Beidhänder. Alle Versuchspersonen waren normalsichtig oder hatten ihre Fehlsichtigkeit angemessen korrigiert. Sie erhielten entweder Versuchspersonenstunden, die im Studium angerechnet werden können, oder 17.50 € für die Teilnahme an allen zwei Sitzungen des Experiments (Dauer jeweils ca. 60 Minuten).

Stimuli, Aufgabe, Ablauf, Design und Statistische Analyse. Dieses Experiment war mit folgenden Ausnahmen identisch zum Experiment 1: Um größere Priming Effekte zu erhalten, wurde das SOA zwischen Prime und Maske von 83 ms auf 100 ms erhöht. Da die Primes im ersten Experiment überzufällig gut sichtbar waren und frühere Studien zeigen, dass die Prime Sichtbarkeit mit einem noch längeren SOA weiter zunimmt (z.B. Mattler, 2003, 2005), verwendeten wir komplexe Stimulus Anordnungen, wie sie schon von Mattler (2003, Experiment 5) eingesetzt wurden, um die Prime Sichtbarkeit zu reduzieren (Abbildung 2.6). Die Prime Anordnung bestand aus einer Raute, die zusammen mit drei Quadraten präsentiert wurde. Die Masken Anordnung bestand ebenfalls aus einer Raute, welche zusammen mit drei Quadraten dargeboten wurde. Die Raute wurde zusammen mit einem Quadrat 2.4° Schwinkel links oder rechts vom Fixationskreuz

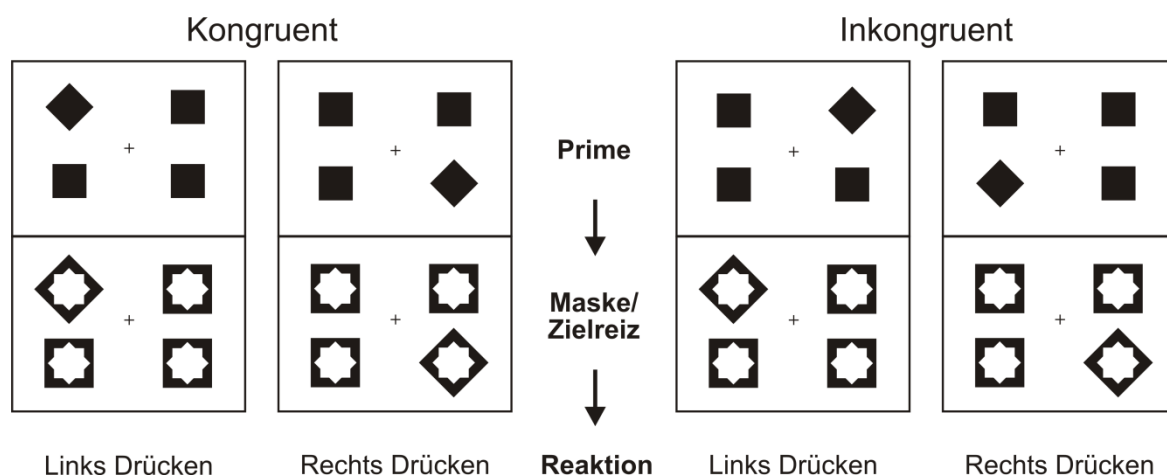


Abb. 2.6 In den Experimenten 2 und 3 verwendete Prime und Masken Stimuli. Die Versuchspersonen reagierten auf die Position der rautenförmigen Maske (links vom Fixationskreuz – links drücken; rechts vom Fixationskreuz – rechts drücken). In kongruenten Durchgängen wurde die rautenförmige Maske an der selben Position präsentiert wie der rautenförmige Prime, in inkongruenten Durchgängen wurde sie auf der dem Prime gegenüberliegenden Seite dargeboten.

präsentiert. Auf der gegenüberliegenden Seite wurden zwei Quadrate gezeigt. Der Abstand zwischen den Außenkanten dieser Masken betrug ungefähr 9° Sehwinkel. In kongruenten Durchgängen wurden der rautenförmige Prime und die rautenförmige Maske an der gleichen Position dargeboten. In inkongruenten Durchgängen erschien der rautenförmige Prime an der der rautenförmigen Maske gegenüber liegenden Position.

Sitzung 1: Während die Versuchspersonen in der ersten Sitzung wie im Experiment 1 mit der linken Hand auf den Ton reagierten, gaben sie mit der rechten Hand an, ob die Raute auf der linken (Zeigefinger der rechten Hand) oder rechten Seite (Mittelfinger der rechten Hand) des Fixationskreuzes präsentiert wurde.

Sitzung 2: In der zweiten Sitzung wurden die Versuchspersonen wieder über das Vorhandensein der Primes informiert. Sie reagierten auf die Position des rautenförmigen Primes: Eine Reaktion mit dem Zeigefinger der linken Hand war erforderlich, wenn dieser links vom Fixationskreuz erschien und eine Reaktion mit dem Zeigefinger der rechten Hand, wenn die Raute rechts vom Fixationskreuz präsentiert wurde.

2.2.2.2 Ergebnisse

RT Tonaufgabe. Wie in Abbildung 2.7 A dargestellt, hatte das SOA einen signifikanten Einfluss auf RT1 ($F(1, 23) = 49.9$, $MS_e = 3573.2$, $\eta^2 = .69$, $p < .001$) mit langsameren RTn bei kurzem (639 ms) verglichen mit langem SOA (553 ms). Kein anderer Effekt erreichte die Signifikanzschwelle.

PF Tonaufgabe. Im Mittel wurden 2.9% Fehler gemacht (Tabelle 2.1). Die Fehlerraten wurden signifikant vom SOA beeinflusst ($F(1, 23) = 14.8$, $MS_e = 0.022$, $\eta^2 = .39$, $p < .01$) mit 3.9% Fehlern bei kurzem und 1.9% Fehlern bei langem SOA. Kein anderer Effekt erreichte die Signifikanzschwelle.

RT Positionsaufgabe. Die 2×2 faktorielle ANOVA ergab einen signifikanten Haupteffekt des Faktors SOA ($F(1, 23) = 294.5$, $MS_e = 10895.9$, $\eta^2 = .93$, $p < .001$), der dem PRP Effekt mit langsameren Reaktionen bei kurzem (825 ms) verglichen mit langem SOA (459 ms) entspricht (Abbildung 2.7 B). Auch der Faktor Kongruenz hatte einen signifikanten Einfluss auf RT2 ($F(1, 23) = 279.5$, $MS_e = 224.7$, $\eta^2 = .93$, $p < .001$). Die Versuchspersonen reagierten schneller in kongruenten (617 ms) als in inkongruenten (668 ms) Durchgängen. Bedeutend für die vorliegende Fragestellung ist, dass die Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Kongruenz ebenfalls signifikant wurde

($F(1, 23) = 77.4$, $MS_e = 337.9$, $\eta^2 = .77$, $p < .001$). So war der Priming Effekt bei kurzem SOA kleiner (18 ms) als bei langem SOA (84 ms). Ein t-Test für abhängige Stichproben zeigte jedoch, dass sich der Priming Effekt sowohl bei langem ($t(23) = 19.7$, $p < .001$) als auch bei kurzem SOA ($t(23) = 3.4$, $p < .01$) signifikant von null unterschied.

PF Positionsaufgabe. Insgesamt wurden in 7.3% der Durchgänge Fehler gemacht (Tabelle 2.1). Die Fehlerraten wurden signifikant durch den Faktor Kongruenz beeinflusst ($F(1, 23) = 61.6$, $MS_e = .027$, $\eta^2 = .73$, $p < .001$) mit 4.3% Fehlern in kongruenten und

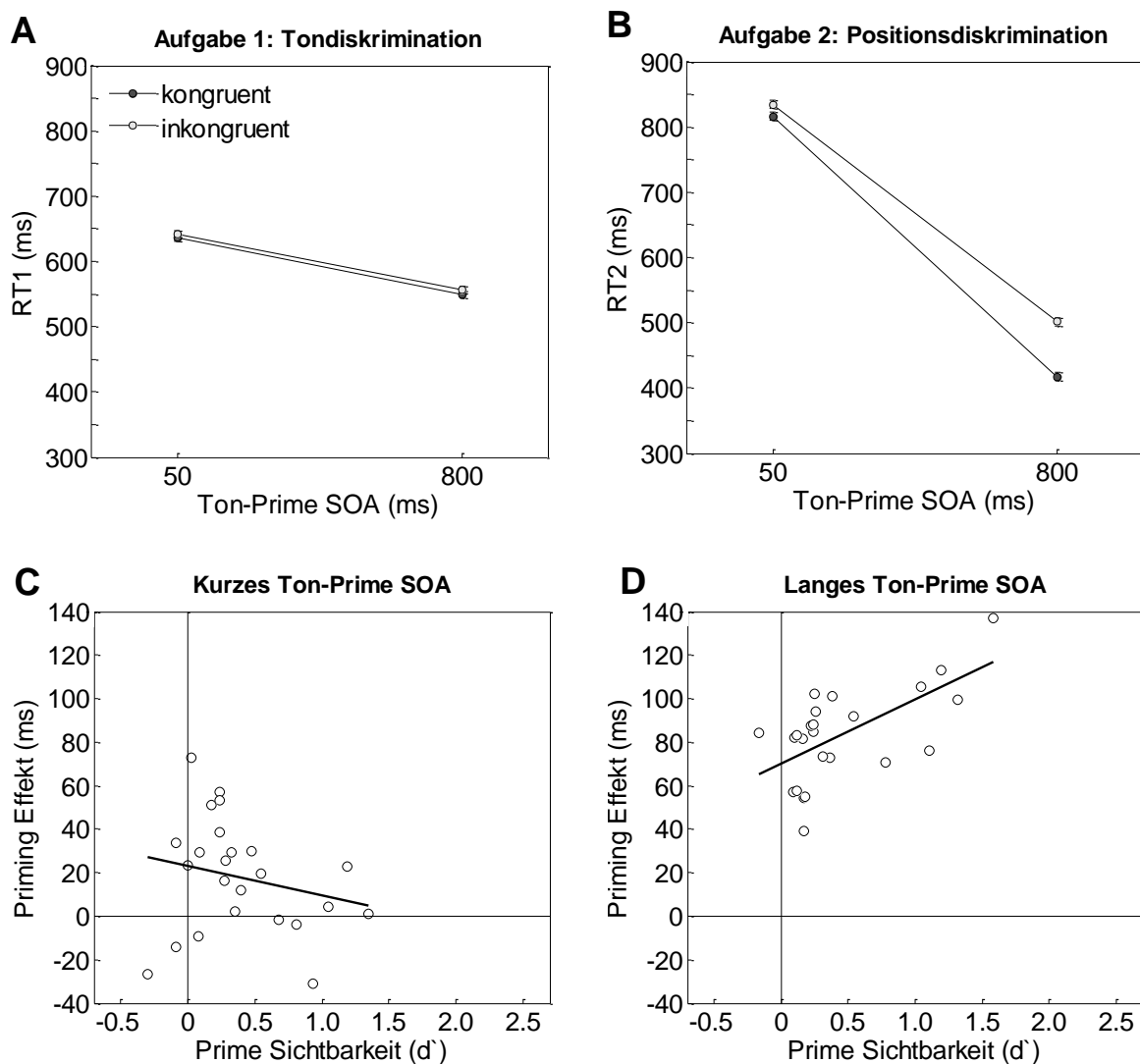


Abb. 2.7 Mittlere RTn und Ergebnisse der Regressionsanalysen in Experiment 2. (A) Mittlere RTn in Experiment 2 für die Ton- und die (B) Positionsdiskriminationsaufgabe in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion SOA x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994). (C/D) Individuelle Priming Effekte in Abhängigkeit von der Prime Sichtbarkeit für das (C) kurze und das (D) lange Ton-Prime SOA. Abgetragen ist auch die Regressionsgerade. Der Priming Effekt wurde als Differenz zwischen den RTn in inkongruenten und kongruenten Durchgängen berechnet.

10.4% Fehlern in inkongruenten Durchgängen. Dieser Priming Effekt wurde durch das SOA moduliert ($F(1, 23) = 42.5$, $MS_e = .016$, $\eta^2 = .65$, $p < .001$): Der Priming Effekt von 2.4% bei kurzem SOA war kleiner als der von 9.8% bei langem SOA. Ein t-Test für abhängige Stichproben ergab sowohl bei kurzem ($t(23) = 2.8$, $p < .05$) als auch bei langem SOA ($t(23) = 8.7$, $p < .001$) einen signifikanten Priming Effekt.

Prime Identifikation. Die Primes wurden in 58% der Durchgänge korrekt identifiziert (Spanne: 48% - 73%). Das entspricht einem d' von 0.4, welches sich signifikant von null unterschied ($t(23) = 4.8$, $p < .001$). Da sich eine überzufällige Identifikationsleistung zeigte, wurde erneut mittels Regressionsanalyse überprüft, ob die Höhe der Prime Sichtbarkeit die Größe des Priming Effekts beeinflusst hat. Während für das kurze SOA kein signifikanter Steigungskoeffizient beobachtet wurde ($\beta = -.24$; $t(21) = -1.2$, $p = .26$), erreichte dieser bei langem SOA die Signifikanzschwelle ($\beta = .59$; $t(21) = 3.4$, $p < .01$). Die Regressionskonstanten betragen bei kurzem SOA 24 und bei langem SOA 72. In beiden Fällen waren sie signifikant von null verschieden (kurzes SOA: $t(21) = 3.3$, $p < .01$; langes SOA: $t(21) = 14.5$, $p > .001$) (Abbildung 2.7 C und D).

2.2.2.3 Diskussion

In der Positionsaufgabe beobachteten wir den typischen PRP Effekt mit langsameren Reaktionen bei kurzem verglichen mit langem SOA. Dies spricht für das Vorhandensein eines zentralen Flaschenhalses, durch den die Verarbeitung der zweiten Aufgabe verlangsamt wurde. Des Weiteren zeigte sich ein signifikanter Antwort-Priming Effekt mit langsameren und fehlerhafteren Reaktionen in inkongruenten verglichen mit kongruenten Durchgängen. Dieser Priming Effekt wurde durch das Ton-Prime SOA moduliert, mit einem größeren Effekt bei langem verglichen mit kurzen SOA. Dennoch wurde bei kurzem SOA sowohl in den Reaktionszeiten als auch in den Fehlerraten ein signifikanter Priming Effekt beobachtet. Entsprechend der Annahmen des PRP Paradigmas sprechen diese Ergebnisse dafür, dass ein Teil des Priming Effekts auf frühen *perzeptuellen* und ein weiterer Teil auf *zentralen Reaktionsauswahl und/oder motorischen* Ebenen entsteht. Da der Großteil des Antwort-Priming Effekts in die Warteperiode absorbiert wurde (79%), scheinen insbesondere perzeptuelle Mechanismen an dessen Entstehung beteiligt zu sein.

Der signifikante Priming Effekt bei kurzem Ton-Prime SOA lässt vermuten, dass das Vorgehen im ersten Experiment nicht zu ausreichend stabilen Priming Effekten geführt

hat. Dafür spricht auch ein Vergleich der Priming Effekte bei langem Ton-Prime SOA, die unabhängig von der Tonaufgabe sein sollten. So war dieser im zweiten Experiment mit 84 ms deutlich größer als der Effekt von 49 ms im ersten Experiment ($t(44) = 4.6$, $p < .001$). Die Verlängerung des Prime-Masken SOAs im Experiment 2 hat somit erfolgreich zu einer Vergrößerung des Priming Effekts geführt.

Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit einer Untersuchung von Schubert, Fischer und Stelzel (2008), die ebenfalls Antwort-Priming Effekte mit dem PRP Paradigma untersuchten. In ihrem Experiment 1 kombinierten sie eine Tonhöhen Aufgabe mit einer Antwort-Priming Aufgabe und variierten das SOA zwischen beiden Aufgaben (Effektabsorptions-Verfahren). Wie in unserem Experiment 2 fanden auch sie deutlich kleinere, aber signifikante Priming Effekte bei kurzem verglichen mit langem SOA. Zwar war das Ziel dieses Experiments nicht die Lokalisation des Priming Effekts, dennoch kann dieses Ergebnismuster im Sinne einer perzeptuellen und postperzeptuellen Quelle des Priming Effekts interpretiert werden.

Die Analyse der Prime Identifikationsleistung zeigte, dass die Position des Primes überzufällig erkannt werden konnte. Darüber hinaus wurde bei langem SOA ein positiver Steigungskoeffizient beobachtet, der dafür spricht, dass der Priming Effekt mit steigender Prime Sichtbarkeit zunahm. Gegen eine Abhängigkeit beider Variablen sprechen jedoch verschiedene Studien, in denen eine doppelte Dissoziation von Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit berichtet wurde (z.B. Mattler, 2003; Vorberg et al. 2003). Wenn das SOA zwischen Prime und Maske variiert wurde, zeigte sich ein Anstieg des Priming Effekts, obwohl die Prime Sichtbarkeit bei Zufall lag (einfache Dissoziation; Vorberg et al., 2003) oder sogar mit zunehmendem SOA abnahm (doppelte Dissoziation; Mattler, 2003; Vorberg et al., 2003). Diese doppelte Dissoziation zeigt, dass Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit unterschiedliche Mechanismen zugrunde liegen müssen. Das bedeutet auch, dass für eine Vergrößerung des Priming Effekts keine Erhöhung der Prime Sichtbarkeit notwendig ist. Auf den ersten Blick erscheinen die vorliegenden Daten inkonsistent mit dieser Annahme. Allerdings wurde in der Regressionsanalyse sowohl bei kurzem als auch bei langem SOA eine signifikante Regressionskonstante berechnet. Dies spricht für einen Priming Effekt, auch wenn die Prime Sichtbarkeit auf Zufallsniveau liegt. Diese Ergebnisse könnten zum einen zeigen, dass eine bewusste Prime Wahrnehmung zwar keine notwendige Voraussetzung für die Entstehung des Priming Effekts ist, dieser aber

durch eine besonders hohe Prime Sichtbarkeit verstärkt werden kann. So wäre es denkbar, dass Prime Masken Interaktionen zwar prinzipiell unabhängig von bewussten Prozessen stattfinden, im Falle besonders gut sichtbarer Primes aber durch einen weiteren Prozess verstärkt werden, der an eine bewusste Stimuluswahrnehmung gekoppelt ist.

Zum anderen wäre es möglich, dass die Stimulus Anordnung in diesem Experiment kritisch gewesen ist. Die Prime Anordnung wurde womöglich nicht wie angenommen als Ganzes verarbeitet. Vielmehr könnte der rautenförmige Prime die räumliche Aufmerksamkeit der Versuchspersonen auf sich gezogen haben. So würde die Aufmerksamkeit in kongruenten Durchgängen an die Zielreizposition und in inkongruenten Durchgängen an die dem Zielreiz gegenüberliegende Position verschoben werden. Wenn dieser Aufmerksamkeitseffekt abhängig von der Prime Sichtbarkeit wäre, könnte dies die positiven Korrelationen zwischen Prime Sichtbarkeit und Priming Effekt erklären. Der Effekt sollte bei kurzem SOA in die Warteperiode absorbiert werden. Somit wäre es möglich, dass den im ersten Experiment beobachteten frühen Prozessen ein Aufmerksamkeitseffekt oder ein perzeptueller Effekt, im Sinne einer Erleichterung bzw. Erschwerung der visuellen Analyse des Zielreizes, oder sogar beides zugrunde liegt. Auf die Möglichkeit eines solchen Aufmerksamkeitseffekts wird in der Diskussion der Experimente 1 – 3 nochmals näher eingegangen.

2.2.3 Experiment 3

Ergänzend zum zweiten Experiment wurde im Experiment 3 das Effektübertragungsverfahren verwendet, um den Lokus von Antwort-Priming Effekten genauer zu identifizieren. Bislang konnte gezeigt werden, dass sowohl perzeptuelle als auch postperzeptuelle Prozesse an dessen Entstehung beteiligt zu sein scheinen. Ob es sich bei letzteren um Reaktionsauswahl- und/oder motorische Prozesse handelt, kann jedoch noch nicht entschieden werden. Darum wurde im folgenden Experiment die Reihenfolge der Aufgaben vertauscht und untersucht, wie stark sich der Priming Effekt in der kritischen Bedingung mit kurzem SOA von RT1 (Positionsaufgabe) auf RT2 (Tonaufgabe) überträgt. Eine vollständige Übertragung würde zeigen, dass der gesamte Priming Effekt auf perzeptueller und/oder Reaktionsauswahlebene entsteht. Zeigt sich nur eine unvollständige Übertragung, sind auch motorische Prozesse an der Entstehung des Effekts beteiligt (siehe Abbildung 2.2).

2.2.3.1 Methode

Versuchspersonen. An der Untersuchung nahmen 22 Studenten (18 weiblich, 4 männlich) der Universität Göttingen mit einem mittleren Alter von 23.3 Jahren (Spanne: 19 bis 32 Jahre) teil. Bis auf eine Versuchsperson waren alle rechtshändig. Sie gaben an, normalsichtig zu sein oder hatten ihren Sehfehler angemessen korrigiert. Für die Teilnahme an beiden Sitzungen des Experiments (Dauer jeweils ca. 60 Minuten) erhielten sie Versuchspersonenstunden oder 17.50 €.

Stimuli und Aufgaben. Die Stimuli waren identisch zu denen im zweiten Experiment. Sitzung 1: In der ersten Sitzung wurde die Reihenfolge der Aufgaben vertauscht. Die Versuchspersonen reagierten zuerst auf die Position der rautenförmigen Maske und anschließend auf die Höhe des Tons. In der Positionsaufgabe war eine Reaktion mit dem linken Mittelfinger erforderlich, wenn die Raute links vom Fixationskreuz erschien und eine Reaktion mit dem linken Zeigefinger, wenn diese rechts vom Fixationskreuz präsentiert wurde. In der Tonaufgabe sollte mit dem rechten Zeigefinger reagiert werden, wenn ein tiefer Ton dargeboten wurden und mit dem rechten Mittelfinger, wenn ein hoher Ton präsentiert wurde.

Sitzung 2: In der zweiten Sitzung wurden die Versuchspersonen aufgefordert, die Position des rautenförmigen Primes anzugeben.

Ablauf, Design und Statistische Analyse. Der Ablauf war identisch zu dem im zweiten Experiment mit Ausnahme folgender Unterschiede: Der Ton wurde mit einem SOA von 50 ms oder 800 ms *nach* der Maskenanordnung dargeboten. Die Versuchspersonen wurden instruiert zuerst auf die Position der Raute in der Maskenanordnung und anschließend auf die Höhe des Tons zu reagieren. Die Positionsaufgabe wurde als Hauptaufgabe betont. Das Design und die statistischen Analysen waren zu denen der vorhergehenden Experimente identisch. Zusätzlich wurde der Effekt des Interaktionsintervalls (IRI) untersucht, um den Einfluss einer möglichen Reaktionsgruppierung zu testen. Auf diese Analyse wird im Ergebnisteil genauer eingegangen.

2.2.3.2 Ergebnisse

RT Positionsaufgabe. RT1 wurde signifikant durch die Kongruenz zwischen Prime und Maske beeinflusst ($F(1, 21) = 116.6, MS_e = 1305.6, \eta^2 = .85, p < .001$) mit 553 ms in

kongruenten Durchgängen und 636 ms in inkongruenten Durchgängen (Abbildung 2.8 A). Kein weiterer Effekt erreichte die Signifikanzschwelle.

PF Positionsaufgabe. Im Mittel wurden 3.3% Fehler gemacht (Tabelle 2.1). Die Haupteffekte von SOA ($F(1, 21) = 5.4$, $MS_e = .014$, $\eta^2 = .20$, $p < .05$) und Kongruenz ($F(1, 21) = 24.8$, $MS_e = 0.044$, $\eta^2 = .54$, $p < .001$) waren signifikant. Bei kurzem SOA wurden signifikant mehr Fehler gemacht (3.6%) als bei langem SOA (3.0%). In kongruenten Durchgängen wurden weniger Fehler beobachtet (1.3%) als in inkongruenten Durchgängen (5.3%). Die Interaktion zwischen SOA und Kongruenz erreichte nicht die Signifikanzschwelle.

RT Tonaufgabe. RT2 wurde signifikant durch das Masken-Ton SOA beeinflusst ($F(1, 21) = 524.7$, $MS_e = 9295.2$, $\eta^2 = .96$, $p < .001$). Die Reaktionen bei kurzem SOA waren langsamer (979 ms) als die bei langem SOA (508 ms). Dieser Unterschied entspricht dem PRP Effekt. Die Kongruenz hatte ebenso einen signifikanten Einfluss auf RT2 ($F(1, 21) = 82.4$, $MS_e = 695.9$, $\eta^2 = .80$, $p < .001$) mit 718 ms in kongruenten und 769 ms in inkongruent Durchgängen. Dieser Priming Effekt wurde durch das SOA moduliert ($F(1, 21) = 71.0$, $MS_e = 517.6$, $\eta^2 = .77$, $p < .001$). Bei kurzem SOA wurde ein signifikanter Effekt von 92 ms ($t(21) = 10.0$, $p < .001$) beobachtet, bei langem SOA zeigte sich lediglich ein marginal signifikanter Effekt von 10 ms ($t(21) = 2.0$, $p = .06$) (Abbildung 2.8 B).

PF Tonaufgabe. Insgesamt wurden 3.4% Fehler gemacht (Tabelle 2.1). PF2 wurde signifikant durch das SOA beeinflusst ($F(1, 21) = 7.8$, $MS_e = .018$, $\eta^2 = .27$, $p < .05$). Bei kurzem SOA wurden mehr Fehler gemacht (4.2%) als bei langem SOA (2.6%). Kein anderer Effekt wurde signifikant.

Analyse des Effekts der Interaktions-Intervalle. Bei kurzem Masken-Ton SOA wurde eine Übertragung des Priming Effekts von RT1 der Positionsaufgabe (91 ms) auf RT2 der Tonaufgabe (92 ms) beobachtet. Entsprechend der Annahmen des PRP Paradigmas spricht dieser Befund für einen präzentralen und/oder zentralen Lokus des Priming Effekts. Dieses Ergebnis könnte jedoch auch beobachtet werden, wenn die Versuchspersonen ihre Reaktion auf die Maske zurückhalten bis die Reaktion auf den Ton ausgewählt wurde, um dann beide Reaktionen unmittelbar nacheinander abzugeben (Reaktionsgruppierung). In diesem Fall könnte sich der Priming Effekt in RT1 auch in RT2 zeigen. Um den Einfluss

einer möglichen Reaktionsgruppierung bei kurzem SOA zu testen, wurde der Effekt des Interreaktions-Intervalls (IRI) untersucht. Das IRI ist das zeitliche Intervall zwischen der ersten und der zweiten Reaktion. Dabei wird angenommen, dass IRIs ein Indikator für die Wahrscheinlichkeit sind, dass Reaktionen gruppiert abgegeben wurden (Pashler, 1994b; Ulrich & Miller, 2007). So sprechen kurze IRIs für eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass zwei Reaktionen gruppiert wurden und lange IRIs für eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass beide Reaktionen getrennt voneinander abgegeben wurden. Wenn die Übertragung des Priming Effekts auf die Tonaufgabe (bei kurzem SOA) das Ergebnis einer Reaktionsgruppierung ist, sollte diese Übertragung bei kurzen IRIs stärker sein als bei langen IRIs. Für die Analyse wurden alle Durchgänge bei kurzem SOA entsprechend der Quartile der IRIs zu vier Gruppen zusammengefasst. Anschließend wurden RT1 und RT2 für jedes Quartil und jede Kongruenzbeziehung berechnet und miteinander verglichen. Dazu wurde eine 2 x 4 faktorielle ANOVA mit Messwiederholung mit den unabhängigen Variablen Kongruenz (kongruent, inkongruent) und IRI-Quartil (1, 2, 3, 4) durchgeführt. Gegebenenfalls wurden die p-Werte der ANOVA Greenhouse-Geisser korrigiert. Um die Lesbarkeit zu verbessern, werden die unkorrigierten Freiheitsgrade berichtet.

Für RT1 der Positionsaufgabe wurde ein signifikanter Einfluss des Faktors Kongruenz beobachtet mit 560 ms in kongruenten und 647 ms in inkongruent Durchgängen ($F(1, 21) = 121.3$, $MS_e = 2733.9$, $\eta^2 = .85$, $p < .001$) (Abbildung 2.8 C). Es zeigte sich keine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Kongruenz und IRI-Quartil ($F < 1$). Somit scheint es keinen Einfluss des IRIs auf die Priming Effekte in RT1 gegeben zu haben.

RT2 der Tonaufgabe wurde ebenso signifikant durch die Kongruenz beeinflusst mit 930 ms in kongruenten und 1020 ms in inkongruenten Durchgängen ($F(1, 21) = 117.6$, $MS_e = 2798.5$, $\eta^2 = .85$, $p < .001$) (Abbildung 2.8 D). Des Weiteren fand sich ein signifikanter Haupteffekt des IRI-Quartils, mit einer Zunahme von RT2 über die Quartile 1 bis 4 (838 ms, 898 ms, 967 ms und 1204 ms) ($F(3, 63) = 116.7$, $MS_e = 9687.8$, $\eta^2 = .85$, $p < .001$). Die Interaktion zwischen Kongruenz und IRI-Quartil wurde nicht signifikant ($F < 1$), d.h., die Übertragung des Priming Effekts war unabhängig vom IRI. Dieses Ergebnis spricht gegen eine Gruppierungsstrategie.

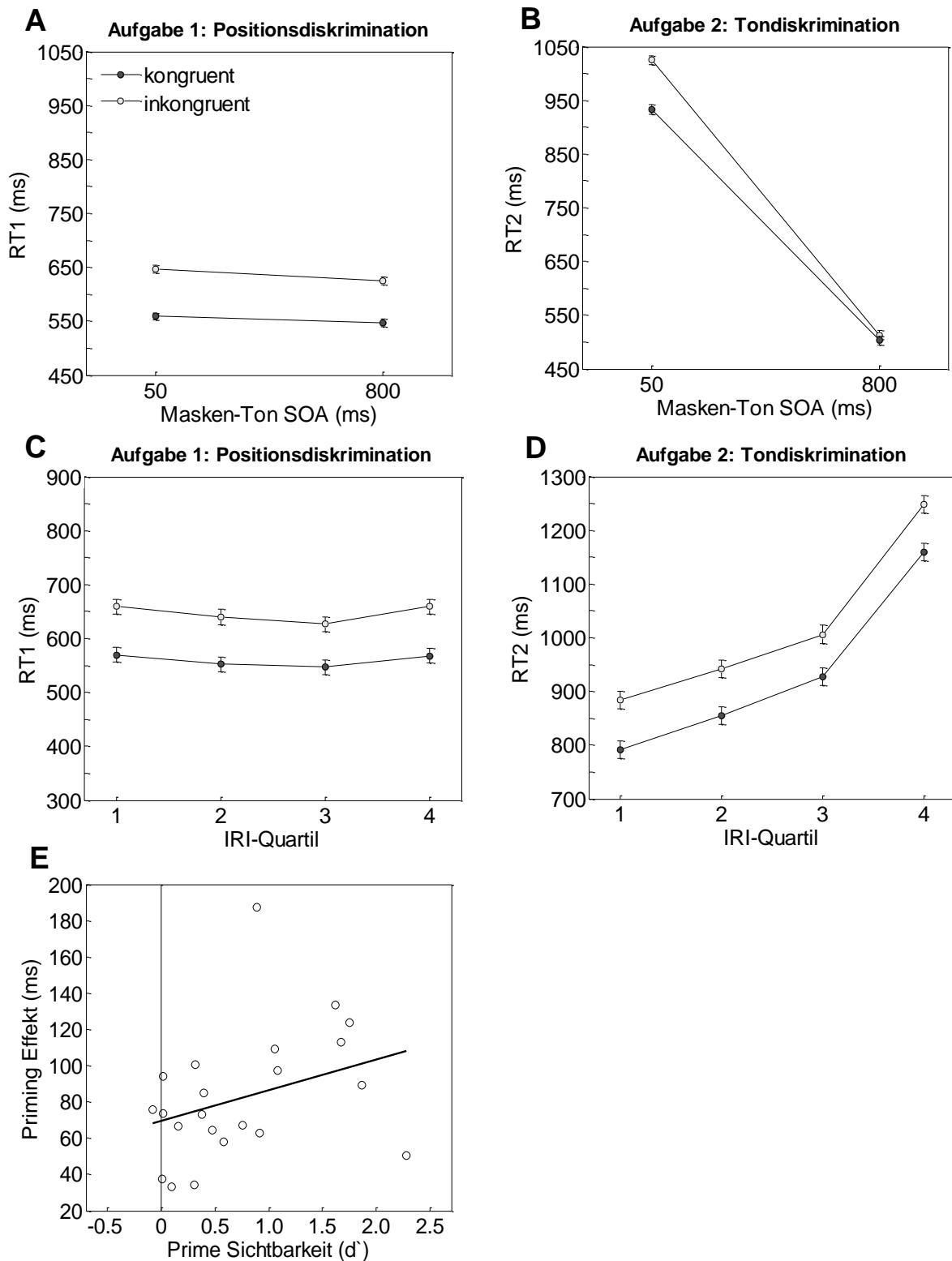


Abb. 2.8 Mittlere RTn und Ergebnisse der Regressionsanalysen in Experiment 3. (A) Mittlere RTn für die Positions- und die (B) Tondiskriminationsaufgabe in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion SOA x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994). Mittlere RTn für die (C) Positions- und die (D) Tondiskriminationsaufgabe bei kurzem SOA in Abhängigkeit von Kongruenz und IRI-Quartil. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion Quartal x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994). (E) Individuelle Priming Effekte in Abhängigkeit von der Prime Sichtbarkeit. Abgetragen ist auch die Regressionsgerade. Der Priming Effekt wurde als Differenz zwischen den RTn in inkongruenten und kongruenten Durchgängen berechnet.

Prime Identifikation. Im Mittel wurden 64% der Primes korrekt klassifiziert. Das entspricht einem mittleren d' von 0.8, welches signifikant von null verschieden war ($t(21) = 5.1, p < .001$). Erneut wurde die Abhängigkeit des Priming Effekts von der Prime Sichtbarkeit überprüft (Abbildung 2.8 E). Die Regressionsanalyse wurde nicht getrennt für das kurze und das lange SOA durchgeführt, da sich die Priming Effekte nicht signifikant voneinander unterschieden. Es wurde ein marginal signifikanter Steigungskoeffizient berechnet ($\beta = .38; t = 1.8, p = .08$). Die Regressionskonstante betrug 69 und war signifikant von null verschieden ($t(21) = 6.3, p < .001$).

2.2.3.3 Diskussion

Bei kurzem Masken-Ton SOA wurden langsamere Reaktionen auf den Ton beobachtet als bei langem SOA (PRP Effekt). Des Weiteren zeigte sich in der Positionsaufgabe ein bedeutsamer Priming Effekt. Dieser wurde bei kurzem SOA vollständig von der Positionsaufgabe auf die Tonaufgabe übertragen. Entsprechend der Logik des PRP Paradigmas ist dies ein Hinweis darauf, dass der Antwort-Priming Effekt durch *perzeptuelle und/oder Reaktionsauswahlprozesse* entsteht. Gegen die alternative Interpretation der Ergebnisse als Resultat einer Gruppierungsstrategie spricht, dass die Übertragung des Priming Effekts unabhängig von der zeitlichen Distanz zwischen beiden Reaktionen (IRI) war, die als Indikator für eine mögliche Reaktionsgruppierung angesehen werden kann. Die Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass kongruente Primes die perzeptuelle Analyse des Zielreizes und/oder die Reaktionsauswahl erleichtern, wohingegen inkongruente Primes diese Prozesse erschweren. Vergleichbar zum Experiment 2 deutete sich zwar eine Abhängigkeit der Größe des Priming Effekts von der Prime Sichtbarkeit an, aber auch hier wurden Hinweise auf das Vorhandensein von Priming Effekten bei einer Prime Sichtbarkeit auf Zufallsniveau gefunden. Analog zum zweiten Experiment könnten diese Befunde jedoch auch darauf hindeuten, dass Aufmerksamkeitsprozesse involviert sind, die zu einer tendenziellen Abhängigkeit des Priming Effekts von der Prime Sichtbarkeit geführt haben.

2.2.4 Diskussion der Experimente 1 - 3

Um Antwort-Priming Effekte zu lokalisieren, wurde das PRP Paradigma verwendet. In diesem wurden in jedem Durchgang zwei Aufgaben unmittelbar nacheinander bearbeitet. Die Antwort-Priming Effekte wurden mit einer visuellen Diskriminationsaufgabe untersucht, in der vor dem Zielreiz ein kongruenter oder inkongruenter Prime dargeboten wurde. Diese visuelle Aufgabe wurde mit einer Tonhöhendiskriminationsaufgabe kombiniert. Wenn die auditorische Aufgabe zuerst bearbeitet wurde (Effektabsorptions-Verfahren; Experimente 1 und 2), zeigte sich, dass der Priming Effekt vollständig (Experiment 1) oder teilweise (Experiment 2) in die Warteperiode absorbiert wurde. Dies spricht für eine perzeptuelle Quelle des Antwort-Priming Effekts. Zwar wurde der Priming Effekt im ersten Experiment vollständig in die Warteperiode absorbiert, jedoch zeigte ein Vergleich des Priming Effekts bei langem Ton-Prime SOA, dass dieser im ersten (49 ms) verglichen mit dem zweiten Experiment (84 ms) deutlich kleiner war. Daher kann vermutet werden, dass der nicht absorbierte Anteil im ersten Experiment (7 ms) zu gering gewesen ist, um detektiert werden zu können. Durch die Verlängerung des Prime-Masken SOAs im zweiten Experiment wurden bessere Voraussetzungen geschaffen, um diesen residualen Anteil zu entdecken. Tatsächlich wurde dadurch bei kurzem Ton-Prime SOA ein signifikanter Priming Effekt beobachtet. Dies spricht dafür, dass neben perzeptuellen auch Reaktionsauswahl- und/oder motorische Prozesse an der Entstehung des Antwort-Priming Effekts beteiligt sind. Um genauer zwischen diesen späten Anteilen (zentral/postzentral) zu differenzieren, wurde Experiment 3 durchgeführt. Hier wurde die visuelle Aufgabe zuerst bearbeitet, die auditorische Aufgabe folgte mit kurzem oder langem SOA (Effektübertragungs-Verfahren). Bei kurzem SOA fand eine vollständige Übertragung des Priming Effekts von der visuellen auf die auditorische Reaktion statt. Zusammen mit den Ergebnissen aus den Experimenten 1 und 2 spricht dieses Resultat dafür, dass neben *perzeptuellen* auch *zentrale Reaktionsauswahlprozesse* durch den Prime beeinflusst werden. Ein Effekt auf die Reaktionsauswahl konnte in den vorliegenden Untersuchungen nicht nachgewiesen werden.

SOA Effekte in der ersten Aufgabe

Entsprechend der Vorhersagen des PRP Paradigmas fanden wir in allen drei Experimenten den typischen PRP Effekt. Dies spricht für die Annahme, dass ein

Flaschenhals in die Stimulusverarbeitung involviert ist, in dem zu einem bestimmten Zeitpunkt nur eine Aufgabe verarbeitet werden kann. In den Experimenten 1 und 2 gab es bei kurzem SOA jedoch auch eine Verlangsamung in den Reaktionen der ersten Aufgabe. Dieses Ergebnis widerspricht den Vorhersagen des PRP Paradigmas, nach denen die Verarbeitung der ersten Aufgabe unabhängig von der Verarbeitung der zweiten Aufgabe sein sollte. Simulationen von Ulrich und Miller (2008) haben gezeigt, dass eine Verlängerung der Reaktionen in der ersten Aufgabe bei kurzem SOA das Resultat einer Reaktionsgruppierung sein kann. Diese Simulationen zeigen aber auch, dass sich die relevanten Vorhersagen hinsichtlich des Lokus des experimentellen Effekts weder für das Effektabsorptions- noch für das Effektübertragungsverfahren durch eine Reaktionsgruppierung ändern. Darüber hinaus zeigte eine Untersuchung von Pashler und Johnston (1989), in der die Versuchspersonen explizit angewiesen wurden, ihre Reaktionen gruppiert abzugeben, dass sich die erwarteten Effekte auf die RT in der zweiten Aufgabe nicht änderten. Demnach sollten die relevanten Vorhersagen des Paradigmas und die gezogenen Schlussfolgerungen hinsichtlich des Lokus des Antwort-Priming Effekts selbst dann zutreffen, wenn die Versuchspersonen ihre Reaktionen in einigen Durchgängen gruppiert haben.

Lokus des Antwort-Priming Effekts

Wie erwähnt, sprechen die Befunde dafür, dass der Prime einen Einfluss auf die perzeptuelle Verarbeitung und auf Reaktionsauswahlprozesse hat. Dabei scheinen insbesondere perzeptuelle Prime Masken Interaktionen zur Entstehung des Antwort-Priming Effekts beizutragen, da sowohl im Experiment 1 als auch im Experiment 2 der größte Teil des Effekts (86% bzw. 79%) in die Warteperiode absorbiert wurde.

Diese Befunde stehen in Einklang mit verschiedenen Studien (Bodner & Dypvik, 2005; Dehaene et al., 2001, 2004; Mattler, 2006), die Antwort-Priming Effekte auf frühen perzeptuellen Stufen der Stimulusverarbeitung beobachteten. Des Weiteren sprechen die Untersuchungen von Bodner und Dypvik (2005) und Mattler (2006) dafür, dass neben perzeptuellen auch spätere nicht-perzeptuelle Mechanismen an der Entstehung des Antwort-Priming Effekts beteiligt sind. Sie konnten jedoch nicht klären, welche nicht-perzeptuelle Prozesse involviert sind. Während die bisherige Befundlage weder eindeutig für noch gegen einen Priming Effekt auf Entscheidungsebene sprach (Dehaene et al.,

1998; van Gaal et al., 2010), liefern die vorliegenden Untersuchungen Hinweise für einen Effekt auf den Prozess der Reaktionsauswahl. Unterstützt wird diese Annahme durch eine Untersuchung von van Gaal und Kollegen (2010), in der sich ein Zusammenhang zwischen neuronaler Dichte in der präSMA und dem Antwort-Priming Effekt auf Verhaltensebene zeigte. Da der präSMA insbesondere eine Rolle bei der Steuerung der Reaktionsauswahl zugeschrieben wird, spricht dieser Zusammenhang für einen Einfluss des Primes auf den Reaktionsauswahlprozess.

Darüber hinaus deuten die vorliegenden Experimente nicht auf einen Effekt des Primes auf postzentrale Verarbeitungsprozesse wie die Vorbereitung und Ausführung der motorischen Reaktion hin. Dieses Resultat ist überraschend und steht nicht in Einklang mit Befunden aus fMRT und EEG Studien (Dehaene et al., 1998; Leuthold & Kopp, 1998), die Antwort-Priming Effekte im motorischen System lokalisierten. Man muss jedoch berücksichtigen, dass es sich hier um unterschiedliche Maße handelt. So muss sich der Effekt des Primes auf die neuronale Aktivität nicht unbedingt auch in den Reaktionszeiten zeigen. Es wäre denkbar, dass eine Veränderung des Signalverlaufs des LRPs nicht automatisch bedeutet, dass sich auch die Verarbeitungszeit auf motorischer Ebene und somit die Reaktionszeit verändert. Ein Fehlen von Priming Effekten in RTn bei gleichzeitigem Vorhandensein von Priming Effekten in elektrophysiologischen Maßen wurde beispielsweise in Untersuchungen zum semantischen Priming beobachtet (Heil & Rolke, 2004; Marie-Beffa, Valdes, Cullen, Catena & Houghton, 2005; Vogel, Luck & Shapiro, 1998).

Form- vs. Positionsaufgabe

Während in Experiment 1 eine Formdiskriminationsaufgabe verwendet worden ist, sollten die Versuchspersonen in den Experimenten 2 und 3 eine Positionsaufgabe bearbeiten. So konnte eine komplexere Prime-Masken Anordnung verwendet werden, um zu verhindern, dass die Prime Sichtbarkeit aufgrund der Erhöhung des Prime-Masken SOAs vom Experiment 1 auf die Experimente 2 und 3 zunahm. Die Ergebnisse der Sichtbarkeitsprüfung haben gezeigt, dass diese Maßnahme erfolgreich war. Dennoch sind mit der Veränderung der Stimulusanordnung möglicherweise Einschränkungen verbunden.

Es wäre denkbar, dass bei Form- und Positionsaufgaben verschiedene Prozesse beteiligt sind. So könnten bei Positionsaufgaben Aufmerksamkeitsprozesse involviert sein,

weil der Prime zu einer Verschiebung der Aufmerksamkeit führt. Demzufolge würde die Aufmerksamkeit der Versuchspersonen in kongruenten Durchgängen an die Zielreizposition und in inkongruenten Durchgängen an die dem Zielreiz gegenüberliegende Position verschoben werden. Das entspricht einem perzeptuellen Effekt, der bei kurzem SOA in die Warteperiode absorbiert werden würde. Von daher könnte dem frühen Effekt in den Experimenten 2 und 3 sowohl ein Einfluss der visuellen Ähnlichkeit (kongruent) bzw. Unähnlichkeit (inkongruent) zwischen Prime und Masken Anordnung als auch eine Verschiebung der Aufmerksamkeit oder beides zugrunde liegen.

Die Annahme, dass beiden Effekten vergleichbare Prozesse zugrunde liegen, wird jedoch von verschiedenen Studien unterstützt, in denen Antwort-Priming Effekte mit Positionsaufgaben untersucht wurden und vergleichbare Effekte zu Formaufgaben gefunden wurden (z.B. Klotz & Neumann, 1999; Neumann & Klotz, 1994). Gegen eine solche automatische Verlagerung der Aufmerksamkeit spricht weiterhin, dass an allen vier Positionen ein Stimulus präsentiert wurde. Allerdings ist der rautenförmige Prime ein so genannter „singleton“, also ein Stimulus, der sich in mindestens einem Merkmal von anderen Stimuli in einer Stimulus Anordnung unterscheidet (Bacon & Egeth, 1994; Lamy & Egeth, 2003). Er besitzt im Vergleich zu den quadratförmigen Primes somit eine besondere visuelle Salienz und könnte die Aufmerksamkeit allein dadurch automatisch auf sich lenken. Darüber hinaus verfügt er über relevante Merkmale, nach denen die Versuchspersonen suchen, um die Aufgabe zu lösen. Auch dies könnte zu einer unfreiwilligen Aufmerksamkeitsverlagerung zur Position der Raute führen (Folk, Remington & Johnston, 1992). Ansorge und Heumann (2006) beispielsweise konnten in einer elektrophysiologischen Untersuchung zeigen, dass ein maskierter, peripher dargebotener Prime automatisch Aufmerksamkeit auf sich zieht. Ähnlich wie in unseren Experimenten präsentierten die Autoren ihren Versuchspersonen einen Zielreiz, der an einer von vier möglichen Positionen erschien. An den jeweils anderen drei Positionen wurden Distraktoren dargeboten. Vor diesem Zielreiz wurde ein maskierter Prime an einer der vier Positionen präsentiert. An den anderen drei Positionen erschienen ebenfalls Distraktoren. In kongruenten Durchgängen erschien der Prime auf der gleichen Seite wie der Zielreiz, in inkongruenten Durchgängen auf der dem Zielreiz gegenüber liegenden Seite. Die Versuchspersonen reagierten per Tastendruck auf die Zielreizposition (links vs. rechts vom Fixationskreuz). Ansorge und Heumann (2006) variierten zusätzlich

das Ausmaß, in dem der Prime über aufgabenrelevante Merkmale verfügte. Gemessen wurde die PCN (engl. Posterior Contralateral Negativity), eine Negativierung, die in der zum Zielreiz kontralateralen Hemisphäre in posterioren Hirnregionen auftritt und mit der Verteilung visuell-räumlicher Aufmerksamkeit in Verbindung gebracht wird (Luck & Hillyard, 1994). Wenn der Prime auf Zielreizseite präsentiert wurde, fanden die Autoren eine durch den Prime induzierte PCN in Hirnregionen kontralateral zum Zielreiz. In inkongruenten Durchgängen hingegen, zeigte sich initial eine durch den Prime hervorgerufene PCN in Hirnregionen ipsilateral zum Zielreiz. Erst nach Zielreizpräsentation wurde die PCN kontralateral beobachtet. Diese initiale durch inkongruente Primes induzierte PCN spricht dafür, dass diese die Aufmerksamkeit auf sich und damit auf die zum Zielreiz kontralaterale Seite ziehen. Dieser Effekt war unabhängig davon, ob der Prime aufgabenrelevante Merkmale enthielt; wichtig war lediglich, dass er sich in seinen Merkmalen von anderen Prime Stimuli unterschied. Das spricht für eine automatische Aufmerksamkeitsverschiebung. Dieser Prozess könnte auch in unseren Experimenten 2 und 3 eine Rolle gespielt haben. Während der perzeptuelle Effekt im Experiment 1 für eine Erleichterung bzw. Erschwerung der visuellen Analyse der Maske in kongruenten bzw. inkongruenten Durchgängen spricht, könnte in den Experimenten 2 und 3 zusätzlich ein Aufmerksamkeitsseffekt involviert gewesen sein.

Rolle der Prime Sichtbarkeit

In den Experimenten 2 und 3 wurde ein positiver Steigungskoeffizient in der Regression des Priming Effekts auf die Prime Sichtbarkeit beobachtet. Auf den ersten Blick widerspricht dieser Befund früheren Studien, die zeigen konnten, dass Priming Effekte unabhängig von einer bewussten Prime Wahrnehmung (Mattler, 2003; 2005; Vorberg et al., 2003) sind. Priming unabhängig von der Prime Sichtbarkeit wurde im ersten Experiment demonstriert. In den Experimenten 2 und 3 wurden darüber hinaus Hinweise auf signifikante Priming Effekte bei gleichzeitiger Prime Sichtbarkeit auf Zufallsniveau gefunden (signifikante Regressionskonstante). Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass eine bewusste Prime Wahrnehmung nicht notwendig für die Entstehung von Antwort-Priming Effekten ist.

Die positive Abhängigkeit des Priming Effekts von der Prime Sichtbarkeit in den Experimenten 2 und 3 hingegen könnte zeigen, dass der Priming Effekt durch eine hohe

Prime Sichtbarkeit verstärkt werden kann. So wäre es möglich, dass bei Versuchspersonen mit hoher Prime Sichtbarkeit ein zusätzlicher Mechanismus an der Entstehung des Priming Effekts beteiligt war, der abhängig von einer bewussten Prime Wahrnehmung ist. Zum einen wäre es denkbar, dass die verstärkten Priming Effekte das Ergebnis einer Irritation durch gut sichtbare inkongruente Primes sind. Dies könnte die Identifikation des Zielreizes erschweren und zu langsameren RTn führen. Wie bereits erwähnt, könnte der überzufällig sichtbare rautenförmige Prime ebenso die räumliche Aufmerksamkeit der Versuchspersonen auf sich gezogen haben. Wenn dieser Aufmerksamkeitseffekt darüber hinaus abhängig von der Sichtbarkeit des Primes wäre, könnte dies die positiven Korrelationen zwischen Prime Sichtbarkeit und Priming Effekt erklären. Dafür spricht eine Studie von Ansorge und Kollegen (2002), in der gezeigt wurde, dass der Effekt eines peripher präsentierten Primes von dessen Sichtbarkeit abhängt. So zeigte sich, dass nicht maskierte Primes einen stärkeren Einfluss auf die Reaktionszeit hatten als gut maskierte Primes (Ansorge et al., 2002; Experimente 1 und 2). Die Autoren vermuten, dass gut sichtbare Primes zu einer stärkeren automatischen Verschiebung der räumlichen Aufmerksamkeit führen. Im Unterschied zu den vorliegenden Experimenten präsentierten Ansorge und Kollegen (2002) jedoch nur einen Prime ohne Distraktoren. Dennoch könnte man vermuten, dass dieser Effekt der Prime Sichtbarkeit auch dann auftritt, wenn dieser als „singleton“ in einer Stimulusanordnung dargeboten wird.

Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Ergebnisse für einen Einfluss des Primes auf *perzeptuelle* und *zentrale Reaktionsauswahlprozesse* sprechen. Kongruente Primes könnten zu einer Erleichterung, inkongruente Primes zu einer Erschwerung der visuellen Analyse des Zielreizes und der Reaktionsauswahl führen. Zusätzlich könnte bei Positionsaufgaben ein Aufmerksamkeitsprozess involviert sein. Hinweise darauf, dass der Prime die Dauer der motorischen Verarbeitung beeinflusst, wurden in keinem der Experimente gefunden.

2.3 Aufgaben-Priming

Mattler (2003, 2005) konnte in seinen Experimenten zeigen, dass Priming Effekte auch dann auftreten, wenn die Maske nicht länger eine motorische Reaktion, sondern eine Aufgabe ankündigt, die mit einem nachfolgenden Zielreiz ausgeführt werden muss. Er beobachtete auch, dass diese Aufgaben-Priming Effekte einem ähnlichen zeitlichen Verlauf folgen wie Antwort-Priming Effekte. So nahm der Priming Effekt mit steigendem Prime-Masken SOA linear zu. Experiment 4a wurde durchgeführt, um diese Ergebnisse mit einer bisher noch nicht untersuchten Aufgabe zu replizieren und um zu zeigen, dass der Aufgaben-Priming Effekt unabhängig von der Prime Sichtbarkeit ist. Im Experiment 4b soll anschließend die Quelle des Aufgaben-Priming Effekts mit dem Effektabsorptions-Verfahren lokalisiert werden.

2.3.1 Experiment 4a

Im Experiment 4a reagierten die Versuchspersonen nicht direkt auf die Maske. Vielmehr diente diese als Hinweisreiz dafür, welche Aufgabe mit einem nachfolgenden Gesichter/Szenen Stimulus ausgeführt werden sollte. So musste entweder das Geschlecht eines Gesichts (weiblich, männlich) oder die Art einer visuellen Szene (innen, außen) beurteilt werden. Vor der Maske (Hinweisreiz) wurde ein Prime dargeboten und das Prime-Masken SOA wurde in mehreren Schritten variiert. Es wurde erwartet, dass in kongruenten Durchgängen schneller reagiert wird als in inkongruenten Durchgängen. Analog zu Antwort-Priming Effekten sollte dieser Aufgaben-Priming Effekt mit steigendem Prime-Masken SOA zunehmen. In einer gesonderten Sitzung wurde zusätzlich die Prime Sichtbarkeit überprüft. Diese sollte im Gegensatz zum Priming Effekt mit zunehmendem Prime-Masken SOA abnehmen (Doppelte Dissoziation).

2.3.1.1 Methode

Versuchspersonen. An diesem Experiment nahmen 14 Versuchspersonen (4 männlich, 10 weiblich) der Universität Göttingen mit einem mittleren Alter von 24.6 Jahren (Spanne: 20 - 29 Jahre) teil. Alle Personen waren normalsichtig oder hatten ihren Sehfehler angemessen korrigiert. Für die Teilnahme an allen vier Sitzungen des

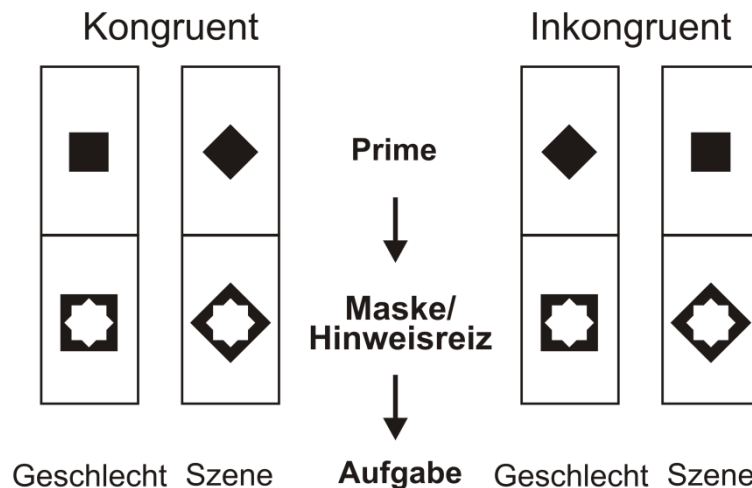


Abb. 2.9 In den Experimenten 4a und 4b verwendete Prime und Masken Stimuli. Die Maske diente gleichzeitig als Hinweisreiz für die Aufgabe, die mit dem nachfolgenden Gesichter/Szenen Stimulus ausgeführt werden sollte. In kongruenten Durchgängen waren Prime und Maske mit der gleichen Aufgabe verknüpft, in inkongruenten Durchgängen gab der Prime die zur Maske alternative Aufgabe an. In jedem Durchgang wurde eine dieser vier Prime-Masken Kombinationen präsentiert.

Experiments (Dauer jeweils ca. 60 Minuten) erhielten sie entweder Versuchspersonenstunden oder eine finanzielle Entlohnung von 31.50 €.

Stimuli und Aufgabe. Es wurden dieselben Prime und Masken Stimuli verwendet wie im Experiment 1. Sitzungen 1 – 3: In den Sitzungen 1 bis 3 diente die Maske nicht als Zielreiz, sondern als Hinweisreiz für die Aufgabe, die mit einem nachfolgenden Gesichter/Szenen Stimulus ausgeführt werden sollte (Abbildung 2.9). Wenn ein Quadrat präsentiert wurde, sollten die Versuchspersonen das Geschlecht des Gesichts angeben. Eine Reaktion mit dem linken Zeigefinger war erforderlich, wenn ein weibliches Gesicht präsentiert wurde und eine Reaktion mit dem rechten Zeigefinger, wenn ein männliches Gesicht erschien. Wurde eine Raute als Hinweisreiz dargeboten, sollten die Versuchspersonen angeben, ob eine Innen- oder Außenszene gezeigt wurde. Auf eine Innenszene sollte mit dem linken Zeigefinger und auf eine Außenszene mit dem rechten Zeigefinger reagiert werden. Es wurden vier Gesichter (2 weiblich, 2 männlich) und vier Szenen (2 innen, 2 außen) verwendet, wobei der Zielreiz durch die transparente Überlagerung eines Gesichts und einer Szene konstruiert wurde (Abbildung 2.10). Jedes Gesicht wurde mit jeder Szene kombiniert, was 16 verschiedene Gesichter/Szenen Stimuli ergab. Die männlichen Gesichter stammten aus der CVL Gesichter Datenbank (<http://rv.fri.uni-lj.si/facedb.html>), die weiblichen Gesichter waren selbst aufgenommene Fotografien von Personen, die ihr Einverständnis für eine wissenschaftliche Nutzung

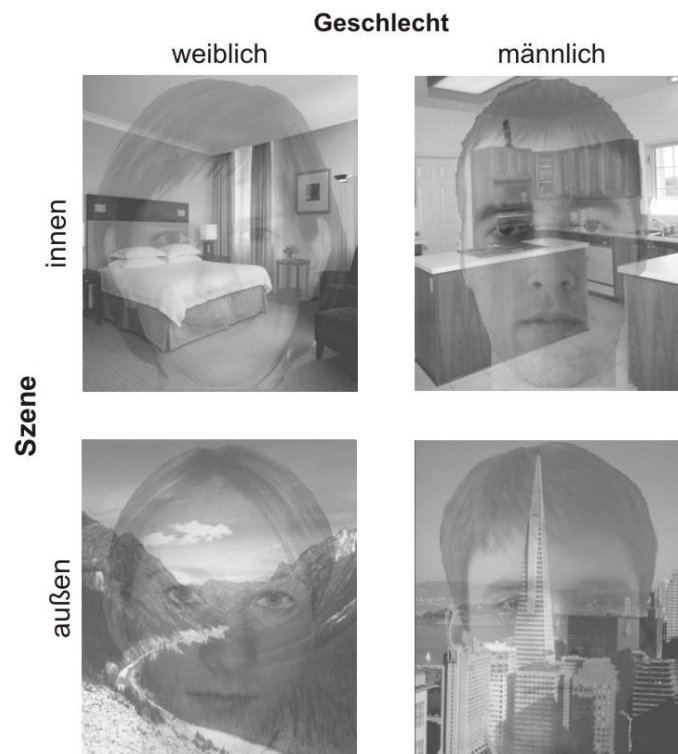


Abb. 2.10 Beispiele für die verwendeten Gesichter/Szenen Stimuli. Es wurden vier verschiedene Gesichter und vier visuelle Szenen verwendet. Jedes Gesicht wurde mit jeder Szene transparent überlagert. In jedem Durchgang wurde einer der 16 unterschiedlichen Gesichter/Szenen Stimuli präsentiert.

und Publikation gegeben haben. Es handelte sich um grau skalierte Bilder mit einem mittleren Grauwert von 135 (Standardabweichung = 45). Die Bilder wurden mit der Software GIMP 2.4 (<http://www.gimp.org/>) konstruiert.

Sitzung 4: Die vierte Sitzung war eine Prime Identifikationssitzung, in der die Versuchspersonen die Form des Primes angeben sollten. Sie wurden instruiert, ohne Zeitdruck so fehlerfrei wie möglich zu reagieren. Auf das Quadrat sollte mit dem linken Zeigefinger und auf die Raute mit dem rechten Zeigefinger reagiert werden.

Ablauf. Die Versuchspersonen absolvierten vier Sitzungen, die an vier verschiedenen Tagen stattfanden. Sitzung 1: Die erste Sitzung diente als Übungssitzung. Die Versuchspersonen wurden in einer schriftlichen Instruktion angewiesen, sich entsprechend des Hinweisreizes auf die Aufgabe vorzubereiten. In jedem Durchgang wurde für 694 ms ein Fixationskreuz dargeboten. Anschließend folgte für 24 ms der Prime. Dann wurde für 106 ms die Maske (= Hinweisreiz) präsentiert. Das SOA zwischen Prime und Maske wurde in sechs Schritten variiert (12, 24, 35, 47, 71, 82 ms). Nach einer Fixationsphase von 47 ms, erschien für 694 ms der Gesichter/Szenen Stimulus (= Zielreiz) (Abbildung

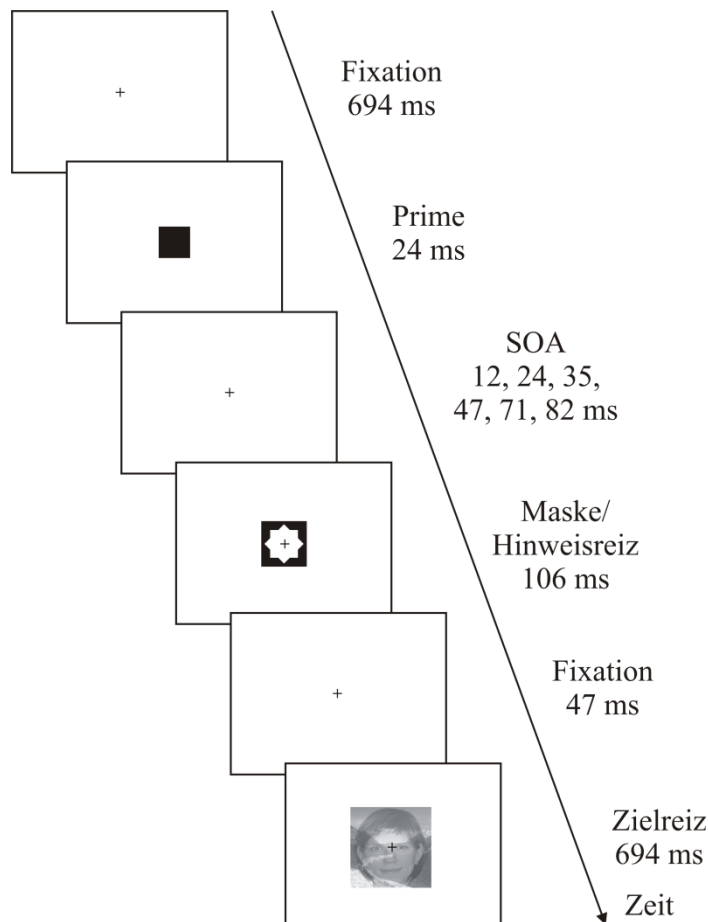


Abb. 2.11 Ablauf eines Durchgangs in Experiment 4a. Die Versuchspersonen reagierten auf den Gesichter/Szenen Stimulus. Die Form der Maske diente als Hinweisreiz für die nachfolgende Aufgabe (Geschlecht des Gesichts oder Art der Szene). In diesem Beispiel ist eine kongruente Prime-Masken Kombination dargestellt.

2.11). Die Dauer der Fixationsphase wurde in der Übungssitzung blockweise von 400 ms auf 47 ms verkürzt, damit die Versuchspersonen sich langsam an die Geschwindigkeit in den Experimentalsitzungen gewöhnen konnten.

Sitzungen 2 - 3: Die zweite und dritte Sitzung waren die eigentlichen Experimentalsitzungen. Der Ablauf eines Durchgangs war identisch zur ersten Sitzung, nur das Intervall zwischen Maske und Zielreiz (Gesichter/Szenen Stimulus) betrug von Beginn an 47 ms (Abbildung 2.11). Reaktionen wurden bis 2150 ms nach Präsentationsbeginn des Zielreizes aufgezeichnet. Wenn ein Fehler gemacht oder nicht reagiert wurde, wurde für 1000 ms das Wort „Fehler“ auf dem Monitor dargeboten. Der nächste Durchgang startete nach 1500 ms.

Sitzung 4: Vor der vierten Sitzung (Prime Identifikationssitzung) wurden die Versuchspersonen über das Vorhandensein der Primes informiert. Der Ablauf eines

Durchgangs war identisch zu den Sitzungen 2 und 3. Es sollte ohne Zeitdruck so fehlerfrei wie möglich angegeben werden, ob ein Quadrat (linker Zeigefinger) oder eine Raute (rechter Zeigefinger) als Prime dargeboten wurde.

Design und Statistische Analyse. Sitzung 1: Die Versuchspersonen absolvierten acht Blöcke mit jeweils 48 Durchgängen. Da die Sitzung als Übung diente, gingen die Daten nicht in die Auswertung ein.

Sitzung 2 – 3: In den Sitzungen 2 und 3 absolvierten die Versuchspersonen 13 Blöcke mit jeweils 48 Durchgängen. Der erste Block in jeder Sitzung war ein Übungsblock und ging nicht in die Datenanalyse ein. Die Kombination der unabhängigen Variablen SOA (12, 24, 35, 47, 71, 82 ms) und Kongruenz (kongruent, inkongruent) ergab zwölf Bedingungen, die gleich häufig und in pseudo-randomisierter Reihenfolge dargeboten wurden. Als abhängige Variablen wurden die RTn und die Fehlerraten erhoben. Die RTn der korrekten Durchgänge wurden für jeden Probanden und jede Bedingung berechnet. Ausgeschlossen von der Analyse wurden Durchgänge, in denen ein Fehler gemacht wurde, Durchgänge, die auf einen Fehler folgten (Rabitt, 1966) und die zwei schnellsten und drei langsamsten Reaktionen pro Bedingung. Die RTn und Arkussinus transformierten Fehlerraten wurden in einer 6 x 2 faktoriellen ANOVA mit Messwiederholung analysiert mit den Faktoren SOA und Kongruenz. Gegebenenfalls wurden die p-Werte der ANOVA Greenhouse-Geisser korrigiert. Um die Lesbarkeit zu verbessern, werden jedoch die unkorrigierten Freiheitsgrade berichtet.

Sitzung 4: In der Prime Identifikationssitzung wurden ebenfalls 13 Blöcke mit jeweils 48 Durchgängen absolviert, wobei der erste Block als Übung diente. Für jeden Probanden wurden der prozentuale Anteil der richtigen Reaktionen und d' als abhängige Variablen berechnet. Mit den d' Werten wurde darüber hinaus eine einfaktorielle ANOVA mit dem Faktor SOA berechnet. Um die Lesbarkeit zu verbessern, wird im Text und in den Abbildungen nur der prozentuale Anteil richtiger Reaktionen angegeben.

2.3.1.2 Ergebnisse

RT Analyse. Der Faktor Kongruenz hatte einen signifikanten Effekt auf die RTn mit 606 ms in kongruenten und 620 ms in inkongruenten Durchgängen ($F(1, 13) = 13.2$, $MS_e = 617.9$, $\eta^2 = .50$, $p < .01$). Dieser Priming Effekt wurde durch das SOA moduliert ($F(5, 65) = 6.8$, $MS_e = 286.8$, $\eta^2 = .34$, $p < .001$). Eine Trendanalyse ergab einen linearen

Trend ($F(1, 13) = 16.3$, $MS_e = 460.9.8$, $\eta^2 = .56$, $p < .01$), was bedeutet, dass der Priming Effekt vom kürzesten bis zum längsten SOA linear zunahm: 1 ms, 7 ms, -2 ms, 11 ms, 26 ms und 41 ms (Abbildung 2.12 A, B). In einer weiteren Trendanalyse wurde gezeigt, dass die RTn in kongruenten Durchgängen linear mit steigendem SOA abnahmen ($F(1, 13) = 33.3$, $MS_e = 238.7$, $\eta^2 = .72$, $p < .001$). In inkongruenten Durchgängen hingegen wurde nur für den quadratischen Trend ein signifikantes Ergebnis ermittelt ($F(1, 13) = 24.3$, $MS_e = 271.3$, $\eta^2 = .65$, $p < .001$). Die RTn nahmen zunächst über die drei kürzesten SOAs ab und erst im mittleren SOA Bereich wieder zu. Für den Faktor SOA zeigte sich darüber hinaus ein signifikanter Haupteffekt ($F(5, 13) = 4.4$,

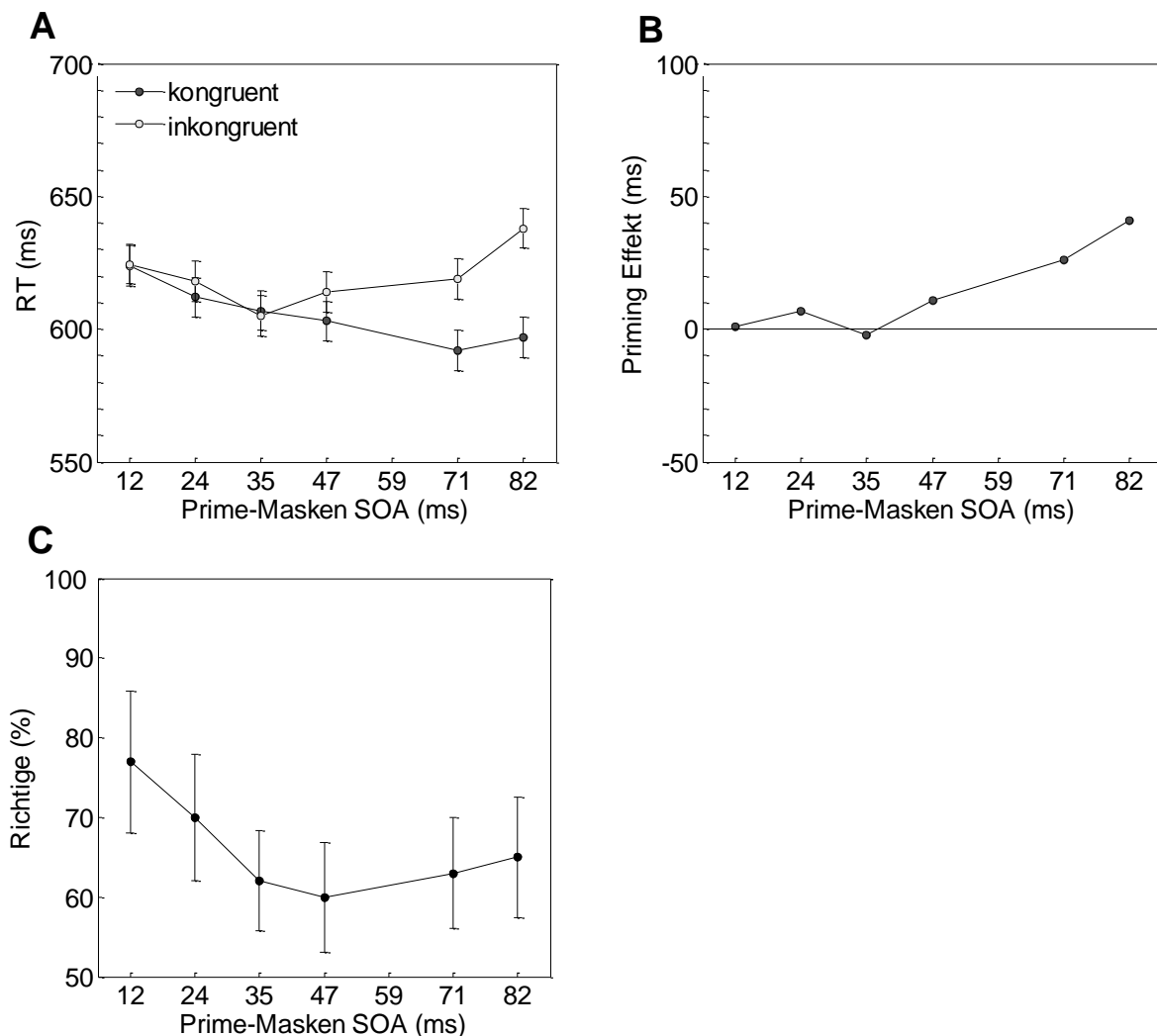


Abb. 2.12 RTn und Prime Identifikationsleistung in Experiment 4a. (A) Mittlere RTn in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion SOA x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994). (B) Priming Effekt für jedes SOA berechnet als Differenz zwischen den RTn in inkongruenten und kongruenten Durchgängen. (C) Prozentualer Anteil richtiger Reaktionen in der Prime Identifikationsaufgabe in Abhängigkeit vom SOA. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall über alle Versuchspersonen.

Tab. 2.2 Mittlere prozentuale Fehlerraten in Experiment 4a in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz.

| Kongruenz | SOA (ms) | | | | | |
|-------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 12 | 24 | 35 | 47 | 71 | 82 |
| kongruent | 6.3 | 5.9 | 5.8 | 4.1 | 5.1 | 5.4 |
| inkongruent | 6.5 | 4.7 | 6.1 | 5.1 | 4.8 | 5.6 |

$MS_e = 339.3$, $\eta^2 = .25$, $p < .01$). Dabei wurde in einer Trendanalyse ein quadratischer Trend beobachtet ($F(1, 13) = 12.3$, $MS_e = 436.7$, $\eta^2 = .49$, $p < .001$) mit den schnellsten Reaktionen im mittleren SOA Bereich (624, 616, 606, 608, 606, 616 ms).

Fehlerraten. Insgesamt wurden in 5.4% aller Durchgänge Fehler gemacht. Kein Effekt auf die Fehlerraten wurde signifikant (Tabelle 2.2).

Prime Identifikation. Die Primes wurden in 66% der Fälle korrekt klassifiziert. Das entspricht einem d' von 0.9 ($t(13) = 7.0$, $p < .001$). Die ANOVA zeigte, dass die Sichtbarkeit durch das SOA moduliert wurde ($F(5, 65) = 4.7$, $MS_e = 2.0$, $\eta^2 = .30$, $p < .05$; Greenhouse-Geisser korrigiert), wobei sich in der Trendanalyse ein quadratischer Trend zeigte ($F(1, 13) = 15.4$, $MS_e = 0.451$, $\eta^2 = .54$, $p < .01$): 77%, 70%, 62%, 60%, 63% und 65% vom kürzesten bis zum längsten SOA. Ein Vergleich dieser Maskierungsfunktion (Abbildung 2.12 C) mit der Priming-Funktion (Abbildung 2.12 B) zeigt, dass der Priming Effekt mit steigendem SOA zunimmt, während die Prime Sichtbarkeit abnimmt. Zieht man nur das kürzeste und das längste SOA in Betracht, so wird die Dissoziation zwischen Priming Effekt und Sichtbarkeit noch deutlicher: Während ersterer von 1 ms auf 41 ms anstieg ($t(13) = -3.8$, $p < .001$), nahm die Sichtbarkeit von 77% auf 65% ab ($t(13) = 2.2$, $p < .05$).

2.3.1.3 Diskussion

In Experiment 4a konnte gezeigt werden, dass Primes nicht nur einen Einfluss haben, wenn sie direkt mit einer motorischen Reaktion verknüpft sind (Antwort-Priming), sondern auch dann, wenn sie ankündigen, welche von zwei Aufgaben ausgeführt werden soll. Diese Aufgaben-Priming Effekte wurden mit anderen Aufgaben und auditorischem Stimulusmaterial bereits von Mattler (2003, 2005) beschrieben. Typischerweise nehmen

sie mit steigendem SOA zu, wobei kongruente Primes zu einer Beschleunigung und inkongruente Primes zu einer Verlangsamung der Reaktionen führen (Mattler, 2003). Auch in der vorliegenden Untersuchung zeigte sich ein Anstieg des Priming Effekts mit dem Prime-Masken SOA. Dabei wurde jedoch nur für kongruente Primes eine linear mit dem SOA zunehmende RT Verkürzung gefunden. Für inkongruente Primes wurde ein quadratischer Trend beobachtet. So nahmen die RTn auf inkongruente Primes zunächst mit dem SOA ab, um erst ab einem mittleren SOA (35 ms) linear anzusteigen. Somit wurde sowohl in kongruenten als auch in inkongruenten Durchgängen eine initiale Abnahme der RTn beobachtet, was auf einen unspezifischen bzw. Prime unabhängigen Effekt hindeutet. Darüber hinaus wird deutlich, dass in diesem kurzen SOA Bereich (12 – 35 ms) keine stabilen Priming Effekte auftraten. Diese Befunde ergänzen die Untersuchungen von Mattler (Mattler, 2003) der einen SOA Bereich von 34 bis 119 ms wählte. In der vorliegenden Studie wurde das SOA jedoch in einem Bereich von 12 bis 82 ms variiert. Damit war es möglich, den Priming Effekt auch bei sehr kurzen SOAs zu untersuchen, bei denen sich keine stabilen Aufgaben-Priming Effekte zeigten.

Ein weiteres Ziel dieser Studie war es zu zeigen, dass die zu untersuchenden Aufgaben-Priming Effekte unabhängig von einer bewussten Prime Wahrnehmung sind. Hier zeigte sich zunächst, dass die Primes in der Identifikationssitzung im Mittel überzufällig diskriminiert werden konnten. Die Sichtbarkeit wurde jedoch durch das SOA moduliert, wobei die Primes bei kurzem SOA besser identifiziert werden konnten als bei langem SOA. Da der Priming Effekt einen gegensätzlichen Verlauf zeigte, spricht das für zugrunde liegende Mechanismen, die von einer bewussten Prime Wahrnehmung unabhängig sind.

Interessant ist nun die Frage nach der Art dieser Mechanismen. Dabei spricht die Beobachtung, dass maskierte Primes auch dann einen Einfluss auf die RTn haben, wenn sie nicht mit einer motorischen Reaktion, sondern mit einer Aufgabe verknüpft sind, nicht notwendigerweise dafür, dass auch höhere kognitive Prozesse unabhängig von einer bewussten Prime Wahrnehmung moduliert werden können. Prinzipiell sind neben einer solchen höheren kognitiven Ebene (Entscheidungs- bzw. Aufgabenauswahl; zentrale Ebene) noch mindestens zwei weitere Verarbeitungsebenen denkbar: die präzentrale perzeptuelle Ebene und die postzentrale aufgabenspezifische Ebene. Experiment 4b wurde

durchgeführt, um Aufgaben-Priming Effekte mit dem PRP Paradigma auf einer oder mehreren dieser Ebenen zu lokalisieren.

2.3.2 Experiment 4b

In Experiment 4b wurde das Effektabsorptions-Verfahren eingesetzt, um Aufgaben-Priming Effekte zu lokalisieren. Wie in den Experimenten 1 und 2 bearbeiteten die Versuchspersonen zuerst eine Tonaufgabe. Anschließend folgte die im Experiment 4a beschriebene Gesichter/Szenen Aufgabe, wobei die Maske erneut als Hinweisreiz diente, der ankündigte, welche Aufgabe mit dem Gesichter/Szenen Stimulus ausgeführt werden sollte. Wenn Aufgaben-Priming Effekte ausschließlich durch perzeptuelle Prozesse entstehen, sollte sich kein Priming Effekt bei kurzem Ton-Prime SOA zeigen. In dem Ausmaß, in dem auch spätere Prozesse beteiligt sind, sollte man auch bei kurzem Ton-Prime SOA einen Priming Effekt finden.

2.3.2.1 Methode

Versuchspersonen. An dem Experiment nahmen 57 Studenten (32 weiblich, 25 männlich) der Universität Göttingen teil. Die Altersspanne betrug 20 bis 34 Jahre (MW = 24.4). Alle Versuchspersonen hatten eine normale Sehfähigkeit oder hatten ihren Sehfehler angemessen korrigiert. Sie erhielten Versuchspersonenstunden oder 17.50 € für die Teilnahme an beiden Sitzungen des Experiments (Dauer jeweils 60 – 90 Minuten).

Stimuli und Aufgaben. Die Stimuli waren identisch zu denen im Experiment 1 und 4a. In jedem Durchgang bearbeiteten die Versuchspersonen nacheinander zwei Aufgaben. Die erste Aufgabe bestand darin, einen 600 oder 1000 Hz Ton als hoch oder tief zu klassifizieren. In der zweiten Aufgabe sollten die Versuchspersonen das Geschlecht oder die Art der visuellen Szene eines Gesichter/Szenen Stimulus angeben. Die Art der Aufgabe (Gesicht vs. Szene) wurde durch den Hinweisreiz angekündigt, der gleichzeitig als Maske für den Prime diente. Wenn ein Quadrat präsentiert wurde, sollte das Geschlecht, wenn eine Raute dargeboten wurde, die Art der visuellen Szene beurteilt werden. In der Tonaufgabe war eine Reaktion mit dem linken Mittelfinger erforderlich, wenn ein tiefer Ton dargeboten wurde und eine Reaktion mit dem linken Zeigefinger, wenn ein hoher Ton präsentiert wurde. In der Gesichter/Szenen Aufgabe sollte auf ein

weibliches Gesicht oder eine Innenszene mit dem rechten Zeigefinger reagiert werden und auf ein männliches Gesicht oder eine Außenszene mit dem rechten Mittelfinger.

Ablauf. Die Versuchspersonen nahmen an zwei Sitzungen teil, die an verschiedenen Tagen durchgeführt wurden. Sitzung 1: Die erste Sitzung war eine Übungssitzung, in der beide Aufgaben getrennt voneinander geübt wurden. In einem Block mit 32 Durchgängen wurde ein Ton präsentiert, der als hoch oder tief beurteilt werden musste. Anschließend wurde die zweite Aufgabe in acht Blöcken mit jeweils 32 Durchgängen geübt. In jedem Durchgang wurde die Art der Aufgabe (Gesicht vs. Szene) durch den Hinweisreiz angekündigt.

Sitzung 2: In der zweiten Sitzung folgte die Doppelaufgabe. Die Versuchspersonen wurden durch eine schriftliche Instruktion angewiesen, zuerst die Tonaufgabe und anschließend die Gesichter/Szenen Aufgabe zu bearbeiten. Sie wurden instruiert, in beiden Aufgaben so schnell und so fehlerfrei wie möglich zu reagieren. Die Tonaufgabe wurde jedoch als Hauptaufgabe betont. Die zeitliche Stimulusabfolge war identisch zu der im Experiment 2. In jedem Durchgang wurde zunächst für 700 ms ein Fixationskreuz präsentiert. Danach folgte ein 100 ms langer Ton. Nach einem SOA von 50 oder 800 ms wurde für 17 ms ein Prime dargeboten (Ton-Prime SOA). Die Maske (= Hinweisreiz) wurde für 100 ms mit einem Prime-Masken SOA von 100 ms präsentiert. Der Gesichter/Szenen Stimulus folgte 50 ms später in der Mitte des Monitors für 700 ms. Beide Reaktionen wurden bis 2150 ms nach Präsentationsbeginn des jeweiligen Zielreizes (Ton bzw. Gesichter/Szenen Stimulus) aufgezeichnet. Am Ende eines jeden Durchgangs wurde Fehlerfeedback gegeben: Im Fall einer falschen Reaktion auf den Ton oder den Gesichter/Szenen Stimulus wurden die Wörter “Ton falsch” oder “Bild falsch” dargeboten. Waren beide Reaktionen falsch, erschienen die Wörter “Ton + Bild falsch”. Da im Experiment 4a bereits gezeigt wurde, dass die Aufgaben-Priming Effekte von der Prime Sichtbarkeit dissoziiert sind, wurde letztere nicht nochmals erhoben.

Design. In der zweiten Sitzung absolvierten die Versuchspersonen 17 Blöcke mit der Doppelaufgabe mit jeweils 32 Durchgängen. Der erste Block war ein Übungsblock und wurde von der Datenanalyse ausgeschlossen. Die Kombination der unabhängigen Variablen Ton (hoch, tief), SOA (50 ms, 800 ms), Aufgabe (Gesicht, Szene) und Kongruenz (kongruent, inkongruent) ergab 16 Bedingungen, die gleich häufig und in pseudo-randomisierter Reihenfolge dargeboten wurden. Für die Datenanalyse wurde über

die Faktoren Ton und Aufgabe gemittelt. Damit ergab sich ein 2 x 2 faktorielles Design mit Messwiederholung mit den Faktoren SOA und Kongruenz. Als abhängige Variablen wurden die RTn und prozentualen Fehlerraten für die erste (RT1, PF1) und die zweite Aufgabe (RT2, PF2) berechnet. Die statistische Analyse erfolgte analog zu den Experimenten 1 und 2.

2.3.2.2 Ergebnisse

RT Tonaufgabe. Der Faktor SOA hatte einen signifikanten Einfluss auf RT1 ($F(1, 56) = 26.6$, $MS_e = 14138.4$, $\eta^2 = .32$, $p < .001$) mit 675 ms bei kurzem und 594 ms bei langem SOA (Abbildung 2.13 A). Kein weiterer Effekt erreichte die Signifikanzschwelle.

Fehlerraten Tonaufgabe. Im Mittel wurden 2.4% Fehler gemacht (Tabelle 2.1). Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors SOA ($F(1, 56) = 44.7$, $MS_e = 0.021$, $\eta^2 = .44$, $p < .001$) mit 3.1% Fehlern bei kurzem und 1.6% Fehlern bei langem SOA.

RT Gesichter/Szenen Aufgabe. Es wurde ein signifikanter Haupteffekt des Faktors SOA auf RT2 beobachtet ($F(1, 56) = 299.6$, $MS_e = 16392.5$, $\eta^2 = .84$, $p < .001$). Entsprechend dem PRP Effekt waren die RTn langsamer bei kurzem SOA (1016 ms) verglichen mit langem SOA (723 ms) (Abbildung 2.13 B). Auch der Faktor Kongruenz hatte einen signifikanten Effekt ($F(1, 56) = 36.4$, $MS_e = 957.3$, $\eta^2 = .39$, $p < .001$) mit 857 ms in kongruenten und 882 ms in inkongruenten Durchgängen. Bedeutend ist, dass die Interaktion zwischen beiden Faktoren signifikant wurde ($F(1, 56) = 6.9$, $MS_e = 1095.0$, $\eta^2 = .11$, $p < .05$). Der Priming Effekt war bei kurzem SOA kleiner als bei langem SOA (13 ms vs. 36 ms), wobei sich beide substantiell von null unterschieden (kurzes SOA: $t(56) = 2.1$, $p < .05$; langes SOA: $t(56) = 6.6$, $p < .001$).

Fehlerraten Gesichter/Szenen Aufgabe. Im Mittel wurden 12.1% Fehler gemacht (Tabelle 2.1). Die mittleren Fehlerraten wurden signifikant vom SOA beeinflusst ($F(1, 56) = 59.1$, $MS_e = .02$, $\eta^2 = .51$, $p < .001$) mit 14.1% Fehlern bei kurzem und 10.1% Fehlern bei langem SOA. Auch der Faktor Kongruenz hatte einen signifikanten Haupteffekt ($F(1, 56) = 5.5$, $MS_e = .01$, $\eta^2 = .09$, $p < .05$) mit 11.6% Fehlern in kongruenten und 12.5% Fehlern in inkongruenten Durchgängen. Die Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Kongruenz wurde nicht signifikant ($F(1, 56) = 2.3$, $p = .14$).

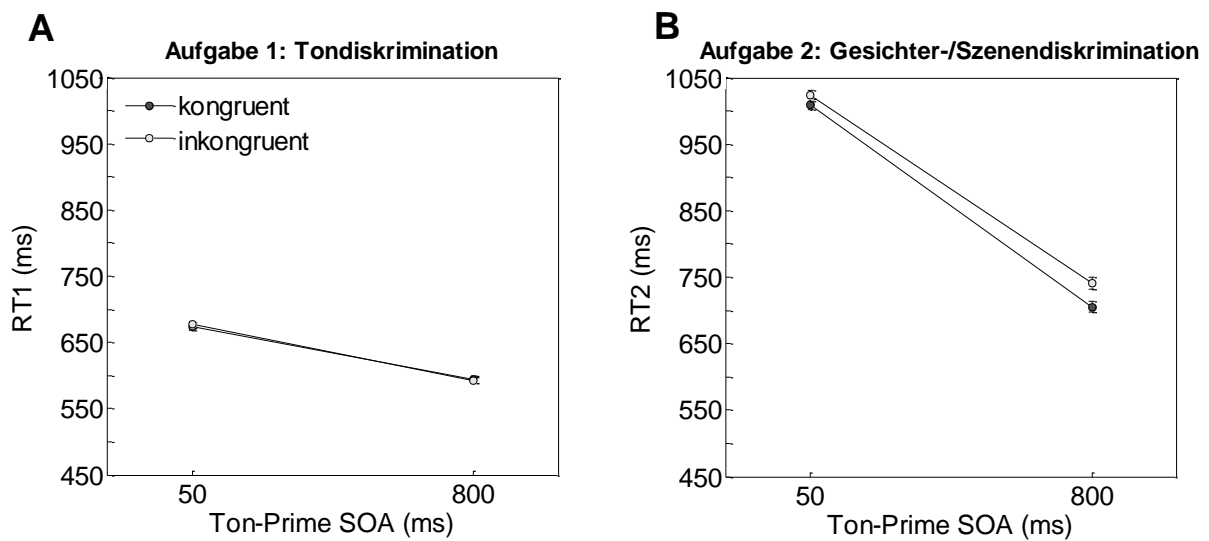


Abb. 2.13 Mittlere RTn in Experiment 4b für die (A) Ton- und (B) Gesichter-/Szenendiskriminationsaufgabe in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion SOA x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994).

2.3.2.3 Diskussion

In der Gesichter/Szenen Aufgabe zeigte sich der typische PRP Effekt mit langsameren Reaktionen bei kurzem verglichen mit langem SOA. Das spricht dafür, dass an der Verarbeitung beider Aufgaben ein zentraler Prozess beteiligt gewesen ist, dessen Verarbeitungskapazität begrenzt ist (Flaschenhals). Des Weiteren wurde ein Priming Effekt beobachtet, der durch das SOA moduliert wurde. Entscheidend ist, dass bei kurzem SOA zwar ein kleinerer, aber signifikanter Aufgaben-Priming Effekt gefunden wurde. Zum einen zeigte sich somit, dass ein Teil des Priming Effekts in die Warteperiode absorbiert wurde. Das spricht für eine Beteiligung von *perzeptuellen* Prozessen an der Entstehung des Aufgaben-Priming Effekts. Zum anderen ist der residuale Priming Effekt bei kurzem SOA ein Hinweis darauf, dass zusätzliche Prozesse auf der *zentralen und/oder aufgabenspezifischen* Ebene involviert sind. Dabei scheint der Anteil perzeptueller Mechanismen ausgeprägter zu sein, da der größte Teil des Effekts (64%) in die Warteperiode absorbiert wurde.

Mit dem Effektabsorptions-Verfahren allein kann nicht zwischen diesen späteren Verarbeitungsprozessen (zentral und postzentral) unterschieden werden. Das Effektübertragungs-Verfahren stellt zwar prinzipiell eine bedeutsame Ergänzung dar, um zwischen diesen beiden Anteilen zu unterscheiden, ist hier aber aus folgendem Grund

nicht sinnvoll. Beim Effektübertragungs-Verfahren würde die Reihenfolge der Aufgaben vertauscht werden und der Ton würde analog zum Antwort-Priming entweder 50 ms oder 800 ms nach der Maske (Hinweisreiz) dargeboten werden. Kritisch für die Lokalisation des Effekts wäre die Bedingung mit kurzem SOA. Da die zentrale Verarbeitung des Tons durch den Flaschenhals in der ersten Aufgabe blockiert wird, ist die Stärke der Übertragung des Priming Effekts von der ersten Gesichter/Szenen Aufgabe auf die zweite Tonhöhenaufgabe ein Indiz für den Lokus des Priming Effekts. Eine Besonderheit beim Aufgaben-Priming ist jedoch, dass sich an die Verarbeitung des Hinweisreizes die Verarbeitung des Gesichter/Szenen Stimulus anschließt. So wird nicht nur der Hinweisreiz, sondern auch der Gesichter/Szenen Stimulus in einem dreistufigen Prozess verarbeitet. Zunächst muss also der Hinweisreiz perzeptuell analysiert werden, gefolgt von der Aufgabenauswahl und Aufgabenausführung. Im Rahmen der Aufgabenausführung wird der Gesichter/Szenen Stimulus perzeptuell analysiert und es muss die passende Reaktion ausgewählt und schließlich ausgeführt werden. Das bedeutet, dass sich in der Gesichter/Szenen Aufgabe an den zentralen Prozess der Aufgabenauswahl ein weiterer zentraler Reaktionsauswahlprozess anschließt. In die erste Aufgabe ist somit nicht nur ein Flaschenhals, vielmehr sind zwei Flaschenhalse involviert. Eine solche Konstellation ist für das PRP Paradigma nicht beschrieben, so dass die Auswirkungen auf die Übertragung des Effekts von der ersten auf die zweite Reaktion nicht vorhersagbar und die Ergebnisse nicht eindeutig interpretierbar sind. Aus diesem Grund wurde das Verfahren in der vorliegenden Untersuchungsreihe nicht angewendet.

Man kann an dieser Stelle jedoch schlussfolgern, dass sowohl perzeptuelle als auch nicht-perzeptuelle Prozesse an der Entstehung des Aufgaben-Priming Effekts beteiligt zu sein scheinen.

2.4 Diskussion der Experimente 1 – 4

Ziel dieser Experimentalreihe war es, Antwort- und Aufgaben-Priming Effekte mit dem PRP Paradigma auf den verschiedenen Verarbeitungsebenen zu lokalisieren. Über einen Vergleich der Experimente sollte darüber hinaus untersucht werden, ob beiden Effekten ein ähnlicher Mechanismus zugrunde liegt. Aufgrund vergleichbarer Zeitverläufe der Priming Effekte und Sichtbarkeitsfunktionen (Mattler, 2003) wurde angenommen, dass sie auf denselben Verarbeitungsebenen entstehen könnten. In den Experimenten 1, 2

und 4b wurde das Effektabsorptions-Verfahren eingesetzt. Ein Vergleich dieser Experimente spricht dafür, dass Prime-Masken Interaktionen auf frühen perzeptuellen Ebenen sowohl bei Antwort- als auch bei Aufgaben-Priming Effekten eine entscheidende Rolle spielen. In beiden Fällen ist das ein Hinweis darauf, dass ein kongruenter Prime die visuelle Analyse der Maske erleichtert und ein inkongruenter Prime letztere erschwert. Der gemeinsame perzeptuelle Lokus beider Effekte ist nicht überraschend, da identische Prime und Masken Stimuli verwendet wurden. Des Weiteren wurden Hinweise darauf gefunden, dass Primes im *Antwort-Priming* den Prozess der Reaktionsauswahl beeinflussen (Experimente 2 und 3). Kongruente Primes scheinen die Auswahl der korrekten Reaktion zu erleichtern, wobei inkongruente Primes diese erschweren. Die Ergebnisse des Experiments 4b sprechen dafür, dass solche postperzeptuellen Prozesse auch für die Entstehung des *Aufgaben-Priming* Effekts von Bedeutung sind. So scheint der Prime auch hier einen zentralen Prozess zu beeinflussen. Dieser könnte die Auswahl der entsprechenden Aufgabe und die Aktivierung des damit assoziierten Task Sets umfassen. Alternativ oder zusätzlich könnte der Prime spezifische Prozesse beeinflussen, die sich an die Aufgabenauswahl anschließen. So könnten Prozesse aktiviert werden, die in die Ausführung der mit ihm assoziierten Aufgabe involviert sind.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass deutliche Hinweise darauf gefunden wurden, dass sowohl Antwort- als auch Aufgaben-Priming Effekte auf frühen *perzeptuellen* Verarbeitungsebenen entstehen. In beiden Paradigmen wurde der überwiegende Anteil des Priming Effekts in die Warteperiode absorbiert (Effektabsorptions-Verfahren), was für einen ausgeprägten perzeptuellen Lokus spricht. Darüber hinaus scheinen an beiden Effekten auch *postperzeptuelle* Prozesse beteiligt zu sein. Diese sind beim Antwort-Priming wahrscheinlich auf der zentralen Entscheidungsebene der Stimulusverarbeitung (Reaktionsauswahl) lokalisiert. Beim Aufgaben-Priming kann zwischen zentralen (Aufgabenauswahl) und spezifischen Prozessen nicht differenziert werden, da das Effektübertragungs-Verfahren nicht herangezogen werden konnte.

Diese Verhaltensexperimente wurden ergänzt durch zwei fMRT Untersuchungen, um die identifizierten Prozesse neuroanatomisch zu lokalisieren und die für Antwort- (Experiment 5) und Aufgaben-Priming Effekte (Experiment 6) verantwortlichen Hirnareale zu identifizieren. Ein Vergleich beider Experimente dient auch zur Klärung der

Frage, ob gemeinsame Hirnareale an der Entstehung von Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten beteiligt sind.

3 Neuronale Korrelate von Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten

Im folgenden Kapitel werden zwei Experimente vorgestellt, in denen Antwort- und Aufgaben-Priming Effekte mittels fMRT anatomisch lokalisiert wurden. Ein Vergleich beider Experimente soll darüber hinaus Hinweise darauf geben, auf welchen Verarbeitungsebenen Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen diesen Effekten bestehen. Das Prime-Masken SOA wurde auf zwei Stufen variiert, um eine doppelte Dissoziation zwischen Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit nicht nur auf Verhaltensebene, sondern auch auf neuronaler Ebene zu demonstrieren. Ziel der Untersuchungen war es dabei, die Hirnareale zu identifizieren, in denen der neuronale Priming Effekt (Unterschied der Hirnaktivität zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen) - analog zum Effekt auf Verhaltensebene - mit zunehmendem Prime-Masken SOA ansteigt, während die Prime Sichtbarkeit gleichzeitig sinkt.

Da die physikalischen Grundlagen und Analyseprinzipien der fMRT wichtig für das Verständnis der folgenden Experimente sind, wird im Anhang I eine Einführung in die fMRT gegeben.

3.1 Experiment 5 – Antwort-Priming

Im Experiment 5 wurden die neuronalen Korrelate von Antwort-Priming Effekten auf allen drei Ebenen der Stimulusverarbeitung untersucht. Die Versuchspersonen reagierten wie im Experiment 1 auf die Form einer quadrat- oder rautenförmigen Maske, vor welcher ein kongruenter oder inkongruenter Prime präsentiert wurde. Das Prime-Masken SOA wurde auf zwei Stufen variiert, um den Priming Effekt von der Prime Sichtbarkeit zu dissoziieren: So sollte der Priming Effekt mit zunehmendem SOA ansteigen, während die Prime Sichtbarkeit gleichzeitig abnimmt (Typ B Maskierung). Wie Albrecht und Kollegen (2010) beobachteten, zeigen Versuchspersonen jedoch trotz identischer Stimulationsbedingungen interindividuelle Unterschiede in der Maskierungsfunktion. So folgte diese entweder einer Typ A oder einer Typ B Kurve (Abbildung 1.2). Um sicher zu stellen, dass die in dieser Studie untersuchten Mechanismen nicht von einer bewussten Prime Wahrnehmung abhängen, wurden Versuchspersonen von der Datenanalyse

ausgeschlossen, bei denen die Manipulation der Prime Sichtbarkeit nicht erfolgreich war (die keine Typ B Maskierung zeigten).

Auf der Grundlage der Ergebnisse aus den Experimenten 1 – 3 wurde zunächst erwartet, dass (1) der Prime einen Effekt auf die frühe perzeptuelle Verarbeitung der Maske hat. Dabei wurde angenommen, dass inkongruente Primes die visuelle Analyse der Maske im Vergleich zu kongruenten Primes erschweren. Dies sollte sich in inkongruenten verglichen mit kongruenten Durchgängen in einer höheren neuronalen Aktivierung in Arealen des visuellen Systems zeigen.

(2) Zweitens wurde eine stärkere Aktivierung in inkongruenten verglichen mit kongruenten Durchgängen in Arealen vermutet, die an der Auswahl der durch die Maske angekündigten motorischen Reaktion beteiligt sind. Da inkongruente Primes mit der alternativen motorischen Reaktion assoziiert sind, erschweren sie den Entscheidungs- und Auswahlprozess. Der damit verbundene erhöhte kognitive Aufwand und Kontrollbedarf sollte sich in inkongruenten im Vergleich zu kongruenten Durchgängen in einer stärkeren Aktivierung in zentralen Kontroll- und Konfliktüberwachungsarealen wie dem ACC und dem LPFC zeigen.

(3) Drittens wäre eine direkte Aktivierung der mit dem Prime assoziierten motorischen Reaktion denkbar. Zwar wurden in den vorangegangenen Verhaltensexperimenten keine eindeutigen Hinweise darauf gefunden, dass Primes die mit ihnen assoziierte motorische Reaktion aktivieren, dennoch wäre es möglich, dass sich ein solcher Effekt zwar nicht in den RTn niederschlägt, jedoch auf neuronaler Ebene sichtbar wird. So sollten kongruente Primes im Vergleich zu inkongruenten Primes zu einer höheren Aktivierung des motorischen Cortex führen, welcher für die Ausführung der durch den Zielreiz angekündigten Reaktion relevant ist (reaktionsrelevanter motorischer Cortex). Umgekehrt sollten inkongruente Primes im Vergleich zu kongruenten Primes zu einer stärkeren Aktivierung des motorischen Cortex führen, welcher für die Ausführung der durch den Zielreiz angekündigten Reaktion irrelevant ist (reaktionsirrelevanter motorischer Cortex).

(4) Da der Priming Effekt auf Verhaltensebene durch die Manipulation des Prime-Masken SOAs bei langem SOA größer sein sollte als bei kurzem SOA, sollten auch alle erwarteten Aktivierungsunterschiede (Vorhersagen 1 - 3) bei langem SOA größer sein als bei kurzem SOA.

3.1.1 Methode

Versuchspersonen. An diesem Experiment nahmen 26 rechtshändige Versuchspersonen (22 weiblich, 4 männlich) der Universität Göttingen mit einem durchschnittlichen Alter von 22.1 Jahren (Spanne: 19 – 28 Jahre) teil. Alle Versuchspersonen waren normalsichtig oder hatten ihren Sehfehler angemessen mit Kontaktlinsen korrigiert. Eine Versuchsperson wurde nach der ersten Sitzung vom Experiment ausgeschlossen, weil sie in dieser mehr als 40% Fehler machte. Acht weitere wurden nicht in die Datenanalyse aufgenommen, weil die Manipulation der Prime Sichtbarkeit nicht erfolgreich war und sie keine Typ B Maskierungsfunktion zeigten. Dabei wurden die Versuchspersonen ausgeschlossen, deren Maskierungsfunktion eine Steigung größer oder gleich null aufwies. Die verbliebenen 17 Versuchspersonen (14 weiblich, 3 männlich) hatten ein durchschnittliches Alter von 22.5 Jahren (Spanne: 19 – 28 Jahre). Sie erhielten entweder 32 € oder Versuchspersonenstunden für die Teilnahme an allen drei Sitzungen des Experiments.

Stimuli. Es wurden dieselben Stimuli verwendet wie in der Formdiskriminationsaufgabe in Experiment 1 (Abbildung 2.3). Alle visuellen Stimuli wurden mittig über eine LCD-Brille auf hellem Hintergrund dargeboten. Der quadrat- bzw. rautenförmige Prime wurde mit einem Sehwinkel von 1.1° bzw. 1.5° präsentiert. Der Prime war zwei Pixel kleiner als der Innenausschnitt der Maske, da Voruntersuchungen zeigten, dass dies das Auftreten einer Typ B Maskierung begünstigt. Die Masken umfassten einen Sehwinkel von 1.8° (Quadrat) bzw. 2.6° (Raute). Des Weiteren wurden dieselben grauskalierten Gesichter/Szenen Stimuli präsentiert wie in den vorangegangenen Experimenten. Sie wurden mit einem Sehwinkel von 6.5° Höhe und 5.7° Breite dargeboten. Diese Gesichter/Szenen Stimuli waren irrelevant für die Untersuchung. Sie wurden präsentiert, um einen Vergleich der Ergebnisse des Experiments zum Antwort-Priming mit dem zum Aufgaben-Priming (Experiment 6) zu ermöglichen, in dem diese Stimuli als Zielreize dienten.

Aufgabe. Sitzung 1 – 2: In den Sitzungen 1 und 2 reagierten die Versuchspersonen auf die Form der Maske. Wenn ein Quadrat präsentiert wurde, sollte mit dem linken Zeigefinger, bei einer Raute mit dem rechten Zeigefinger reagiert werden. Die

Versuchspersonen wurden angewiesen, so schnell und so fehlerfrei wie möglich zu reagieren.

Sitzung 3: Die dritte Sitzung war eine Prime Identifikationssitzung, in der auf die Form des Primes reagiert wurde. Eine Reaktion mit dem linken Zeigefinger war erforderlich, wenn ein Quadrat dargeboten wurde und eine Reaktion mit dem rechten Zeigefinger, wenn eine Raute präsentiert wurde. Es sollte ohne Zeitdruck so fehlerfrei wie möglich reagiert werden.

Ablauf. Sitzung 1: Die erste Sitzung (Dauer ca. 45 Minuten) war eine Übungssitzung, die in einem Labor außerhalb des Scanners durchgeführt wurde. In dieser wurde die Aufgabe geübt, die die Versuchspersonen später im Scanner ausführen sollten. Die Stimuli wurden auf einem CRT-Monitor dargeboten. Die zeitliche Stimuluspräsentation war identisch zur zweiten Sitzung und wird dort beschrieben. Die Versuchspersonen absolvierten drei Blöcke mit jeweils 64 Durchgängen. Im ersten Block wurde im Fall eines Fehlers für 100 ms ein Ton (600 Hz) präsentiert. In den Blöcken zwei und drei wurde wie später im Scanner keine Fehlerrückmeldung gegeben. Anschließend erfolgte eine schriftliche Aufklärung über die fMRT Untersuchung.

Sitzung 2: Die zweite Sitzung (Dauer ca. 90 Minuten) war die eigentliche Experimentalsitzung, die im Scanner durchgeführt wurde. In jedem Durchgang wurde zunächst für 500 ms ein Fixationskreuz präsentiert. Anschließend wurde für 34 ms ein Prime dargeboten, der von der für 50 ms präsentierten Maske gefolgt wurde. Das SOA zwischen beiden Stimuli wurde in 2 Schritten variiert (17 ms, 83 ms). Nach einer weiteren Fixationsphase von 100 ms folgte für 700 ms der Gesichter/Szenen Stimulus. Anschließend wurde entweder für 1067 ms (bei langem SOA) oder für 1133 ms (bei kurzem SOA) ein Fixationspunkt präsentiert, so dass ein Durchgang eine konstante Dauer von 2500 ms hatte (Abbildung 3.1). Reaktionen wurden bis 1700 ms nach dem Erscheinen der Maske aufgezeichnet. Der nächste Durchgang startete nach einem Intervall von 0, 2500 oder 5000 ms. Die Intervalle waren pseudoexponential verteilt und traten mit einer Wahrscheinlichkeit von 62.5% (0 ms), 25.0% (2500 ms) und 12.5% (5000 ms) auf. Während dieser Intervalle wurde ein Fixationspunkt in der Mitte des Bildschirms präsentiert. Jede Bedingung wurde in jedem Block gleich häufig nach jedem Intervall dargeboten.

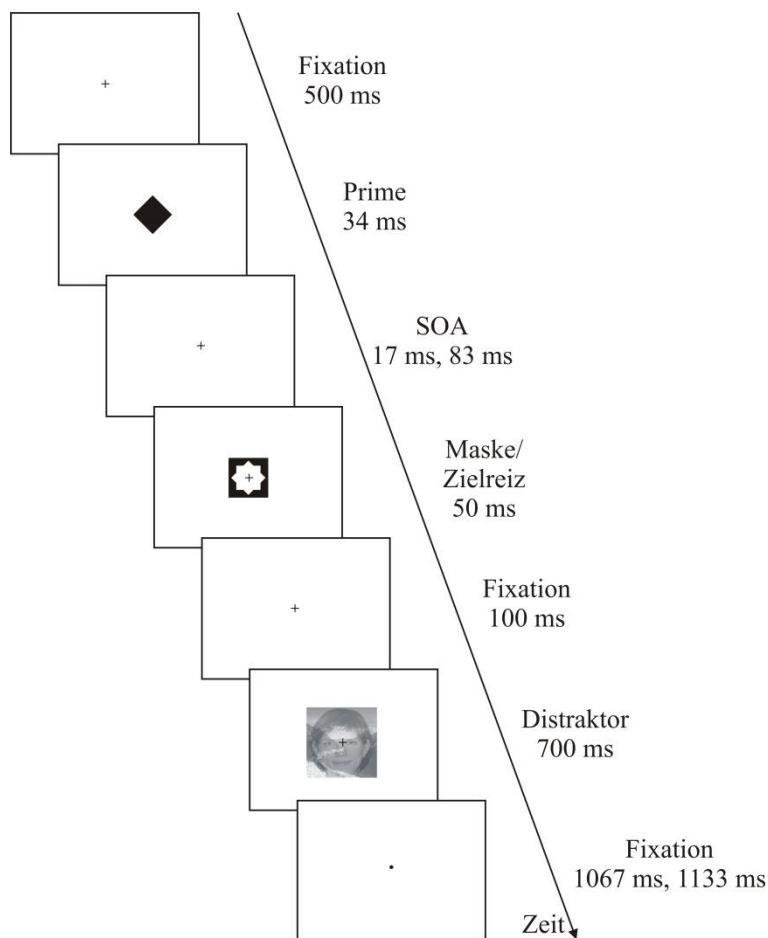


Abb. 3.1 Ablauf eines Durchgangs in Experiment 5. Die Versuchspersonen reagierten auf die Form der Maske (Quadrat/Raute). In diesem Beispiel ist eine inkongruente Prime-Masken Kombination dargestellt. Nach einem Durchgang startete der nächste Durchgang nach einem Intervall von 0, 2500 oder 5000 ms. In diesem Intervall wurde ebenfalls ein Fixationspunkt präsentiert (hier nicht dargestellt).

Sitzung 3: Die dritte Sitzung war eine Prime Identifikationssitzung (Dauer ca. 60 Minuten). Um die Identifikationsleistung unter den gleichen Bedingungen wie die Priming Effekte zu erheben (z.B. LCD-Brille, Antwortbox), fand diese letzte Sitzung ebenfalls im Scanner statt, wobei jedoch keine funktionellen Daten aufgenommen wurden. Die Versuchspersonen wurden zu Beginn der Sitzung über das Vorhandensein der Primes informiert und die Stimulussequenz wurde zunächst für acht Durchgänge verlangsamt dargeboten. Alle Stimulationsparameter waren identisch zur Sitzung 2. Im Unterschied zur zweiten Sitzung wurde im Fall eines Fehlers ein Feedback in Form eines 600 Hz Tons gegeben, der für 100 ms präsentiert wurde.

Design. Sitzung 2: In der zweiten Sitzung wurde die Aufgabe vor dem Beginn der funktionellen Messungen zunächst in 20 Durchgängen geübt. Anschließend absolvierten

die Versuchspersonen acht Blöcke mit jeweils 64 Durchgängen. Die Kombination der unabhängigen Variablen SOA (17 ms, 83 ms), Kongruenz (kongruent, inkongruent) und Form der Maske (Quadrat, Raute) ergab acht Bedingungen. Jede Bedingung wurde in jedem Block gleich häufig präsentiert. Jeder der 16 verschiedenen Gesichter/Szenen Stimuli wurde insgesamt viermal pro Bedingung, also einmal pro Bedingung innerhalb von zwei aufeinander folgenden Blöcken, dargeboten. Als abhängige Variablen wurden die RTn, die Fehlerraten und das BOLD Signal erhoben.

Sitzung 3: In der Prime Identifikationssitzung wurden neun Blöcke mit jeweils 64 Durchgängen absolviert, wobei der erste Block als Übung diente. Für jede Versuchsperson wurden der prozentuale Anteil richtiger Reaktionen und d' als abhängige Variablen in Abhängigkeit vom SOA berechnet.

fMRT-Datenaquisition. Die fMRT-Datenerhebung erfolgte mittels eines 3 Tesla Ganzkörper-Kernspintomographen (Siemens Magnetom Trio) mit einer Echo Planar Imaging (EPI) Sequenz. Pro Volumen wurden 33 T2*-gewichtete Schichten parallel zur Ebene zwischen der Commissura anterior und der Commissura posterior in aufsteigender Reihenfolge aufgenommen (Matrix: 64 x 64; Field of View: 192 x 192 mm; räumliche Auflösung: 3 x 3 x 3.6 mm; Schichtdicke = 3 mm; Spalt = 0.6 mm; TE = 30 ms; TR = 2 s; Kippwinkel = 70°). Pro Block wurden 134 Volumen akquiriert. Vor den funktionellen Messungen wurde für jede Versuchsperson eine anatomische Aufnahme des Gehirns mittels einer hochauflösenden MPRage Sequenz aufgenommen (Matrix: 232 x 256; räumliche Auflösung: 1 x 1 x 1 mm; kein Spalt; TE = 3.26 ms; TR = 2250 ms; Kippwinkel = 9°).

fMRT-Datenverarbeitung. Die Auswertung der fMRT Daten erfolgte mit der Software SPM 8 (<http://fil.ion.ucl.ac.uk/spm>; Friston et al., 1994) unter Matlab 7.5.0 (<http://www.mathworks.com/products/matlab>). Die ersten fünf Volumen pro Block wurden von der Datenverarbeitung ausgeschlossen, um eine T1-Sättigung zu gewährleisten. So verblieben 129 Volumen pro Block für die Datenauswertung. Zunächst wurde der Ursprung des anatomischen und aller funktionellen Volumen auf die Commissura anterior verschoben. Anschließend erfolgte unter Verwendung der Software ArtRepair 4 (Mazaika, Whitfield & Cooper, 2005) eine Korrektur von Artefakten. Dabei wurden Schichten identifiziert, die in ihrer Signalintensität stark von angrenzenden

Schichten abwichen. Die Reparatur erfolgte durch Interpolation der vorhergehenden und nachfolgenden Schichten. Des Weiteren wurde extrazerebrales Rauschen entfernt.

Anschließend erfolgte die zeitliche Vorverarbeitung der Daten⁴ (*Akquisitionszeitkorrektur*), um für die unterschiedlichen Aufnahmezeiten der einzelnen Schichten innerhalb der funktionellen Volumen zu korrigieren. Daran schloss sich die räumliche Vorverarbeitung an: Zunächst wurde eine *Bewegungskorrektur* durchgeführt um Kopfbewegungen der Probanden auszugleichen. Dabei wurden alle funktionellen Bilder an das erste Bild des ersten experimentellen Blocks angepasst. Dazu wurden zunächst die Bewegungsparameter (drei Translations- und drei Rotationsparameter) für eine Anpassung des ersten Bildes eines jeden Blocks auf das erste Bild des ersten Blocks geschätzt. Danach wurden innerhalb eines Blocks die Parameter eines jeden folgenden Bildes in der Zeitreihe relativ zum ersten Bild des jeweiligen Blocks bestimmt. Das vorläufige Ergebnis der Bewegungskorrektur waren die geschätzten Parameter, die später während der Normalisierung auf die Daten angewandt wurden, sowie das mittlere, bereits bewegungskorrigierte Bild aller funktionellen Bilder. Anschließend wurde das anatomische Bild auf das bewegungskorrigierte mittlere funktionelle Bild koregistriert (*Koregistrierung*), um die räumliche Orientierung des anatomischen und der funktionellen Bilder anzugleichen. So können später die Ergebnisse der Einzelprobanden auf den individuellen neuroanatomischen Bildern abgebildet werden. Basierend auf einer *Segmentierung* des anatomischen Bildes wurden die funktionellen Bilder in das MNI-Referenzsystem (Montreal Neurological Institute) überführt, wobei eine Umwandlung in 2 x 2 x 2 mm große Voxel erfolgte (*Normalisierung*). Dieses Referenzsystem basiert auf dem vom MNI definierten Standardraum (Brett, Johnsrude & Owen, 2002; Franckowiak, Friston, Frith, Dolan & Price, 2004). In einem letzten Schritt der räumlichen Vorverarbeitung wurden die Daten mit einem Gauss-Kernel (6 mm FWHM; engl. Full-Width at Half Maximum) geglättet. Durch die *räumliche Glättung* werden extreme nicht physiologisch bedingte Signalunterschiede zwischen benachbarten Voxeln eliminiert. Dadurch verringert sich die räumliche Varianz und das Signal-zu-Rausch-Verhältnis wird verbessert (Franckowiak, Friston, Frith, Dolan & Price, 2004). Niederfrequente Artefakte in den Zeitreihen wurden mit einem Hochpassfilter von 128 s eliminiert.

⁴ Die Vorverarbeitung ist ausführlicher im Anhang I dargestellt.

Statistische Analyse der Verhaltensdaten. Die RTn der korrekten Durchgänge und die Arkussinus transformierten Fehlerraten wurden für jeden Probanden und jede der acht Bedingungen berechnet. Diese abhängigen Variablen wurden in einer 2 x 2 x 2 faktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung analysiert mit den Faktoren SOA, Kongruenz und Form der Maske. Für die Analyse der Prime Identifikationsdaten wurden der prozentuale Anteil richtiger Reaktionen und der d' Wert bei kurzem und langem SOA berechnet. Mittels t-Test für abhängige Stichproben wurde geprüft, ob die Identifikationsleistung bei kurzem SOA signifikant von der bei langem SOA verschieden war. Zusätzlich wurden für das kurze und lange SOA Regressionsanalysen mit dem Priming Effekt als abhängige und der Prime Sichtbarkeit als unabhängige Variable berechnet.

Statistische Analyse der funktionellen Daten. Die statistischen Analysen beruhen auf dem Allgemeinen Linearen Modell (ALM) und wurden ebenfalls mit SPM 8 durchgeführt. Die Daten wurden zunächst für jede einzelne Person ausgewertet. Als Regressoren wurden die acht experimentellen Bedingungen, die sich aus der Kombination der Faktoren SOA (17 ms, 83 ms), Form der Maske (Quadrat, Raute) und Kongruenz (kongruent, inkongruent) ergaben, in das Modell aufgenommen. Die Ereignisse wurden mit der hämodynamischen Antwort-Funktion (hrf; engl. hemodynamic response function) modelliert. Fehlerdurchgänge wurden von dieser Analyse ausgeschlossen, jedoch als zusätzliche Kovariate in das Modell integriert. Um bewegungskorrelierte Artefakte zu modellieren, wurden die sechs aus der Bewegungskorrektur stammenden Bewegungsparameter ebenfalls als Kovariate aufgenommen.

Die Vorhersagen wurden mittels folgender t-Kontraste überprüft: Um den Effekt des Primes auf die perzeptuelle und zentrale Verarbeitung zu untersuchen, wurden Hirnareale identifiziert, die eine höhere Aktivierung in inkongruenten verglichen mit kongruenten Durchgängen zeigen. Dazu wurden zwei Kontraste (*Inkongruent* > *Kongruent*) definiert, einer für das *kurze* und ein zweiter für das *lange SOA*. Während wir bei kurzem SOA keinen Aktivierungsunterschied in visuellen und Kontrollarealen erwarteten, sollte sich bei langem SOA in diesen Arealen ein entsprechender Effekt zeigen. Um zu untersuchen, ob die bei langem SOA identifizierten Hirnareale einen signifikant höheren Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen zeigen als bei kurzem SOA, wurde zusätzlich ein Kontrast definiert, der die *Interaktion*

SOA \times Kongruenz abbildet. Dieser Kontrast wurde so spezifiziert, dass der Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen bei langem SOA größer sein soll als bei kurzem SOA⁵. Um zu überprüfen, ob und welche Hirnregionen durch kongruente Primes stärker als durch inkongruente Primes aktiviert werden, wurden die drei beschriebenen Kontraste auch für die entgegengesetzte Richtung (*Kongruent* > *Inkongruent*) berechnet. Da die visuelle Analyse und Reaktionsauswahl in kongruenten Durchgängen erleichtert sein sollten, wurden hier im Vergleich zu inkongruenten Durchgängen keine stärkeren Aktivierungen erwartet. Diese Kontraste gingen anschließend in die Gruppenanalyse ein. Für alle Kontraste wurde eine Schwelle von $p < .01$, FDR (engl. False Discovery Rate)⁶ korrigiert (Clustergröße $k > 20$) gewählt. Wenn Cluster berichtet werden, die unter einer geringeren Schwelle ein signifikantes Ergebnis zeigten, wird dies explizit im Text erwähnt.

Um zu untersuchen, ob der Prime die mit ihm assoziierte motorische Reaktion aktiviert, wurden zusätzlich Region-of-interest Analysen (ROI Analysen) durchgeführt. Im Rahmen von ROI Analysen werden mittels anatomischer oder funktioneller Kriterien Regionen festgelegt, innerhalb derer die statistische Analyse erfolgt. Dazu wurde zunächst bei jeder Versuchsperson der linke und rechte primäre motorische Cortex bestimmt. Der linke motorische Cortex wurde identifiziert, indem von der durch eine rechte Reaktion ausgelösten Aktivität die durch eine linke Reaktion ausgelöste Aktivität abgezogen wurde (*Rechts drücken* – *Links drücken*). Der rechte motorische Cortex wurde bestimmt, indem von der durch eine linke Reaktion ausgelösten Aktivität die durch eine rechte Reaktion ausgelöste Aktivität abgezogen wurde (*Links drücken* – *Rechts drücken*). Für diese Kontraste wurde eine Schwelle von $p < .001$ (unkorrigiert, $k > 20$) gewählt. Hierbei wurden nur die kongruenten Bedingungen berücksichtigt, da in inkongruenten Durchgängen der irrelevante motorische Cortex mit aktiviert werden könnte. Für jede Versuchsperson wurden die beiden Voxel bestimmt, die im linken bzw. rechten motorischen Cortex den maximalen Effekt aufwiesen. Alle folgenden Analysen wurden in

⁵ $((\text{Inkongruent-Kongruent})_{\text{langes SOA}} - (\text{Inkongruent-Kongruent})_{\text{kurzes SOA}}) > 0$

⁶ Da die statistische Analyse für jeden einzelnen Voxel durchgeführt wird, liegen multiple Vergleiche vor. Mit der Anzahl der durchgeführten Tests erhöht sich dabei die Wahrscheinlichkeit eines falsch positiven Ergebnisses bei einem gleich bleibendem Fehler erster Art (α -Fehler). Eine Möglichkeit, um für multiple Vergleiche zu kontrollieren, ist die FDR Korrektur. Diese kontrolliert den erwarteten Anteil falsch positiver Voxel unter allen überschwelligen Voxeln. Die FDR Schwelle wird anhand der beobachteten p-Werte Verteilung der Daten bestimmt und wird somit an die Signalmenge in den Daten angepasst.

diesen beiden Voxeln durchgeführt: Zunächst wurde – analog zum LRP (Coles et al., 1988) – das Lateralisierte BOLD Signal (LBS; Dehaene et al., 1998) berechnet. Das LBS ermöglicht es, auch solche motorischen Aktivierungen zu entdecken, die sich nicht in einer offenen motorischen Reaktion zeigen (Coles et al., 1988; Dehaene et al., 1998; Miller & Hackley, 1992; van Turennout, Hagoort & Brown, 1998). Um das LBS zu berechnen, muss für jede Versuchsperson die prozentuale Signaländerung (PS)⁷ in beiden motorischen Cortices für Reaktionen mit der linken und der rechten Hand ermittelt werden. Anschließend wird die Differenz zwischen der PS im reaktionsrelevanten und reaktionsirrelevanten motorischen Cortex berechnet (linkshändige Reaktion: rechter motorischer Cortex – linker motorischer Cortex; rechtshändige Reaktion: linker motorischer Cortex – rechter motorischer Cortex). Die beiden resultierenden Differenzen werden gemittelt (Gleichung 3.1).

$$\text{LBS} = ((\text{MC}_{\text{rechts}} - \text{MC}_{\text{links}})_{\text{LH}} + (\text{MC}_{\text{links}} - \text{MC}_{\text{rechts}})_{\text{RH}}) / 2 \quad [3.1]$$

MC_{rechts} = rechter motorischer Cortex

MC_{links} = linker motorischer Cortex

LH = Reaktion mit linker Hand

RH = Reaktion mit rechter Hand

Das LBS spiegelt die Aktivierung des motorischen Cortex vor bzw. während der Ausführung der mit ihm assoziierten Reaktion relativ zur Aktivierung des kontralateralen (reaktionsirrelevanten) motorischen Cortex wider. Das LBS wurde als Signalverlauf über die Zeit für jede der vier Bedingungen berechnet, die sich aus der Kombination der Faktoren SOA x Kongruenz ergeben. Dazu wurde mit MarsBar 0.42 (<http://marsbar.sourceforge.net>; Brett, Anton, Valabregue, & Poline, 2002) zunächst der Signalverlauf für jede Versuchsperson und jede der acht Bedingungen (SOA, Kongruenz und Form der Maske) über eine Dauer von 18 Sekunden ab Präsentationsbeginn des Primes geschätzt. Dazu wurde ein Finite Impulse Response (FIR) Modell verwendet⁸. Aus diesen Daten wurde das LBS nach der oben dargestellten Formel für jede der vier Bedingungen (SOA x Kongruenz) berechnet. Für das Amplitudenmaximum des LBS

⁷ Die Prozentuale Signaländerung wird ermittelt, indem die Stärke des Signals in einem Voxel (während einer bestimmten experimentellen Bedingung) relativ zum mittleren Signal (über das gesamte Experiment) in diesem Voxel berechnet wird.

⁸ Diese Methode erlaubt eine Berechnung des Signalverlaufs mit einer zeitlichen Auflösung von einer TR.

wurde eine 2 x 2 faktorielle ANOVA mit den Faktoren SOA (17, 83 ms) und Kongruenz (kongruent, inkongruent) berechnet. Dabei wurde in kongruenten Durchgängen eine stärkere Lateralisierung der motorischen Hirnaktivität erwartet als in inkongruenten Durchgängen, wobei dieser Unterschied bei langem SOA größer sein sollte als bei kurzem SOA.

Da das LBS nur Aussagen über die relative Aktivierung des motorischen Cortex während der relevanten im Vergleich zur alternativen Reaktion macht, wurde zusätzlich die absolute Aktivierung in den entsprechenden motorischen Cortices analysiert. Dies erlaubte es zu untersuchen, ob kongruente Primes den reaktionsrelevanten und inkongruente Primes den reaktionsirrelevanten motorischen Cortex tatsächlich stärker aktiviert haben. Dazu wurde für jeden Voxel und jede der acht Bedingungen die prozentuale Signaländerung (PS) relativ zum mittleren Signal im jeweiligen Voxel bestimmt. Diese Daten wurden anschließend in eine 2 x 2 x 2 faktorielle ANOVA mit den Faktoren SOA (17 ms, 83 ms), Kongruenz (kongruent, inkongruent) und Form der Maske (Quadrat, Raute) eingeführt. Eine ANOVA wurde für den Fall berechnet, dass die motorischen Cortices reaktionsrelevant waren und eine weitere ANOVA für den Fall, dass diese reaktionsirrelevant waren. Für den reaktionsrelevanten motorischen Cortex wurde dabei erwartet, dass kongruente Primes zu einer stärkeren PS führen als inkongruente Primes. Der reaktionsirrelevante motorische Cortex hingegen sollte stärker durch inkongruente als durch kongruente Primes aktiviert werden. Diese Aktivierungsunterschiede sollten bei langem SOA stärker ausgeprägt sein als bei kurzem SOA.

3.1.2 Ergebnisse

3.1.2.1 Verhaltensdaten

RT. Die 2 x 2 x 2 faktorielle ANOVA ergab einen signifikanten Effekt des Faktors Kongruenz ($F(1, 16) = 534.8$, $MS_e = 134492.7$, $\eta^2 = .97$, $p < .001$) mit 402 ms in kongruenten und 465 ms in inkongruenten Durchgängen (Abbildung 3.2 A). Dieser Priming Effekt wurde durch das SOA moduliert ($F(1, 16) = 122.1$, $MS_e = 70201.8$, $\eta^2 = .88$, $p < .001$), bei kurzem SOA wurde mit 17 ms ein kleinerer Effekt beobachtet als mit 109 ms bei langem SOA. Dennoch war der Priming Effekt sowohl bei kurzem ($t(16) = 3.9$, $p < .01$) als auch bei langem SOA ($t(16) = 19.5$, $p < .001$) signifikant von

null verschieden. Auch die Interaktion zwischen den Faktoren Kongruenz und Zielreiz erreichte die Signifikanzschwelle ($F(1, 16) = 26.8$, $MS_e = 8400.9$, $\eta^2 = .62$, $p < .001$). So war der Priming Effekt größer (80 ms) wenn auf ein Quadrat reagiert werden sollte, verglichen mit den Durchgängen, in denen auf die Raute reagiert werden sollte (47 ms).

FP. Insgesamt wurden 3.7% Fehler gemacht (Abbildung 3.2 A). In kongruenten Durchgängen wurden mit 1.6% signifikant weniger Fehler beobachtet als mit 5.8% in inkongruenten Durchgängen ($F(1, 16) = 48.9$, $MS_e = 1.66$, $\eta^2 = .75$, $p < .001$). Dieser Priming Effekt wurde durch das SOA moduliert, was sich in einer signifikanten Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Kongruenz widerspiegelte ($F(1, 16) = 16.5$, $MS_e = 0.66$, $\eta^2 = .51$, $p < .001$). So wurde bei kurzem SOA verglichen mit langem SOA ein kleinerer Priming Effekt beobachtet (2.1% vs. 6.3%), wobei beide Effekte signifikant von null verschieden waren (kurzes SOA: $t(16) = 3.2$, $p < .01$; langes SOA: $t(16) = 7.0$, $p < .001$). Darüber hinaus zeigte sich ein größerer Priming Effekt, wenn auf ein Quadrat reagiert werden sollte (6.6%), verglichen mit den Durchgängen, in denen auf die Raute reagiert wurde (1.8%) ($F(1, 16) = 16.5$, $MS_e = 0.66$, $\eta^2 = .51$, $p < .001$).

Prime Identifikation. Im Mittel wurden 75% der Primes korrekt klassifiziert (Abbildung 3.2 B). Das entspricht einem d' von 1.4, welches signifikant von null verschieden war ($t(16) = 8.5$, $p < .001$). Ein Vergleich der Identifikationsleistung zeigte, dass dies e bei langem SOA signifikant kleiner war als bei kurzem SOA ($t(16) = 14.0$,

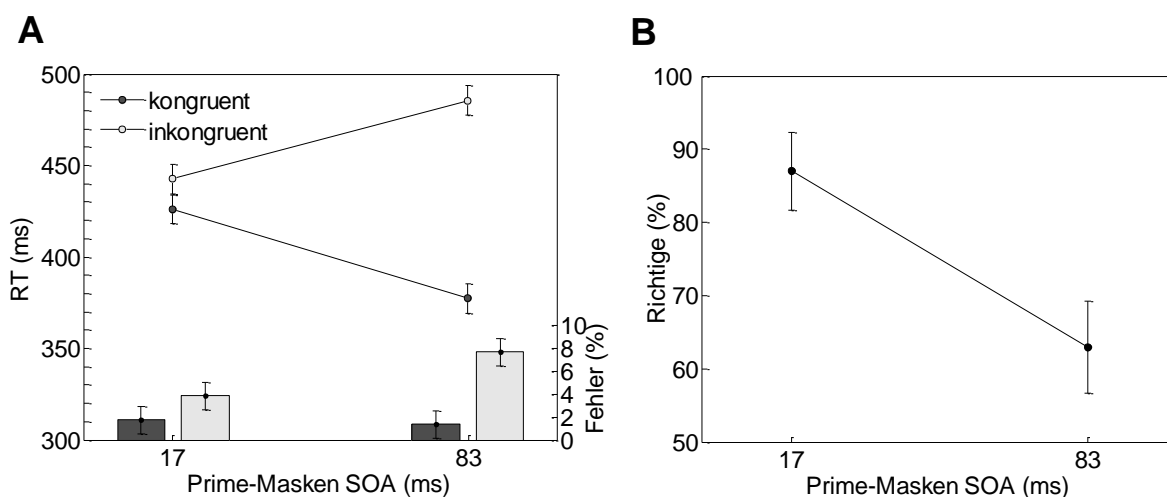


Abb. 3.2 RTn, Fehlerraten und Prime Identifikationsleistung in Experiment 5. (A) Mittlere RTn und Fehlerraten in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion SOA x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994). (B) Prime Identifikationsleistung für das kurze und das lange SOA (Typ B Maskierungsfunktion). Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall über alle Versuchspersonen.

$p < .001$). Während bei kurzem SOA im Mittel 87% der Primes korrekt klassifiziert ($d' = 2.7$; $t(16) = 8.5$, $p < .001$) wurden, betrug die Identifikationsleistung bei langem SOA 63% ($d' = 0.7$; $t(16) = 5.0$, $p < .001$). Um die Annahme der Unabhängigkeit des Priming Effekts von der Prime Sichtbarkeit zu unterstützen, wurden zusätzlich Regressionsanalysen des Priming Effekts auf die Prime Sichtbarkeit durchgeführt. In diesen wurden weder bei kurzem ($\beta = -.14$; $t(16) = -0.6$, $p = .57$) noch bei langem SOA ($\beta = .19$; $t(16) = 0.8$, $p = .49$) signifikante Steigungskoeffizienten berechnet. Die Regressionskonstanten betrugen 22 ($t(16) = 2.1$, $p < .05$) bei kurzem SOA und 103 ($t(16) = 11.3$, $p < .001$) bei langem SOA.

3.1.2.2 fMRT Analysen

Inkongruent > Kongruent. Um zu überprüfen, welche Hirnareale mit dem Priming Effekt assoziiert sind, wurde zunächst die Aktivität in inkongruenten und kongruenten Durchgängen verglichen. Der Vergleich *Inkongruent > Kongruent* ergab bei *kurzem SOA* kein signifikantes Ergebnis.

Bei *langem SOA* zeigte sich in verschiedenen Arealen eine höhere Aktivierung in inkongruenten im Vergleich zu kongruenten Durchgängen (Abbildung 3.3; Tabelle 1, Anhang II). Dazu zählen *frontale Areale* im lateralen prämotorischen Cortex (bilateral, BA 6) wie der Gyrus präcentralis (GpräC) mit Ausdehnung in den Gyrus frontalis medius (GFM). Weiterhin wurde ein Effekt im supplementär motorischen Cortex mit einem Aktivierungsmaximum in der supplementär motorischen Area (SMA, BA 6) und Ausdehnung in die präsupplementär motorische Area (präSMA, BA 6) gefunden. Weitere frontale Aktivierungen finden sich bilateral im Gyrus frontalis inferior (GFI, BA 44/45) und der anterioren Insula. Im LPFC zeigte sich bilateral ein Effekt im GFM (BA 9/46) und im medialen PFC im ACC. Im *Parietallappen* wurden ausgedehnte bilaterale Aktivierungsunterschiede im Sulcus intraparietalis (SIP) mit Ausdehnung in den Lobulus parietalis inferior (LPI) beobachtet. Im *Temporal- und Okzipitallappen* zeigten sich signifikante bilaterale Aktivierungsunterschiede im Gyrus calcarinus (GC, BA 17/18) und im Gyrus temporalis medius/inferior (GTM/GTI). *Subkortikal* fanden sich weitere bilaterale Effekte im Thalamus und ein Effekt im Mittelhirn, der am ehesten der Substantia nigra (rechts) zugeordnet werden kann. Auch im Cerebellum wurde ein signifikanter Aktivierungsunterschied gefunden.

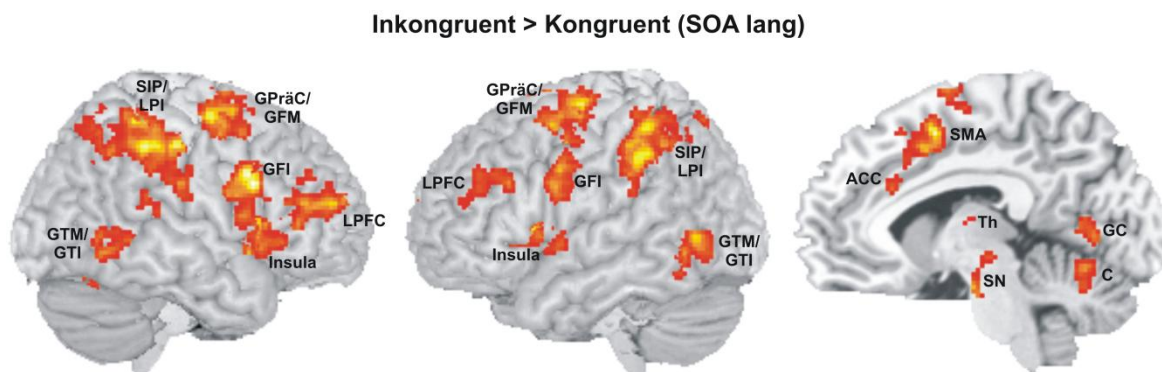


Abb. 3.3 Ergebnisse des Kontrasts *Inkongruent > Kongruent (SOA lang)* in Experiment 5. Areale, die bei langem SOA eine stärkere Aktivierung in inkongruenten verglichen mit kongruenten Durchgängen zeigen ($p < .01$, FDR korrigiert, $k > 20$). Abkürzungen: ACC – anteriorer cingulärer Cortex; C – Cerebellum; GC – Gyrus cinguli; GFI – Gyrus frontalis inferior; GFM – Gyrus frontalis medius; GTI – Gyrus temporalis inferior; GTM – Gyrus temporalis medius; LPFC – lateraler präfrontaler Cortex; LPI – Lobulus parietalis inferior; SMA – supplementär motorische Area; SN – Substantia nigra; SIP – Sulcus intraparietalis; Th – Thalamus.

In einem nächsten Schritt wurde getestet, ob die Aktivierungsunterschiede in diesen Arealen mit der Größe des Priming Effekts auf Verhaltensebene korrelieren und somit von der Prime Sichtbarkeit dissoziiert sind. Dazu wurde überprüft, in welchen Hirnarealen der neuronale Priming Effekt (*Inkongruent > Kongruent*) bei langem SOA signifikant größer ist als bei kurzem SOA. Die Ergebnisse dieser *Interaktion SOA x Kongruenz* sind in Abbildung 3.4 und Tabelle 2 (Anhang II) dargestellt. In einem Großteil der oben beschriebenen Areale zeigte sich auch eine signifikante Interaktion (Abbildung 3.4 A): *Frontal* wurde erneut ein bilateraler Effekt in der SMA (mit Ausdehnung in die präSMA), im GFI (BA 44/45) und in der anterioren Insula beobachtet. Auch im rechten LPFC (BA 46) zeigte sich eine Interaktion. Im *Parietallappen* lag das Maximum des Effekts bilateral im SIP mit Ausdehnung in den LPI. Unter Reduktion der Schwelle auf $p < .05$ (FDR korrigiert, $k > 20$) wurde *frontal* zusätzlich ein Effekt im ACC beobachtet. Des Weiteren zeigte sich eine Aktivierung im Cerebellum sowie *okzipital* ein bilateraler Effekt im GC (BA 17/18) und *subkortikal* im Thalamus (bilateral) und Putamen (links) (Abbildung 3.4 B).

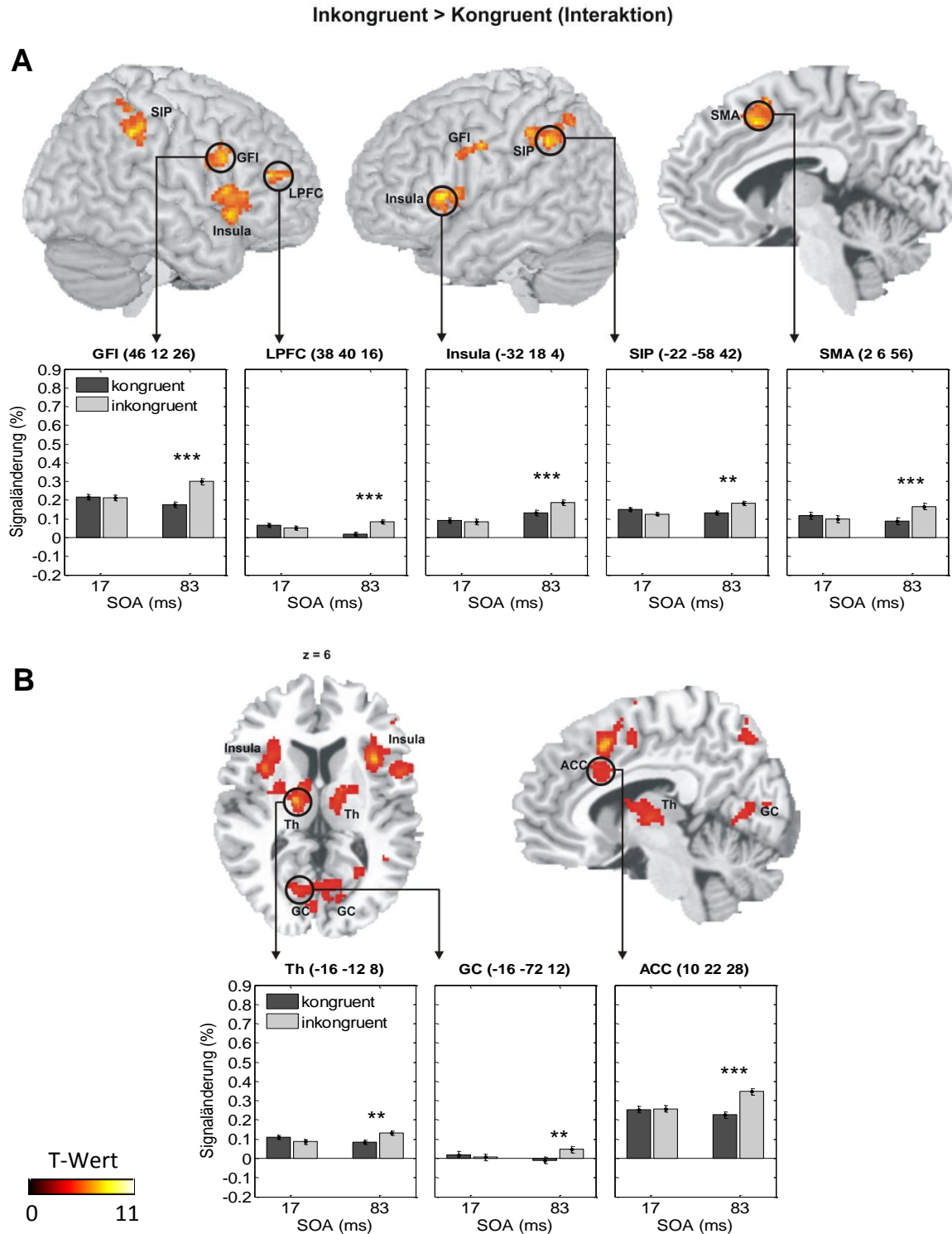


Abb. 3.4 Ergebnisse des *Interaktionskontrasts* SOA x Kongruenz in Experiment 5. (A) Areale, die unter einer Schwelle von $p < .01$ (FDR korrigiert, $k > 20$) bei langem SOA einen stärkeren Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen zeigten als bei kurzem SOA. (B) Unter einer Schwelle von $p < .05$ (FDR korrigiert, $k > 20$) wurde zusätzlich ein Effekt im ACC, Thalamus und Gyrus calcarinus (BA 17/18) beobachtet. Für ausgewählte Areale ist die prozentuale Signaländerung am entsprechenden Maximum in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz dargestellt. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion SOA x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994). Abgetragen sind auch die Ergebnisse von abhängigen t-Tests für die Vergleiche kongruent vs. inkongruent bei kurzem und langem SOA (** $p > .01$, *** $p < .001$). Abkürzungen: ACC – anteriorer cingulärer Cortex; GC – Gyrus calcarinus; GFI – Gyrus frontalis inferior; LPFC – lateraler präfrontaler Cortex; SIP – Sulcus intraparietalis; SMA – supplementär motorische Area; Th – Thalamus.

Kongruent > Inkongruent. Für den Vergleich *Kongruent > Inkongruent* wurde auch unter einer reduzierten Schwelle von $p < .05$ (FDR korrigiert, $k > 20$) weder bei kurzem oder langem SOA noch für die Interaktion SOA x Kongruenz ein signifikantes Ergebnis beobachtet.

ROI Analysen. Lateralisiertes BOLD Signal: Das kongruenzabhängige LBS ist in Abbildung 3.5 für das kurze (A) und das lange SOA (B) dargestellt. Die 2 x 2 faktorielle ANOVA mit den Daten am Amplitudenmaximum (6 s nach Präsentationsbeginn des

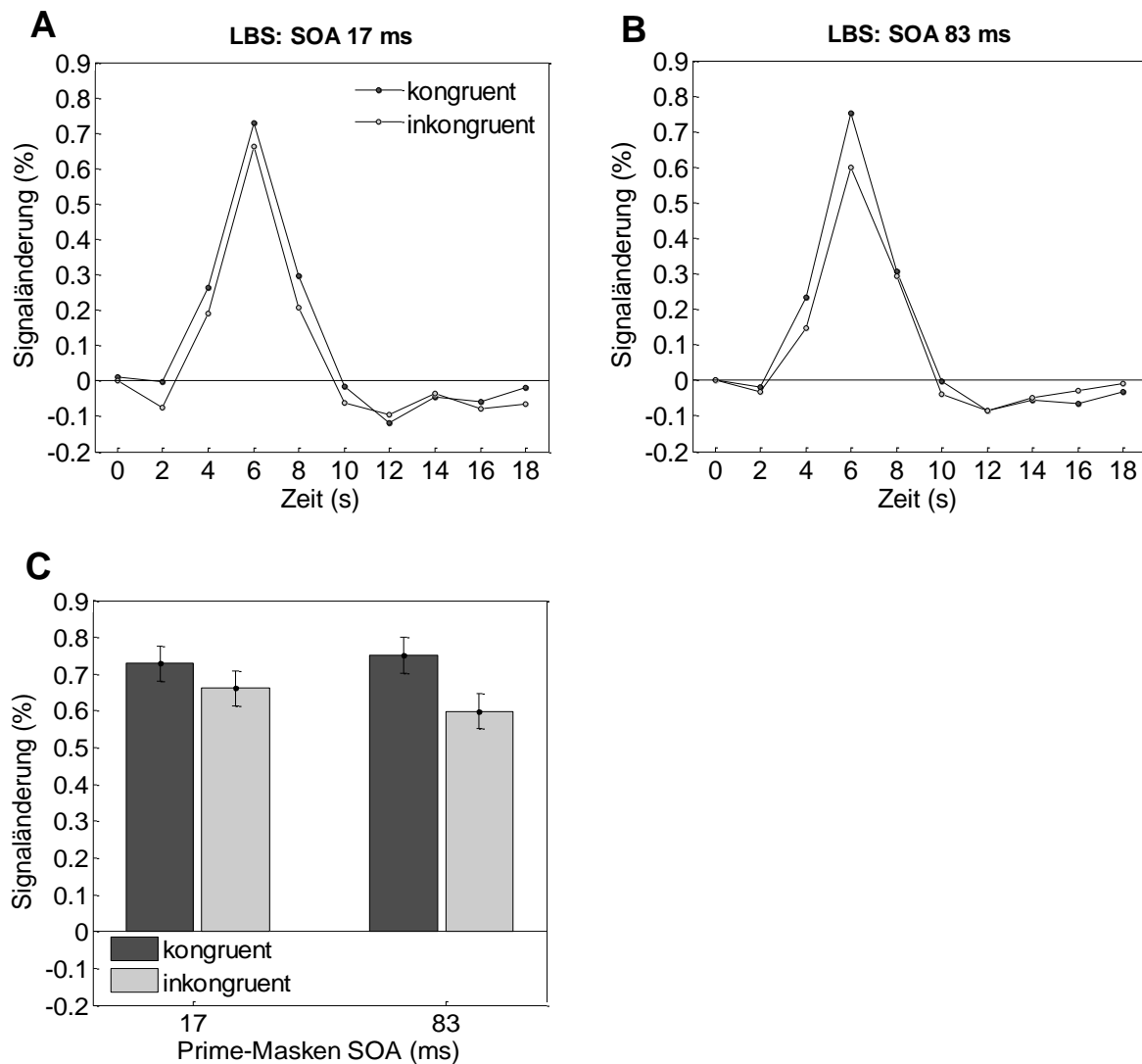


Abb. 3.5 Lateralisiertes BOLD Signal (LBS) für kongruente und inkongruente Durchgänge für das (A) kurze und das (B) lange Prime-Masken SOA. Auf der x-Achse ist die Zeit (s) nach Präsentationsbeginn des Primes abgetragen. (C) Dargestellt sind die Daten am Amplitudenmaximum (6 s nach Präsentationsbeginn des Primes). In kongruenten Durchgängen zeigte sich am Amplitudenmaximum ein größeres LBS als in inkongruenten Durchgängen. Dieser Unterschied war bei langem SOA tendenziell größer als bei kurzem SOA. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion SOA x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994).

Primes; Abbildung 3.5 C) als abhängige Variable ergab einen signifikanten Kongruenzeffekt ($F(1, 16) = 12.7$, $MS_e = 0.211$, $\eta^2 = .44$, $p < .01$). Das zeigt, dass die motorische Aktivität in kongruenten Durchgängen stärker lateralisiert war als in inkongruenten Durchgängen. Darüber hinaus war dieser Effekt bei langem SOA tendenziell größer als bei kurzem SOA ($F(1, 16) = 3.4$, $MS_e = 0.031$, $\eta^2 = .17$, $p = .08$).

Analyse im reaktionsrelevanten und -irrelevanten motorischen Cortex: Die $2 \times 2 \times 2$ faktorielle ANOVA mit den Faktoren SOA, Kongruenz und Form der Maske ergab für den *reaktionsrelevanten motorischen Cortex* keinen signifikanten Effekt (Abbildung 3.6 A). Für den *reaktionsirrelevanten motorischen Cortex* (Abbildung 3.6 B) wurde für den Faktor Kongruenz ein signifikantes Ergebnis ermittelt ($F(1, 16) = 23.9$, $MS_e = 0.259$, $\eta^2 = .60$, $p < .001$). In inkongruenten Durchgängen wurde eine höhere Signaländerung beobachtet als in kongruenten Durchgängen. Darüber hinaus wurde die Interaktion zwischen den Faktoren Kongruenz und SOA tendenziell signifikant ($F(1, 16) = 4.0$, $MS_e = 0.025$, $\eta^2 = .21$, $p = .06$).

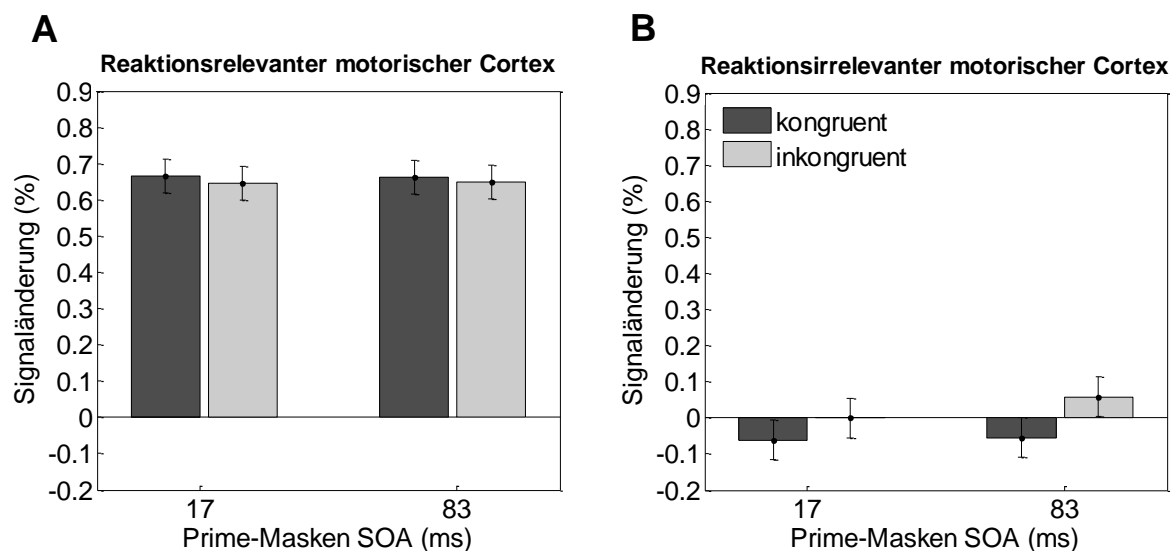


Abb. 3.6 Prozentuale Signaländerung in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz für den reaktionsrelevanten (A) und den (B) reaktionsirrelevanten motorischen Cortex. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion SOA x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994).

3.1.3 Diskussion

Verhaltensdaten

Sowohl in den Reaktionszeiten als auch in den Fehlerraten wurde ein signifikanter Priming Effekt beobachtet. Wie erwartet, war dieser bei langem Prime-Masken SOA größer als bei kurzem SOA (Vorberg et al., 2003).

Die Primes wurden sowohl bei kurzem als auch bei langem SOA überzufällig klassifiziert. Da die Prime Sichtbarkeit von kurzem auf das lange SOA abnahm (Typ B Maskierung), während der Priming Effekt gleichzeitig zunahm, kann jedoch von einer Dissoziation zwischen Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit ausgegangen werden. Unterstützt wird diese Annahme durch den Befund, dass sich weder bei kurzem noch bei langem SOA ein Effekt der Prime Sichtbarkeit auf die Größe des Priming Effekts zeigte.

fMRT Analysen

Inkongruent > Kongruent. Im Rahmen der Analyse der funktionellen Daten wurden zunächst Hirnareale untersucht, die eine stärkere Aktivierung in inkongruenten verglichen mit kongruenten Durchgängen zeigten (*Inkongruent > Kongruent*). Hier wurde ein Effekt im visuellen Cortex und in zentralen Kontrollarealen vermutet, da kongruente Primes die visuelle Analyse und Reaktionsauswahl erleichtern und inkongruente Primes diese Prozesse erschweren könnten.

Bei *kurzem SOA* wurde in keiner Hirnregion ein signifikantes Ergebnis ermittelt. Dies steht im Einklang mit den Verhaltensdaten, in denen zwar ein signifikanter, aber verglichen mit langem SOA nur sehr kleiner Priming Effekt beobachtet wurde.

Für das *lange SOA* zeigte sich der Effekt inkongruenter Primes in verschiedenen Arealen. Von wesentlicher Bedeutung ist dabei, dass der Effekt für einen Großteil dieser Areale bei langem SOA signifikant größer war als bei kurzem SOA. Im Folgenden soll nur auf diese Hirnareale eingegangen werden. Da der neuronale Priming Effekt mit zunehmendem SOA anstieg, während die Prime Sichtbarkeit gleichzeitig abnahm (Typ B Maskierung), kann nur für diese Areale von einer Dissoziation zwischen neuronalem Priming Effekt und bewusster Prime Wahrnehmung ausgegangen werden.

Dazu gehörten zunächst Hirnareale im primären (BA 17) und sekundären (BA 18) visuellen Cortex. Dies spricht für die Annahme, dass der Antwort-Priming Effekt zum Teil durch eine Prime-Masken Interaktion auf frühen *perzeptuellen* Ebenen entsteht. So

könnte die Präsentation eines neuen Stimulus in inkongruenten Durchgängen dazu führen, dass die Maske vollständig neu enkodiert werden muss, was eine Zunahme der neuronalen Aktivität bewirkt. Eine wiederholte Stimulusdarbietung in kongruenten Durchgängen hingegen könnte die visuelle Enkodierung der Maske erleichtern, was eine Abnahme der neuronalen Aktivität zur Folge hat. Eine solche Reduktion neuronaler Aktivität durch wiederholte Stimulusdarbietung wird auch als Repetition-Suppression Effekt bezeichnet (Grill-Spector et al., 1999; Henson, 2003; Henson & Rugg, 2003; Murray, Olman & Kersten, 2006; Vidyasagar, Stancak & Parkes, 2010). Wichtig ist, dass die Grundlage des Repetition-Suppression Effekts sowohl eine Abnahme der neuronalen Aktivität bei Stimuluswiederholung als auch eine erhöhte neuronale Aktivität für neue Stimuli darstellt (Habib, 2001). Solche Wiederholungs- bzw. Neuheitseffekte könnten das neuronale Korrelat einer Erleichterung (kongruent) bzw. Erschwerung (inkongruent) der perzeptuellen Verarbeitung der Maske sein. Alternativ könnte der Effekt in frühen visuellen Arealen ebenso das Ergebnis einer top-down Modulation von höheren Kontrollarealen sein (Pessoa, Rossi, Japee, Desimone & Ungerleider, 2010). Diese könnten in inkongruenten Durchgängen einen perzeptuellen Konflikt signalisieren und zu einer Erhöhung der Aktivität in visuellen Arealen führen.

Weiterhin wurden in der vorliegenden Untersuchung deutliche Hinweise auf eine Beteiligung *zentraler Reaktionsauswahlprozesse* an der Entstehung des Antwort-Priming Effekts gefunden. So fanden sich ausgeprägte Aktivierungsunterschiede zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen im Parietallappen, insbesondere im SIP. In mehreren fMRT Studien wurden bereits Belege für eine Beteiligung parietaler Areale an der Planung motorischer Reaktionen gefunden (u.a. Deiber, Ibañez, Sadato & Hallett, 1996; Snyder, Batista & Andersen, 2000). So wurde unter anderem gezeigt, dass der SIP eine wesentliche Rolle bei der Transformation von sensorischer Information in motorische Befehle spielt. Dafür spricht auch, dass der SIP funktionelle und strukturelle Verbindungen zu prämotorischen Regionen besitzt, die an der Handlungsvorbereitung beteiligt sind (Uddin et al., 2010; Grefkes & Fink, 2005; Luppino, Murata, Govoni & Matelli, 1999). Er kann somit als ein Verbindungsstück zwischen Sensorik und Motorik angesehen werden. In einer Untersuchung von Bunge und Kollegen (2002) mit dem Flanker Paradigma konnte beispielsweise gezeigt werden, dass parietale Areale (SIP, LPI) sensitiv auf die Anzahl aktivierter Stimulus-Reaktion Assoziationen (S-R Assoziationen)

reagieren. Auch Bode und Haynes (2009) konnten zeigen, dass der SIP abstrakte Stimulus-Reaktions Regeln (S-R Regeln) enkodiert; jedoch nur dann, wenn flexibel zwischen diesen S-R Regeln gewechselt werden muss. In der vorliegenden Untersuchung könnte der Effekt im SIP somit die Aktivierung von alternativen S-R Assoziationen durch Prime und Maske in inkongruenten Durchgängen reflektieren.

Darüber hinaus zeigte sich ein Priming Effekt in der SMA mit Ausdehnung in die präSMA. Sowohl die präSMA als auch die SMA werden in verschiedenen Studien mit motorischen Kontrollprozessen, insbesondere mit einer Reaktionsauswahl unter konflikthaften Bedingungen, in Verbindung gebracht. In einer Untersuchung von van Gaal und Kollegen (2010) zum Beispiel reagierten Versuchspersonen in einem Antwort-Priming Experiment mit einem linken bzw. rechten Tastendruck auf die Richtung eines nach links bzw. rechts zeigenden Pfeils, vor dem ein kongruenter oder inkongruenter pfeilförmiger Prime dargeboten wurde. Die Autoren konnten zeigen, dass die neuronale Dichte in der präSMA negativ mit der Stärke des Priming Effekts auf Verhaltensebene korreliert. Dies spricht dafür, dass diese Hirnregion an einer Unterdrückung der durch den inkongruenten Prime falsch aktivierten motorischen Reaktion beteiligt ist: Je höher die neuronale Dichte, desto effektiver war die Unterdrückung und desto geringer war der Priming Effekt. In der vorliegenden Studie wurde der Priming Effekt zwar vor allem in der SMA beobachtet, jedoch dehnte er sich bis in die präSMA aus. Darüber hinaus wurde in go/no-go bzw. Stop-Signal Studien eine höhere SMA Aktivierung beobachtet, wenn eine Reaktion erfolgreich gestoppt werden konnte (Kiehl, Smith, Hare & Liddle, 2000; Xue, Aron & Poldrack, 2008; Menon, Adleman, White, Glover, & Reiss, 2001; Sharp et al., 2010). Dies spricht dafür, dass die SMA an der Unterdrückung der durch den inkongruenten Prime falsch aktivierten motorischen Reaktion beteiligt ist. Auch eine Aktivierung des GFI (BA 44/45) und der anterioren Insula, wie wir sie in der vorliegenden Untersuchung finden, wurde im Rahmen von go/no-go Experimenten (Konishi, Nakajima, Uchida, Sekihara & Miyashita, 1998; Menon et al., 2001) und anderen motorischen Interferenzparadigmen (Aarts, Roelofs & Turennout, 2009; Xue et al. 2008) beobachtet und mit einer Unterdrückung unangemessener Reaktionen in Verbindung gebracht.

Der Effekt inkongruenter Primes in parietalen, supplementär motorischen und inferioren frontalen Arealen weist darauf hin, dass die Reaktionsauswahl erschwert wird, wenn der Prime mit der irrelevanten motorischen Reaktion assoziiert ist. Darüber hinaus

könnte er zeigen, dass der Prime in inkongruenten Durchgängen die mit ihm assoziierte, inkorrekte motorische Reaktion aktiviert. Im Wettbewerb zwischen konkurrierenden Reaktionen muss dabei die irrelevante Reaktion abgebrochen werden. Die Aktivitätsänderungen in diesen Regionen werden begleitet von einer in inkongruenten Durchgängen verstärkten Aktivierung des rechten LPFC, für den auch eine signifikante Interaktion beobachtet wurde. Der LPFC könnte die Reaktionsauswahl in konflikthafter Situationen überwachen und dabei eine wesentliche Steuerungsfunktion übernehmen. Für den ACC wurde ebenfalls eine signifikante Interaktion beobachtet. Verschiedene Studien sprechen für eine erhöhte ACC Aktivität in schwierigen, konflikthafter oder kognitiv fordernden Situationen (Botvinick et al., 2001; van Veen, Cohen, Botvinick, Stenger & Carter, 2001; Yeung & Nieuwenhuis, 2009). Dem ACC wird dabei insbesondere eine Rolle für die Entdeckung des Reaktionskonflikts zugeschrieben (Botvinick et al., 2001; Gehring & Fencsik, 2001; Kerns, Cohen, Stenger & Carter, 2004). Als Folge wird der LPFC rekrutiert, um eine stärkere kognitive Kontrolle auszuüben (Botvinick et al., 1999, 2001; Carter et al., 2000; Mac Donald et al., 2000).

Für einen Effekt des Primes im *motorischen System* sprechen die Effekte im Thalamus, Putamen und Cerebellum - Areale, die in motorische Regelschleifen eingeschaltet und an der Vorbereitung und Ausführung motorischer Reaktionen beteiligt sind.

An dieser Stelle soll nochmals hervorgehoben werden, dass der Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen in den beschriebenen Hirnstrukturen bei langem SOA größer war als bei kurzem SOA. Somit lag in diesen Regionen neuronal das gleiche Muster vor, wie es in den Verhaltensdaten beobachtet wurde. Da die Identifikationsleistung mit steigendem SOA abnahm, sind diese neuronalen Priming Effekte (analog zu den Priming Effekten in den Verhaltensdaten) von der Prime Sichtbarkeit dissoziiert. Dies spricht dafür, dass diese Areale als neuronale Korrelate des Priming Effekts auf Verhaltensebene angesehen werden könnten.

Kongruent > Inkongruent. Für den Vergleich *Kongruent > Inkongruent* zeigte sich weder für das kurze noch für das lange SOA oder die Interaktion ein signifikantes Ergebnis. Diese Beobachtung steht in Einklang mit der Vermutung, dass kongruente Primes zu einer Erleichterung der durch sie aktivierten Verarbeitungsprozesse führen. Da in kongruenten Durchgängen beispielsweise kein Reaktionskonflikt zu erwarten ist, sollten auch konfliktverarbeitende Areale nicht aktiviert werden. Untersuchungen mit

Priming-Aufgaben haben darüber hinaus gezeigt, dass Reaktionszeitverbesserungen in bestimmten Hirnregionen wie dem präfrontalen Cortex zu einer Abnahme des BOLD Signals führen (Dobbins, Schnyer, Verfaellie & Schacter, 2004; Maccotta & Buckner, 2004; Wig, Grafton, Demos & Kelley, 2005).

ROI Analysen. Um den Effekt der Primes auf den primären motorischen Cortex zu untersuchen, wurden neben den bereits berichteten globalen Kontrasten auch ROI Analysen durchgeführt. Dabei wurde erwartet, dass die Primes den mit ihnen assoziierten primären motorischen Cortex aktivieren. Zunächst wurde das LBS in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz berechnet, welches die Aktivierung des motorischen Cortex während der Ausführung der mit ihm assoziierten Reaktion (reaktionsrelevanter motorischer Cortex) relativ zur Aktivierung des reaktionsirrelevanten motorischen Cortex widerspiegelt. Hier konnte gezeigt werden, dass die Lateralisierung der motorischen Aktivität in kongruenten verglichen mit inkongruenten Durchgängen stärker war, wobei dieser Effekt bei langem SOA tendenziell größer war. Während sich also in kongruenten Durchgängen die Aktivität auf den motorischen Cortex konzentrierte, der für die Reaktion relevant war, fand in inkongruenten Durchgängen eine stärkere Verteilung der Aktivität über beide motorischen Cortices statt. Ein ähnlicher Befund wurde auch von Dehaene und Kollegen (1998) berichtet. Darüber hinaus deuten die vorliegenden Befunde an, dass dieser Effekt von der Prime Sichtbarkeit dissoziiert war.

Da das LBS die Differenz zwischen der Aktivierung des relevanten und irrelevanten motorischen Cortex darstellt, wurde zusätzlich die absolute Aktivierung des motorischen Cortex analysiert. Diese wurde dabei in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz für den reaktionsrelevanten und den reaktionsirrelevanten motorischen Cortex untersucht. Der reaktionsrelevante motorische Cortex wurde *nicht* stärker durch kongruente im Vergleich zu inkongruenten Primes aktiviert. Dies spricht gegen die Annahme, dass Primes den mit ihnen assoziierten motorischen Cortex aktivieren. Es wäre jedoch auch denkbar, dass der Effekt des Primes aufgrund eines Deckeneffekts nicht identifiziert werden konnte. So könnte der reaktionsrelevante Cortex bereits so stark durch den Zielreiz und die abgegebene Reaktion aktiviert worden sein, dass eine zusätzliche Prime induzierte Aktivitätserhöhung nicht mehr sichtbar wird. Für den reaktionsirrelevanten motorischen Cortex hingegen wurde ein signifikanter Kongruenzeffekt beobachtet. Inkongruente Primes führten zu einer stärkeren Aktivierung des mit ihnen assoziierten, motorischen

Cortex, obwohl dieser für die Reaktion auf den Zielreiz irrelevant war. Dieser Aktivierungsunterschied war bei langem SOA tendenziell größer als bei kurzem SOA. Interessanterweise ist für den beobachteten Kongruenzeffekt jedoch nicht ausschließlich eine Aktivierung des irrelevanten motorischen Cortex durch inkongruente Primes verantwortlich, sondern auch eine SOA unspezifische Reduktion der Aktivierung durch kongruente Primes. Diese Aktivitätsverminderung könnte das Ergebnis einer Hemmung der alternativen motorischen Reaktion in sicheren, konfliktfreien Situationen sein. Eine interhemisphärische Inhibition zwischen linkem und rechtem primären motorischen Cortex wurde bereits vielfach bei unimanualen Reaktionen (Hamzei et al., 2002, Nirrko et al., 2001) und Wahlreaktionen (Leocani, Cohen, Wasserman, Ikmoa & Hallet, 2000) beschrieben. In inkongruenten Durchgängen könnte diese Hemmung wegfallen, da der Reaktionsauswahlprozess aufgrund miteinander konkurrierender Reaktionen erschwert wird. Da die Daten weiterhin darauf hinweisen, dass der inkongruente Prime bei langem SOA zusätzlich das mit ihm assoziierte motorische Hirnareal aktiviert, könnte dies ebenso dazu beitragen, dass diese Hemmung nicht mehr sichtbar wird.

Zusammenfassend sprechen die Daten für einen Antwort-Priming Effekt auf allen Ebenen der Stimulusverarbeitung. Der Aktivierungsunterschied im visuellen System könnte zeigen, dass bereits die perzeptuelle Analyse der Maske durch den Prime beeinflusst wird. Des Weiteren weisen Aktivitätsveränderungen im parietalen Cortex darauf hin, dass der Prime die mit ihm assoziierte S-R Assoziation aktiviert. Die präSMA/SMA könnte in den Reaktionsauswahlprozess integriert sein, um zusammen mit frontalen Arealen unangemessene Reaktionstendenzen zu unterdrücken. Dieser Reaktionsauswahlprozess könnte dabei von Kontrollinstanzen wie dem ACC und dem LPFC kontrolliert werden. Die ROI Analysen sprechen dafür, dass Primes die mit ihnen assoziierte motorische Reaktion im primären motorischen Cortex aktivieren. Die Daten weisen somit darauf hin, dass Antwort-Priming Effekte auf *perzeptueller, zentraler Reaktionsauswahl-* und *motorischer Ebene* der Informationsverarbeitung entstehen.

3.2 Experiment 6 – Aufgaben-Priming

Nachdem in Experiment 5 die für Antwort-Priming Effekte verantwortlichen Hirnareale identifiziert worden sind, wurden in Experiment 6 die neuronalen Korrelate von Aufgaben-Priming Effekten untersucht. Erneut gab die Maske (Hinweisreiz) an, welche Aufgabe mit einem nachfolgenden Gesichter/Szenen Stimulus (Geschlecht vs. Art der Szene) ausgeführt werden sollte. Dabei wurden die folgenden Vorhersagen überprüft:

(1) Analog zu Antwort-Priming Effekten wurde erwartet, dass Prime und Maske auf frühen perzeptuellen Stufen miteinander interagieren. Inkongruente Primes sollten im Vergleich zu kongruenten Primes die visuelle Analyse der Maske erschweren und daher zu einer erhöhten Aktivität in visuellen Arealen führen.

(2) An die visuelle Analyse der Prime-Masken Kombination schließen sich der Prozess der Aufgabenauswahl und die Aktivierung des für die Ausführung der Aufgabe notwendigen Task Sets an. Diese Prozesse sollten durch inkongruente Primes erschwert werden. Der damit verbundene erhöhte kognitive Aufwand und Kontrollbedarf sollte sich – analog zum Antwort-Priming – in einer stärkeren Aktivierung von zentralen Kontrollarealen wie dem ACC und dem LPFC zeigen.

(3) Des Weiteren wurde vermutet, dass der Prime einen Einfluss auf die Aktivierung von Hirnarealen hat, die die mit ihm assoziierte Aufgabe verarbeiten. Primes, die eine Beurteilung des Gesichts ankündigen, sollten zu einer Erhöhung der Aktivität in gesichterverarbeitenden Arealen führen. Primes, die eine Beurteilung der Szene ankündigen, sollten dagegen zu einer erhöhten Aktivierung in szenenverarbeitenden Arealen führen.

(4) Da der Priming Effekt auf Verhaltensebene bei langem SOA ausgeprägter sein sollte als bei kurzem SOA, sollten alle erwarteten Aktivierungsunterschiede (Vorhersagen 1 - 3) bei langem SOA größer sein als bei kurzem SOA. In diesen Arealen wurde eine Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Kongruenz erwartet.

3.2.1 Methode

Versuchspersonen. An diesem Experiment nahmen 29 Versuchspersonen (25 weiblich, 4 männlich; mittleres Alter 22.7 Jahre; Spanne: 19 – 32 Jahre) der Universität Göttingen teil. Aufgrund der Abhängigkeit der Lateralisierung der Hirnfunktionen von der Händigkeit, wurden drei Versuchspersonen nachträglich von der Datenanalyse

ausgeschlossen, da es sich um Linkshänder handelte. Alle übrigen Versuchspersonen waren rechtshändig. Neun weitere Personen wurden nicht in die Datenanalyse aufgenommen, weil sie in der Prime Identifikation keine Typ B Maskierungsfunktion zeigten. Die verbliebenen 17 Versuchspersonen (14 weiblich, 3 männlich) hatten ein durchschnittliches Alter von 23.1 Jahren (Spanne: 19 – 32 Jahre). Alle Versuchspersonen waren normalsichtig oder hatten ihren Sehfehler angemessen mit Kontaktlinsen korrigiert. Sie erhielten entweder 50 € oder Versuchspersonenstunden für die Teilnahme an allen fünf Sitzungen des Experiments.

Stimuli, Aufgabe und Ablauf. Es wurden dieselben Stimuli verwendet wie in den Experimenten 1, 4a, 4b und 5. Sitzung 1 – 3: Die Sitzungen 1 – 3 (Dauer jeweils ca. 50 Minuten) dienten als Übung und wurden in einem Labor außerhalb des Scanners durchgeführt. Die Aufgabe war identisch zu der im Experiment 4a (siehe Abbildung 2.9). Wenn ein Quadrat als Hinweisreiz (Maske) präsentiert wurde, sollte angegeben werden, ob im Gesichter/Szenen Stimulus ein weibliches (linker Zeigefinger) oder männliches Gesicht (rechter Zeigefinger) zu sehen war. Wurde eine Raute als Hinweisreiz (Maske) dargeboten, sollte entschieden werden, ob im Gesichter/Szenen Stimulus eine Innen- (linker Zeigefinger) oder Außenansicht (rechter Zeigefinger) dargeboten wurde. Die Versuchspersonen wurden angewiesen, so schnell und so fehlerfrei wie möglich zu reagieren. Um sie an die Aufgabe zu gewöhnen, wurden in der ersten Sitzung der Hinweisreiz und der Gesichter/Szenen Stimulus zunächst mit einem verlängerten zeitlichen Abstand (SOA = 450 ms) dargeboten. Dieser wurde dann im Verlauf der ersten Sitzung systematisch auf Originalzeit (SOA = 150 ms) reduziert. Ab der zweiten Sitzung absolvierten die Versuchspersonen die Aufgabe in Originalgeschwindigkeit. In den ersten beiden Sitzungen wurde im Fall eines Fehlers ein 600 Hz Ton mit einer Dauer von 100 ms dargeboten und alle Durchgänge folgten mit gleichem zeitlichen Abstand aufeinander. Die dritte Sitzung wurde unter den Bedingungen durchgeführt, die auch in der vierten Sitzung im Scanner vorhanden waren. Aus diesem Grund erfolgte keine Fehlerrückmeldung mehr und die Durchgänge wurden mit pseudo-exponentiell verteilten Intervallen (analog zum Experiment 5) präsentiert. Pro Sitzung wurden acht Blöcke mit jeweils 64 Durchgängen absolviert.

Sitzung 4: Die vierte Sitzung (Dauer ca. 90 Minuten) war die eigentliche Experimentalsitzung, die im Scanner durchgeführt wurde. Localizer: Vor dem

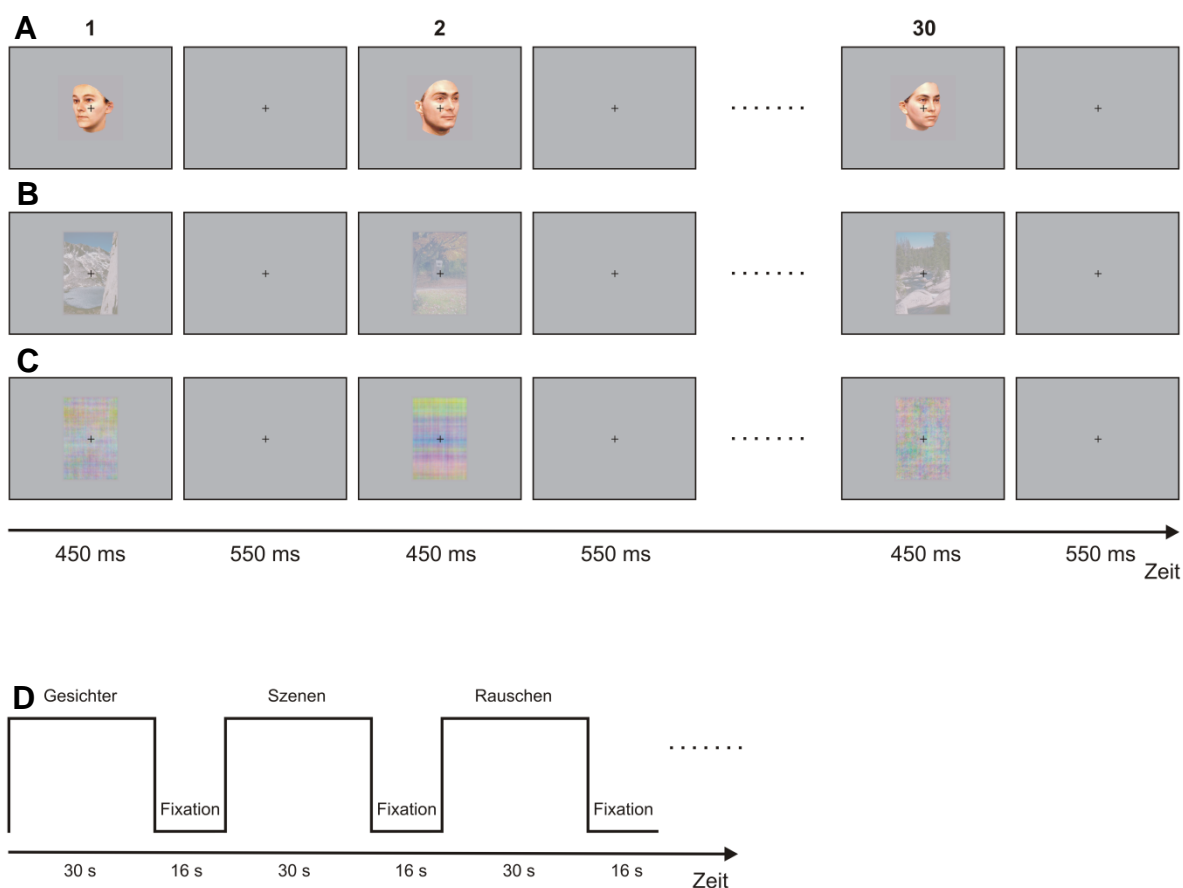


Abb. 3.7 Schematische Darstellung der Stimuluspräsentation im funktionellen Localizer. (A) Gesichter, (B) Szenen oder (C) Rauschen wurden blockweise dargeboten. Pro Block wurden 30 verschiedene Stimuli präsentiert. (D) Zwischen den Blöcken mit einer Dauer von 30 s gab es Fixationsphasen von 16 s Dauer.

Priming-Experiment wurde ein funktioneller Localizer durchgeführt, um die gesichter- und szenenverarbeitenden Hirnareale bei jeder Versuchsperson zu lokalisieren. Den Versuchspersonen wurden blockweise Gesichter, visuelle Szenen und neutrale Stimuli präsentiert (Abbildung 3.7). Die Aufgabe bestand darin, die Bilder aufmerksam zu betrachten und eine Taste mit dem Zeigefinger der rechten Hand zu drücken, wenn zweimal hintereinander das gleiche Bild präsentiert wurde. Die Gesichter stammten aus der Tübinger Gesichterdatenbank (<http://faces.kyb.tuebingen.mpg.de>; Troje, 1996). Es handelte sich um 100 farbige um 30° nach links oder rechts geneigte Ansichten weiblicher und männlicher Gesichter mit neutralem Ausdruck. Die 100 visuellen Szenen stammten aus einer Magdeburger Bilderdatenbank (Abteilung für Neurologie 2; Universitätsklinikum Magdeburg). Zusätzlich wurden 100 neutrale Stimuli, die durch Phasenrandomisierung der Szenenstimuli entstanden sind, präsentiert. Diese werden im Folgenden als „Rauschen“ bezeichnet. Die Gesichter wurden mit einem Schwinkel von

4.4° x 2.8° dargeboten, die Szenen umfassten einen Sehwinkel von 7.7° x 4.1°. Die Stimuli wurden in 30 s langen Blöcken präsentiert. In jedem Block wurden entweder nur Gesichter, nur Szenen oder nur Rauschen dargeboten. Jeder Stimulus wurde für 450 ms präsentiert. Danach folgte für 550 ms ein Fixationskreuz, so dass pro Sekunde ein Stimulus dargeboten wurde. Pro Block wurden 25 verschiedene Bilder präsentiert, von denen sich zufällig fünf Bilder wiederholten. Zwischen den Blöcken wurde für 16 Sekunden ein Fixationskreuz präsentiert. Aufgaben-Priming: Die Aufgabe entsprach der in den Übungssitzungen (Sitzung 1 – 3). Der zeitliche Ablauf war identisch zu dem im Experiment 5 (Abbildung 3.1).

Sitzung 5: Die Prime Identifikationssitzung fand ebenfalls im Scanner statt. Es wurden jedoch keine funktionellen Daten aufgenommen. Die Versuchspersonen reagierten auf die Form des Primes. Eine Reaktion mit dem linken Zeigefinger war erforderlich, wenn ein Quadrat dargeboten wurde und eine Reaktion mit dem rechten Zeigefinger, wenn eine Raute erschien. Es sollte ohne Zeitdruck so fehlerfrei wie möglich reagiert werden.

Design. Sitzung 4: Localizer: Der Localizer bestand aus zwölf Blöcken, so dass pro Stimulusart (Gesichter, Szenen, Rauschen) vier Blöcke absolviert wurden. In keinem aufeinanderfolgenden Block wurde die gleiche Stimulusart dargeboten. Als unabhängige Variable wurde die Stimulusart (Gesichter, Szenen, Rauschen) variiert. Als abhängige Variable wurde das BOLD Signal erhoben. Aufgaben-Priming: Wie im Experiment 5 absolvierten die Versuchspersonen acht Blöcke mit jeweils 64 Durchgängen. Die Kombination der unabhängigen Variablen SOA (17 ms, 83 ms), Kongruenz (kongruent, inkongruent) und Aufgabe (Gesicht, Szene) ergab acht Bedingungen. Jede Bedingung wurde in jedem Block gleich häufig präsentiert. Jeder der 16 verschiedenen Gesichter/Szenen Stimuli wurde insgesamt viermal pro Bedingung dargeboten, also einmal pro Bedingung innerhalb von zwei aufeinander folgenden Blöcken. Als abhängige Variablen wurden die RTn, Fehlerraten und das BOLD Signal erhoben.

Sitzung 5: In der Prime Identifikationssitzung wurden neun Blöcke mit jeweils 64 Durchgängen absolviert, wobei der erste Block als Übung diente. Für jeden Probanden wurden der prozentuale Anteil richtiger Reaktionen und d' als abhängige Variablen in Abhängigkeit vom SOA berechnet.

fMRT-Datenaquisition. Die fMRT-Datenerhebung war mit Ausnahme des Localizers identisch zum Experiment 5. Dieser wurde nach den anatomischen Aufnahmen und vor

dem Priming-Experiment durchgeführt. Im Localizer wurden 283 Volumen akquiriert, wobei alle übrigen Parameter denen der funktionellen Aufnahmen während des Priming-Experiments entsprachen (siehe Experiment 5).

fMRT-Datenverarbeitung. Die Vorverarbeitung der fMRT Daten erfolgte analog zum Experiment 5. Der einzige Unterschied bestand in der zusätzlichen Auswertung des Localizers. Auch für diesen erfolgte eine Verschiebung des Ursprungs des anatomischen und aller funktionellen Volumen auf die Commissura anterior und ein Ausschluss der ersten fünf Volumen von der Datenverarbeitung. So verblieben 278 Volumen für die Datenauswertung. Anschließend erfolgte eine Artefaktkorrektur mit ArtRepair. Aufgrund des Blockdesigns wurde keine Akquisitionszeitkorrektur durchgeführt. Die Daten des Localizers wurden für die Bewegungskorrektur, Normalisierung und räumliche Glättung als ein weiterer Block in die Analyse des Priming-Experiments (siehe Experiment 5) aufgenommen.

Statistische Analyse der Verhaltensdaten. Die RTn der korrekten Durchgänge und die Arkussinus transformierten Fehlerraten wurden für jeden Probanden und jede der acht Bedingungen berechnet. Diese abhängigen Variablen wurden in einer 2 x 2 x 2 faktoriellen ANOVA mit Messwiederholung mit den Faktoren SOA, Kongruenz und Aufgabe analysiert. Für die Analyse der Prime Identifikationsdaten wurden der Anteil richtiger Reaktionen und die d' Werte bei kurzem und langem SOA berechnet. Mittels t-Test für abhängige Stichproben wurde geprüft, ob sich die Identifikationsleistung bei kurzem SOA signifikant von der bei langem SOA unterschied. Zusätzlich wurden für das kurze und lange SOA Regressionsanalysen mit dem Priming Effekt als abhängige und der Prime Sichtbarkeit als unabhängige Variablen berechnet.

Statistische Analyse der funktionellen Daten. Die statistischen Analysen beruhen auf dem ALM und wurden mit SPM8 durchgeführt. Localizer: Zunächst wurden die Daten für jede einzelne Versuchsperson ausgewertet. Als Regressoren wurden die drei experimentellen Bedingungen (Gesichter, Szenen, Rauschen) in das Modell aufgenommen. Da es sich um ein Blockdesign handelte, wurde eine Boxcar-Funktion (Dauer 30 s) mit der HRF gefaltet. Zusätzlich wurden die Bewegungsparameter in das Modell eingeführt. Nach Schätzung der Regressionsparameter wurden die relevanten t-Kontraste berechnet: *Gesichter > Szenen* und *Szenen > Gesichter*. Diese dienten dazu,

bei jeder Versuchsperson die Regionen zu bestimmen, die an der Verarbeitung von Gesichtern beziehungsweise Szenen beteiligt sind. Für beide Kontraste wurde zusätzlich eine Gruppenanalyse gerechnet.

Aufgaben-Priming: Die Spezifizierung des Modells war identisch zu der im Experiment 5. Als Regressoren wurden ebenfalls die acht experimentellen Bedingungen aufgenommen, die sich aus der Kombination der Faktoren SOA, Kongruenz und Aufgabe ergaben. Fehlerdurchgänge und bewegungskorrelierte Artefakte wurden zusätzlich modelliert. Die t-Kontraste wurden analog zum Experiment 5 spezifiziert. Auch hier wurde überprüft, welche Areale eine höhere Aktivierung in inkongruenten verglichen mit kongruenten Durchgängen zeigen. Dazu wurden zwei Kontraste (*Inkongruent* > *Kongruent*) definiert, einer für das *kurze* und einer für das *lange* SOA. Zusätzlich wurde die Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Kongruenz getestet. Dieser Kontrast wurde so spezifiziert, dass der Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen bei langem SOA größer sein soll als bei kurzem SOA⁹. Alle Kontraste wurden auch in entgegengesetzter Richtung (*Kongruent* > *Inkongruent*) berechnet. Da die visuelle Analyse und Aufgabenauswahl in kongruenten Durchgängen erleichtert sein sollten, wurden hier im Vergleich zu inkongruenten Durchgängen keine stärkeren Aktivierungen erwartet. Diese auf der Ebene einzelner Versuchspersonen berechneten t-Kontraste wurden anschließend in einer Gruppenanalyse statistisch ausgewertet. Da unter FDR Korrektur keine signifikanten Ergebnisse gefunden wurden, wurde für alle Kontraste eine Schwelle von $p < .001$ (unkorrigiert, $k > 20$) gewählt.

Des Weiteren wurden ROI Analysen durchgeführt, um den Einfluss der Primes auf die Aktivierung in den für die Aufgabenbearbeitung spezifischen Hirnregionen zu untersuchen. Dazu wurden im Localizer für jede Versuchsperson die Regionen bestimmt, die an der Verarbeitung von Gesichtern beziehungsweise visuellen Szenen beteiligt sind. In die Verarbeitung von Gesichtern sind dabei insbesondere die *FFA* (engl. Fusiform Face Area) im Gyrus fusiformis (Kanwisher, McDermott & Chun, 1997), die *OFA* (engl. Occipital Face Area) im Gyrus occipitalis inferior (Puce, Allison, Asgari, Gore & McCarthy, 1996; Rotstein, Henson, Treves, Driver & Dolan, 2004) und der *STS* (Sulcus temporalis superior; Allison, Puce & McCarthy, 2000; Fang, Murray & He, 2007b; Puce, Allison, Asgari, Gore & McCarthy, 1996) involviert. An der Verarbeitung von Szenen

⁹ $((\text{Inkongruent-Kongruent})_{\text{langes SOA}} - (\text{Inkongruent-Kongruent})_{\text{kurzes SOA}}) > 0$

sind die *PPA* (engl. Parahippocampal Place Area) im Gyrus parahippocampalis (Epstein & Kanwisher, 1998), der *TOS* (engl. Transverse Occipital Sulcus) im Bereich des Sulcus occipitalis transversalis (Epstein, Higgins & Thompson-Schill, 2005; Grill-Spector, 2003; Hasson, Harel, Levy & Malach, 2003) und der *RSC* (Retrospleniale Cortex; Epstein, Higgins & Thompson-Schill, 2005) beteiligt. Somit kann angenommen werden, dass zwei unterschiedliche Netzwerke von jeweils drei Arealen an der Gesichter- (*gesichterverarbeitendes Netzwerk (GVN)*) beziehungsweise an der Szenenverarbeitung (*szenenverarbeitendes Netzwerk (SVN)*) beteiligt sind. Da der RSC in der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht bei jeder Versuchsperson identifiziert werden konnte, umfasste das SVN in der folgenden Studie lediglich die PPA und den TOS. Für die ROI Analyse wurden diese Areale bei jeder Versuchsperson in der linken und rechten Hemisphäre bestimmt. Die Areale des GVN wurden über den Kontrast *Gesichter > Szenen* und die Areale des SVN über den Kontrast *Szenen > Gesichter* unter Verwendung einer Schwelle von $p < .01$ (unkorrigiert, $k > 10$) identifiziert. Für jedes dieser Areale im GVN und SVN wurde der Voxel mit dem maximalen Aktivierungsunterschied (*Gesichter > Szenen* bzw. *Szenen > Gesichter*) bestimmt. Für das GVN wurden somit in jeder Hemisphäre drei Voxel identifiziert (FFA, OFA, STS). Diese sechs Voxel (drei pro Hemisphäre) wurden in Marsbar zu einer ROI kombiniert. Für das SVN wurden in jeder Hemisphäre zwei Voxel identifiziert (PPA, TOS). Diese vier Voxel (zwei pro Hemisphäre) wurden ebenfalls zu einer ROI zusammengefasst. Das Resultat war eine ROI im GVN und eine ROI im SVN. Für diese beiden ROIs wurde für jede der acht Bedingungen mittels Marsbar die prozentuale Signaländerung (PS) ermittelt. Diese Daten wurden anschließend in eine $2 \times 2 \times 2$ faktorielle ANOVA mit den Faktoren SOA (17 ms, 83 ms), Kongruenz (kongruent, inkongruent) und Aufgabe (Gesicht, Art der Szene) eingeführt. Diese ANOVA wurde wie im Experiment 5 für den Fall berechnet, dass GVN bzw. SVN aufgabenrelevant und für den Fall, dass sie aufgabenirrelevant waren. Das GVN ist dabei aufgabenrelevant, wenn der Hinweisreiz die Gesichteraufgabe ankündigt und aufgabenirrelevant, wenn dieser die Szenenaufgabe ankündigt. Das SVN hingegen ist aufgabenrelevant, wenn der Hinweisreiz die Szenenaufgabe ankündigt und aufgabenirrelevant, wenn dieser die Gesichteraufgabe ankündigt. Es wurde erwartet, dass kongruente Primes zu einer stärkeren Aktivierung im aufgabenrelevanten Netzwerk führen als inkongruente Primes. Hingegen sollten inkongruente Primes im aufgabenirrelevanten Netzwerk zu einer stärkeren Aktivierung

führen als kongruente Primes. Diese Aktivierungsunterschiede sollten bei langem SOA größer sein als bei kurzem SOA.

3.2.2 Ergebnisse

3.2.2.1 Verhaltensdaten

RT. Die 2 x 2 x 2 faktorielle ANOVA ergab einen signifikanten Effekt des Faktors Kongruenz ($F(1, 16) = 25.7$, $MS_e = 15481.6$, $\eta^2 = .62$, $p < .001$) mit 557 ms in kongruenten und 579 ms in inkongruenten Durchgängen. Dieser Priming Effekt wurde durch das SOA moduliert ($F(1, 16) = 13.7$, $MS_e = 8391.6$, $\eta^2 = .46$, $p < .01$). Während bei kurzem SOA kein Effekt vorhanden war (6 ms; $t(16) = 0.8$, $p = .43$), wurde bei langem SOA ein signifikanter Priming Effekt beobachtet (37 ms; $t(16) = 5.4$, $p < .001$) (Abbildung 3.8 A). Auch der Faktor Aufgabe hatte einen signifikanten Effekt auf die Reaktionszeiten ($F(1, 16) = 28.9$, $MS_e = 40088.0$, $\eta^2 = .64$, $p < .001$): die Versuchspersonen reagierten schneller, wenn die Gesichter klassifiziert werden mussten (551 ms), als wenn die Szenen beurteilt werden sollten (585 ms).

FP. Insgesamt wurden 3.4% Fehler gemacht. In kongruenten Durchgängen wurden mit 2.5% ($t(16) = 0.5$, $p = .63$) signifikant weniger Fehler beobachtet als mit 4.3% ($t(16) = 2.3$, $p < .05$) in inkongruenten Durchgängen ($F(1, 16) = 5.2$, $MS_e = 0.227$,

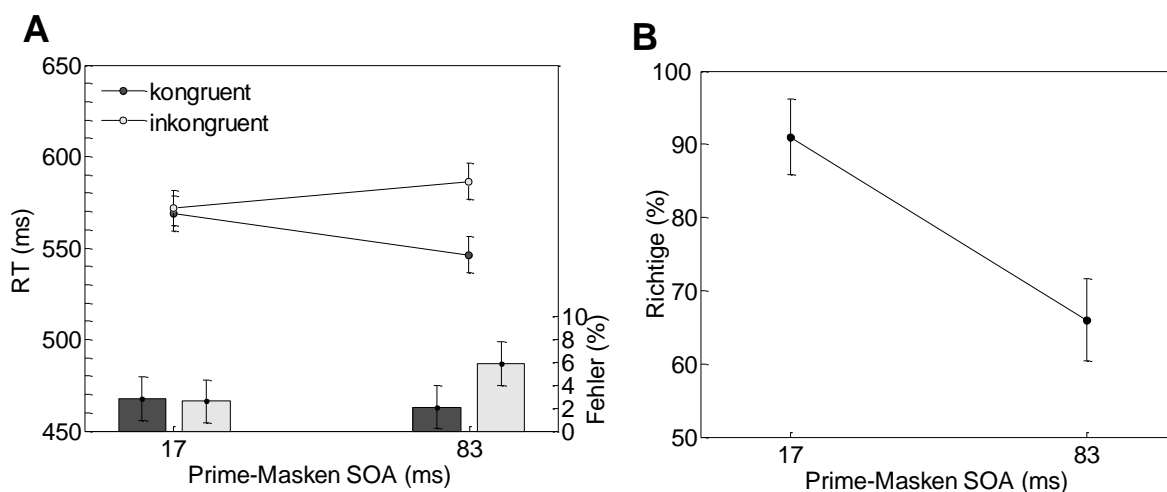


Abb. 3.8 RTn, Fehlerraten und Prime Identifikationsleistung in Experiment 6. (A) Mittlere RTn und Fehlerraten in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion SOA x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994). (B) Prime Identifikationsleistung für das kurze und das lange SOA (Typ B Maskierungsfunktion). Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall über alle Versuchspersonen.

$\eta^2 = .25$, $p < .05$). Dieser Priming Effekt wurde zwar nicht signifikant durch das SOA moduliert ($F(1, 16) = 2.1$, $MS_e = 0.118$, $\eta^2 = .12$, $p = .17$), jedoch zeigte sich deskriptiv ein ähnliches Datenmuster wie in den RTn (Abbildung 3.8 A).

Prime Identifikation. Im Mittel wurden 78% der Primes korrekt klassifiziert (Abbildung 3.8 B). Das entspricht einem d' von 1.6, welches signifikant von null verschieden war ($t(16) = 11.2$, $p < .001$). Bei kurzem SOA wurden 91% der Primes richtig erkannt ($d' = 3.1$; $t(16) = 10.7$, $p < .001$), bei langem SOA betrug die Identifikationsleistung 66% ($d' = 0.9$; $t(16) = 5.9$, $p < .001$). Diese war bei langem SOA signifikant schlechter als bei kurzem SOA ($t(16) = 8.0$, $p < .001$). Um die Annahme der Unabhängigkeit des Priming Effekts von der Prime Sichtbarkeit zu unterstützen, wurden darüber hinaus Regressionsanalysen durchgeführt. In diesen wurden weder bei kurzem ($\beta = -.28$; $t(16) = -1.1$, $p = .27$) noch bei langem SOA ($\beta = .05$; $t(16) = 0.2$, $p = .89$) signifikante Steigungskoeffizienten berechnet. Die Regressionskonstanten betragen 14 ($t(16) = 1.3$, $p = .20$) bei kurzem SOA und 38 ($t(16) = 2.8$, $p < .01$) bei langem SOA.

3.2.2.2 fMRT Analysen

Inkongruent > Kongruent. Um zu überprüfen, welche Hirnareale mit dem Priming Effekt assoziiert sind, wurde zunächst die Aktivität in inkongruenten und kongruenten Durchgängen verglichen. Der Vergleich *Inkongruent > Kongruent* ergab bei *kurzem SOA* lediglich einen signifikanten Effekt im linken Gyrus frontalis inferior (GFI, BA 44) (Tabelle 3, Anhang II). Bei *langem SOA* zeigte sich hingegen in verschiedenen Arealen ein bedeutsamer Aktivierungsunterschied (Abbildung 3.9; Tabelle 4, Anhang II). Im *Frontallappen* wurden bilaterale Effekte im Gyrus frontalis medius (GFM, BA6/8), im GFI (BA 44), im LPFC (BA 45/46) und der anterioren Insula beobachtet. Im medialen PFC zeigte sich ein Effekt im medialen Gyrus frontalis superior (medGFS, BA 8). Im *Parietallappen* wurde bilateral ein Effekt im Sulcus intraparietalis (SIP) und im Lobulus parietalis inferior (LPI) gefunden. Darüber hinaus zeigte sich im rechten *Temporal-* und *Okzipitallappen* im Gyrus temporalis inferior (GTI) und im Gyrus occipitalis medius/superior (GOM/GOS) ein Aktivierungsunterschied.

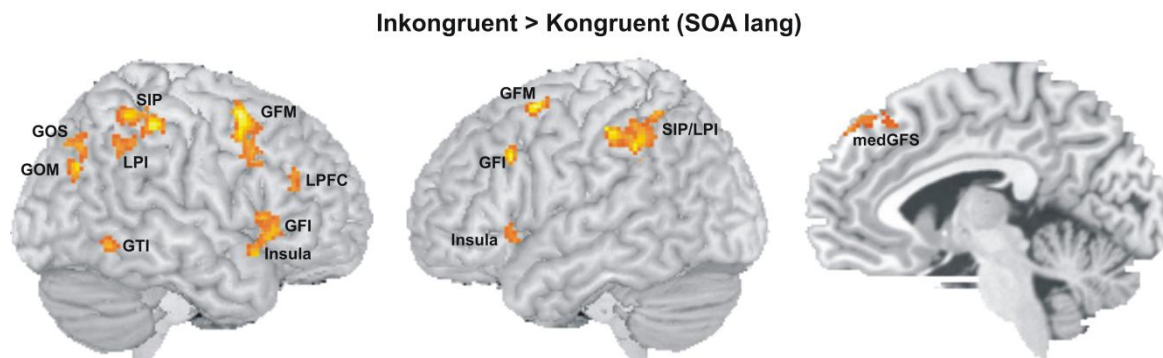


Abb. 3.9 Ergebnisse des Kontrasts *Inkongruent > Kongruent (SOA lang)* in Experiment 6. Areale, die bei langem SOA eine stärkere Aktivierung in inkongruenten verglichen mit kongruenten Durchgängen zeigten ($p < .001$, unkorrigiert, $k > 20$). Abkürzungen: GFI – Gyrus frontalis inferior; GFM – Gyrus frontalis medius; GOM – Gyrus occipitalis medius; GOS – Gyrus occipitalis superior; GTI – Gyrus temporalis inferior; LPI – Lobulus parietalis inferior; medGFS – medialer Gyrus frontalis superior; SIP – Sulcus intraparietalis.

In einem weiteren Schritt wurde getestet, welche Hirnareale bei langem SOA einen größeren Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen zeigen als bei kurzem SOA. Die Ergebnisse dieses Interaktionskontrastes sind in Abbildung 3.10 (Tabelle 5, Anhang II) dargestellt. Im *Frontallappen* wurden ausschließlich rechtslateralisierte Aktivierungen gefunden: GFM (BA 44), GFI (BA 44) und anteriore Insula. Im PFC zeigte sich ein Effekt im medGFS (BA 8). Auch in den Arealen des *Parietallappens* fanden sich im SIP (bilateral), LPI (rechts) und Precuneus (bilateral) signifikante Interaktionen. Im *Okzipitallappen* wurde im Gyrus lingualis/calcarinus (GL/GC, BA17/18) und im GOM eine signifikante Interaktion beobachtet. Im *Temporallappen* zeigte sich ein Effekt in verschiedenen höheren visuellen Arealen: Gyrus lingualis (GL), Gyrus fusiformis (GF) und Gyrus temporalis medius (GTM).

Kongruent > Inkongruent. Für den Vergleich *Kongruent > Inkongruent* wurde weder bei kurzem noch bei langem SOA oder für die Interaktion ein signifikanter Effekt gefunden.

Localizer und ROI Analysen. Um die Regionen zu bestimmen, die an der Verarbeitung von Gesichtern und visuellen Szenen beteiligt sind, wurde vor dem Priming-Experiment ein funktioneller Localizer durchgeführt. In der Gruppenanalyse zeigten beim Vergleich *Gesichter > Szenen* verschiedene gesichterverarbeitende Hirnregionen einen signifikanten bilateralen Aktivierungsunterschied (Abbildung 3.11 A; Tabelle 6A, Anhang II): Gyrus fusiformis (FFA), Gyrus temporalis medius (Nähe STS) und Gyrus occipitalis inferior

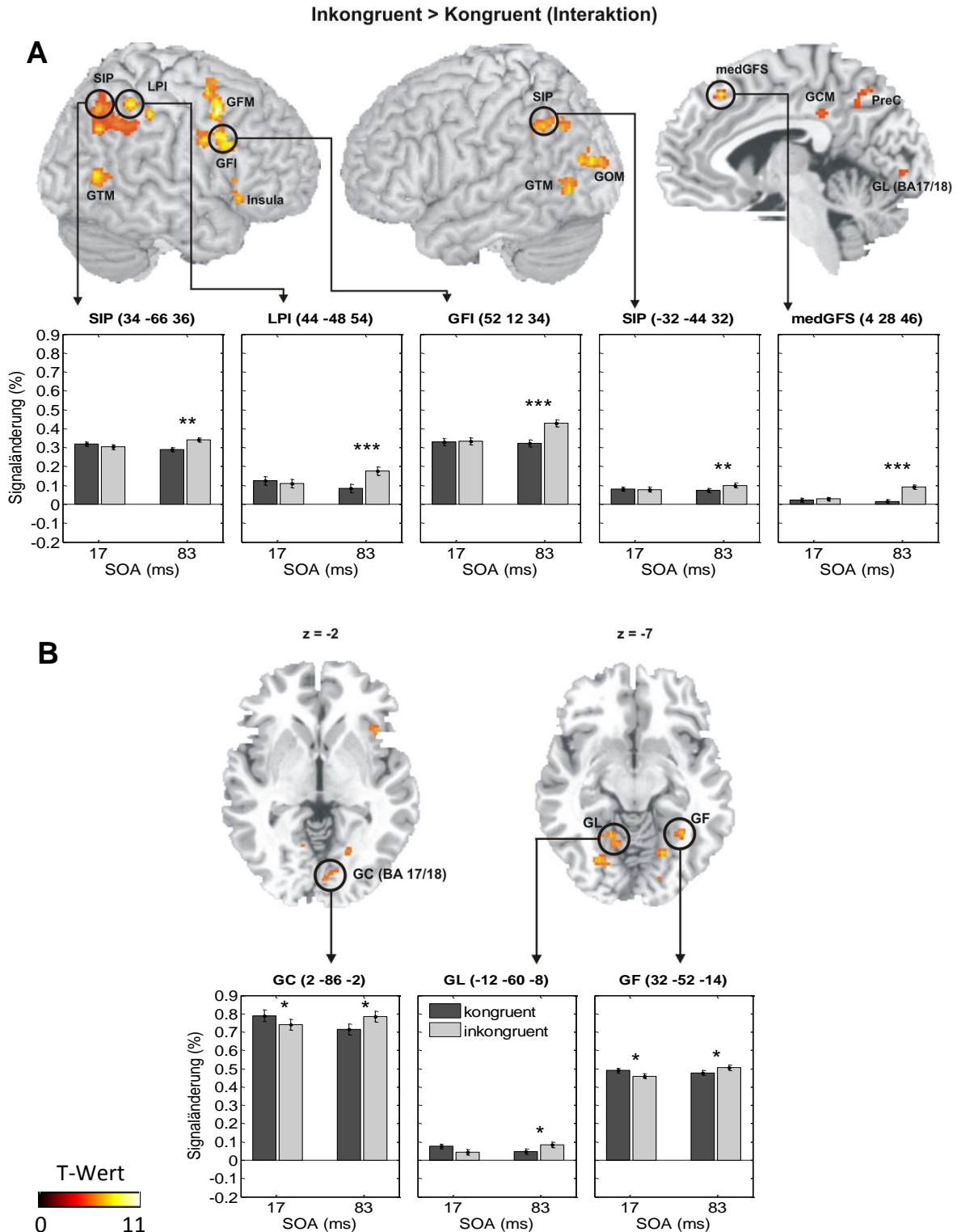


Abb. 3.10 Ergebnisse des *Interaktionskontrasts* *SOA x Kongruenz* in Experiment 6. (A) Areale, die bei langem SOA einen stärkeren Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen zeigten als bei kurzem SOA ($p < .001$, unkorrigiert, $k > 20$). Für ausgewählte Areale ist die prozentuale Signaländerung am entsprechenden Maximum in Abhängigkeit von Kongruenz und SOA dargestellt. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall (Loftus & Masson, 1994). (B) Darstellung der Effekte im visuellen Corex. Abgetragen sind auch die Ergebnisse von abhängigen t-Tests für die Vergleiche kongruent vs. inkongruent bei kurzem und langem SOA (* $p < .05$, ** $p > .01$, *** $p < .001$). Abkürzungen: GC – Gyrus calcarinus; GCM – Gyrus cinguli medius; GF – Gyrus fusiformis; GFI – Gyrus frontalis inferior; GFM – Gyrus frontalis medius; GL – Gyrus lingualis; GTM – Gyrus temporalis medius; LPI – Lobulus parietalis inferior; medGFS – medialer Gyrus frontalis superior; PreC – Precuneus; SIP – Sulcus intraparietalis.

(OFA). Für den Vergleich *Szenen* > *Gesichter* wurde bilateral in zwei szenenverarbeitenden Arealen ein signifikanter Aktivierungsunterschied gefunden: in der Nähe des Gyrus parahippocampalis im medialen Gyrus fusiformis (PPA) und im Gyrus occipitalis medius (in der Nähe der TOS Region) (Abbildung 3.11 B; Tabelle 6 B, Anhang II). Im RSC wurde hingegen kein signifikantes Ergebnis ermittelt.

Für die ROI Analyse wurde bei jeder Versuchsperson das GVN und das SVN bestimmt und jeweils eine ROI definiert (siehe Methode). Anschließend wurde für jede der acht Bedingungen die prozentuale Signaländerung in beiden ROIs berechnet. Diese Daten gingen in die 2 x 2 x 2 faktorielle Varianzanalysen für den Fall ein, dass die Netzwerke aufgabenrelevant und für den Fall, dass sie aufgabenirrelevant waren.

Aufgabenrelevantes Netzwerk: Für den Fall, dass GVN/SVN aufgabenrelevant waren, zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Kongruenz ($F(1, 16) = 10.6$, $MS_e = 0.052$, $\eta^2 = .40$, $p < .01$). Inkongruente Primes führten bei langem SOA zu einer höheren Aktivierung als kongruente Primes, bei kurzem SOA wurde der umgedrehte Effekt beobachtet (Abbildung 3.12 A). Auch der Haupteffekt des Faktors SOA wurde signifikant ($F(1, 16) = 9.9$, $MS_e = 0.026$, $\eta^2 = .38$, $p < .01$) mit einer höheren Signaländerung bei langem verglichen mit kurzem SOA.

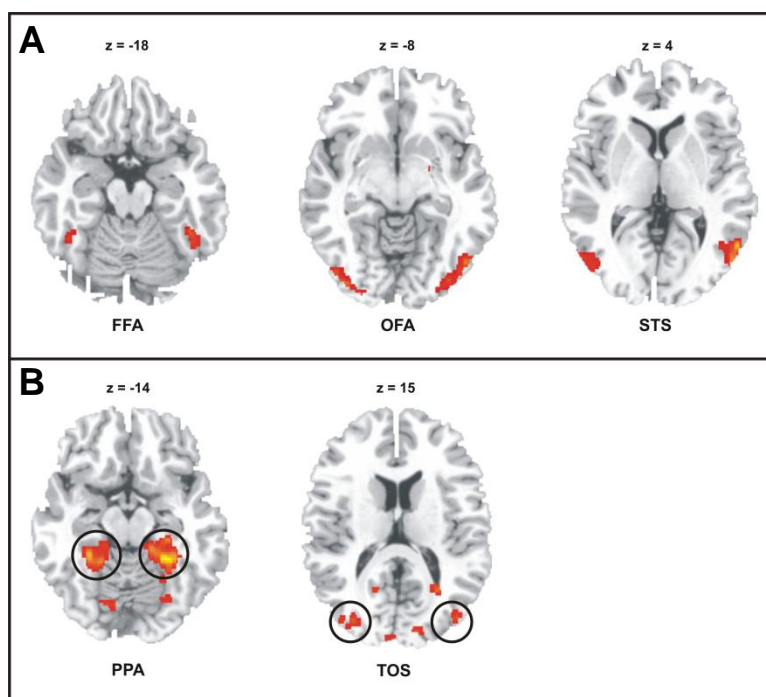


Abb. 3.11 Ergebnisse des funktionellen Localizers. (A) Im Vergleich zu Szenen aktivierten Gesichter die FFA, die OFA und den STS. (B) Szenen aktivierten im Vergleich zu Gesichtern die PPA und den TOS. Abkürzungen: FFA – Fusiform Face Area; OFA – Occipital Face Area; STS – Sulcus temporalis superior; PPA – Parahippocampal Place Area; TOS – Transverse Occipital Sulcus.

Aufgabenirrelevantes Netzwerk: Wenn GVN/SVN aufgabenirrelevant waren, wurde eine marginal signifikante Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Kongruenz ermittelt ($F(1, 16) = 3.6$, $MS_e = 0.028$, $\eta^2 = .19$, $p = .07$). Bei inkongruenten Primes zeigte sich bei langem SOA tendenziell eine höhere Aktivierung als bei kongruenten Primes; dieser Effekt drehte sich bei kurzem SOA um (Abbildung 3.12 B). Des Weiteren wurde bei langem SOA eine höhere Signaländerung beobachtet als bei kurzem SOA ($F(1, 16) = 5.0$, $MS_e = 0.024$, $\eta^2 = .24$, $p < .05$).

Somit wurde unabhängig davon, ob das Netzwerk aufgabenrelevant oder –irrelevant war, bei langem SOA ein stärkerer Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Primes beobachtet als bei kurzem SOA. Dieses Aktivierungsmuster könnte zeigen, dass die hier untersuchten Areale nicht spezifisch für die Bearbeitung der Gesichter- bzw. Szenenaufgabe waren. Eine Inspektion der Daten wies darauf hin, dass die Areale des GVN während des Aufgaben-Priming Experiments keine höhere Aktivierung bei der Bearbeitung der Gesichteraufgabe als bei der Bearbeitung der Szenenaufgabe zeigten. Aus diesem Grund wurde für das GVN und für das SVN jeweils ein t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt, mit dem die mittlere Aktivität während der Bearbeitung der relevanten Aufgabe mit der mittleren Aktivität während der Bearbeitung der irrelevanten Aufgabe verglichen wurde. Für das GVN zeigte sich kein signifikanter Aktivierungsunterschied ($t(16) = 0.5$, $p = .59$). Das bedeutet, dass die Aktivität im GVN während der Ausführung der Gesichteraufgabe (relevante Aufgabe)

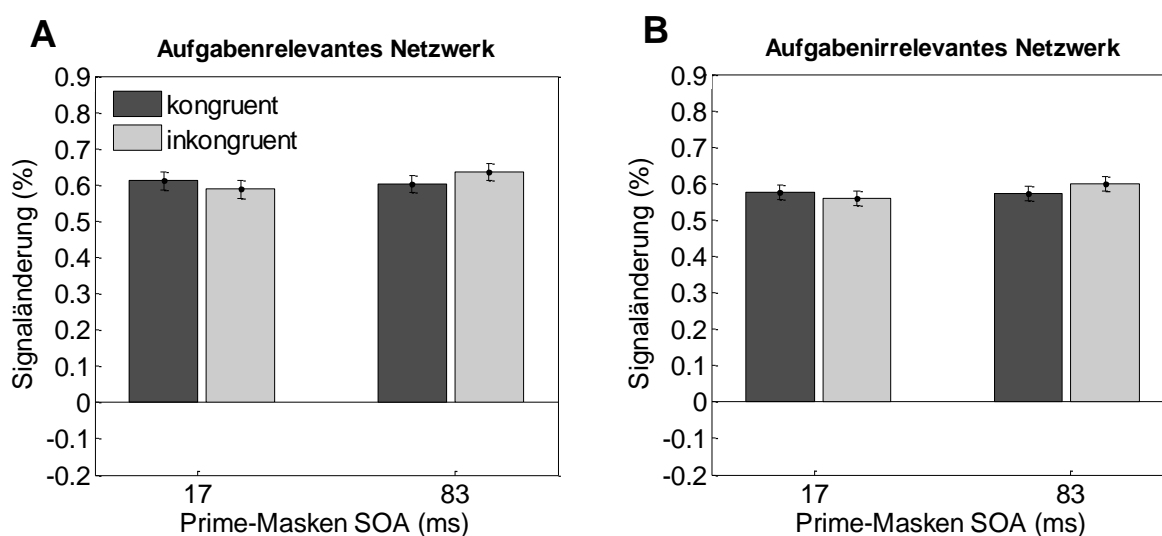


Abb. 3.12 Prozentuale Signaländerung in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz für das (A) aufgabenrelevante und das (B) aufgabenirrelevante Netzwerk. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion SOA x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994).

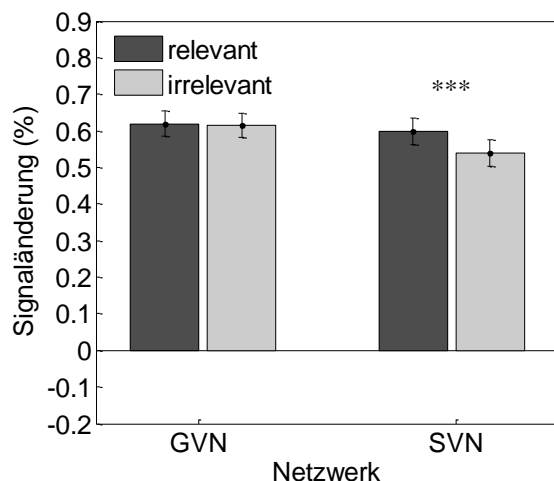


Abb. 3.13 Prozentuale Signaländerung in Abhängigkeit von der Aufgabenrelevanz für das GVN und das SVN. Die Fehlerbalken entsprechen dem Standardfehler.

*** $p < .001$

genauso groß war wie die Aktivität während der Ausführung der Szenenaufgabe (irrelevante Aufgabe). Im SVN hingegen wurde während der Bearbeitung der Szenenaufgabe (relevante Aufgabe) eine stärkere Signaländerung beobachtet als während der Ausführung der Gesichteraufgabe (irrelevante Aufgabe) ($t(16) = 5.7, p < .001$) (Abbildung 3.13). Das spricht dafür, dass die Areale des SVN während der Ausführung der relevanten Aufgabe stärker rekrutiert wurden als während der Ausführung der irrelevanten Aufgabe. Da sich im GVN jedoch kein Aktivierungsunterschied zwischen der relevanten und der irrelevanten Aufgabe zeigte, muss davon ausgegangen werden, dass diese Areale während der Verarbeitung der Gesichter nicht stärker rekrutiert wurden. Somit kann im GNV auch kein spezifischer Effekt des Primes erwartet werden. Aus diesem Grund wurde ausschließlich eine Analyse der Daten des SVN durchgeführt. Dazu wurde eine 2 x 2 faktorielle ANOVA mit den Faktoren SOA und Kongruenz berechnet.

Aufgabenrelevante Bedingung: Es wurde ein signifikanter Effekt des Faktors SOA gefunden ($F(1, 16) = 8.9, MS_e = 0.012, \eta^2 = .36, p < .01$) mit einer höheren Signaländerung bei langem verglichen mit kurzem SOA. Kein weiterer Effekt erreichte die Signifikanzschwelle (Abbildung 3.14 A). Aufgabenirrelevante Bedingung: Es zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren SOA und Kongruenz ($F(1, 16) = 7.4, MS_e = 0.041, \eta^2 = .32, p < .05$). Dabei war der Unterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen bei langem SOA größer als bei kurzem SOA (Abbildung 3.14 B).

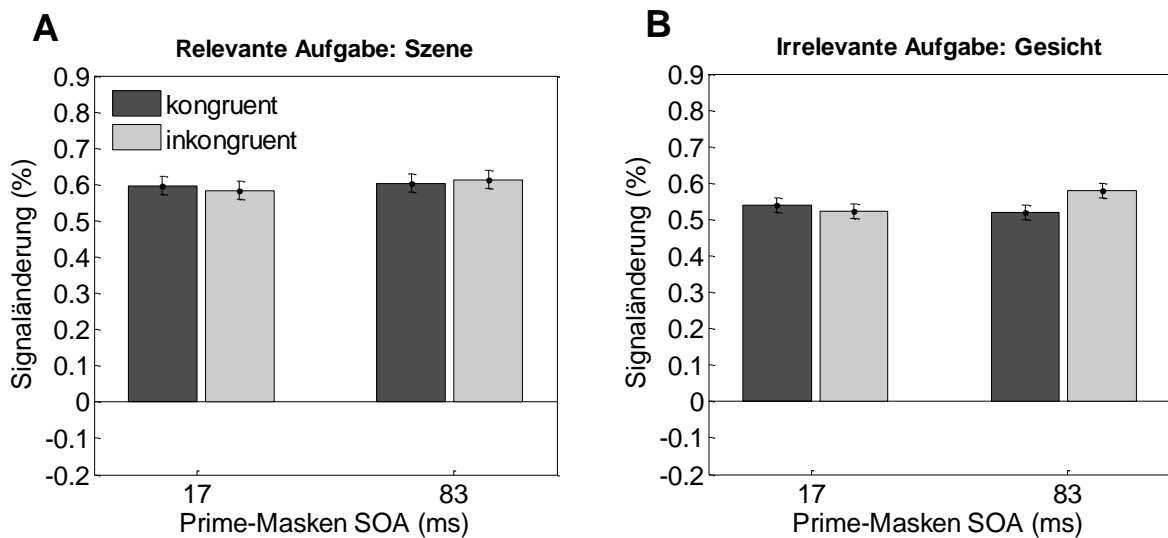


Abb. 3.14 Prozentuale Signaländerung in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz im SVN, für den Fall, dass (A) die Aufgabe relevant war und den Fall, dass (B) sie irrelevant war. Die Fehlerbalken entsprechen dem 95% Konfidenzintervall der Interaktion SOA x Kongruenz (Loftus & Masson, 1994).

3.2.3 Diskussion

Verhaltensdaten

Die Verhaltensdaten zeigten, dass der Prime sowohl einen Einfluss auf die Reaktionszeiten als auch auf die Fehlerraten hatte. So wurde in inkongruenten Durchgängen langsamer und fehlerhafter reagiert als in kongruenten Durchgängen. Der RT Effekt wurde durch das SOA moduliert, mit einem größeren Priming Effekt bei langem verglichen mit kurzem SOA. Dieses Muster wurde für RTn bereits in verschiedenen Experimenten (Lau & Passingham, 2007; Mattler, 2003, 2005) berichtet. Da der Prime nicht mit einer motorischen Reaktion assoziiert ist, waren Priming Effekte in den Fehlerraten jedoch nicht unbedingt zu erwarten (Mattler, 2003, 2005). Dennoch wäre es denkbar, dass die Aktivierung des inkorrekten Task Sets bzw. der inkorrekten Aufgabe die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Fehlern erhöht, weil die Versuchspersonen in die Ausführung der falschen Aufgabe involviert sind. Dafür spricht, dass auch Lau und Passingham (2007) Fehlereffekte berichten.

Die Sichtbarkeitsprüfung zeigte, dass die Primes sowohl bei kurzem als auch bei langem SOA überzufällig identifiziert werden konnten. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass der für den Priming Effekt verantwortliche Mechanismus unabhängig von dem Mechanismus ist, der verantwortlich für die bewusste Prime Wahrnehmung ist. Zum

einen wurde erneut eine doppelte Dissoziation zwischen Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit beobachtet. Zum anderen wurde weder bei kurzem noch bei langem SOA ein Effekt der Prime Sichtbarkeit auf die Größe des Priming Effekts gefunden.

fMRT Analysen

Inkongruent > Kongruent. Während sich der Effekt inkongruenter Primes in den funktionellen Daten bei *kurztem SOA* lediglich im linken GFI (BA 44) zeigte, wurde bei *langem SOA* ein Effekt in verschiedenen über den gesamten Cortex verteilten Hirnarealen gefunden. Im Folgenden soll nur auf solche Hirnareale eingegangen werden, die bei langem SOA einen größeren Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen zeigten als bei kurzem SOA (Interaktion). Da der neuronale Priming Effekt mit zunehmendem SOA anstieg, während die Prime Sichtbarkeit gleichzeitig abnahm (Typ B Maskierung), kann nur für diese Areale von einer Dissoziation zwischen neuronalem Priming Effekt und bewusster Prime Wahrnehmung ausgegangen werden.

Zum einen wurde ein Effekt in Arealen beobachtet, die an der visuellen Stimulusverarbeitung beteiligt sind. Dies betrifft primäre und sekundäre visuelle Areale (BA 17/18) im Okzipitallappen sowie Areale höherer visueller Verarbeitung im Temporallappen (GF, GL, GTM). Die Aktivierungsunterschiede in frühen visuellen Arealen (BA 17/18) lassen darauf schließen, dass die Maske (Hinweisreiz) in inkongruenten Durchgängen anders verarbeitet wurde als in kongruenten Durchgängen. So könnte die wiederholte Präsentation der gleichen Form in kongruenten Durchgängen zu einer Reduktion der neuronalen Aktivität geführt haben (Repetition-Suppression Effekt). Alternativ könnten auch hier top-down Signale aus höheren Kontrollarealen, im Sinne einer intensiveren visuellen Verarbeitung in inkongruenten Durchgängen aufgrund einer Uneindeutigkeit des wahrgenommenen Perzepts, für den Effekt verantwortlich sein (Pessoa et al., 2010). Insgesamt sprechen die Daten jedoch für die Annahme, dass der Aufgaben-Priming Effekt zum Teil durch eine Prime-Masken Interaktion auf frühen *perzeptuellen* Ebenen entsteht.

Der Effekt in höheren visuellen Arealen des ventralen Temporallappens (GF, GL) könnte zum einen die Annahme einer veränderten Verarbeitung der Maske unterstützen. So zeigten Brass und von Cramon (2004a) eine stärkere Aktivierung im inferioren temporalen Cortex und im GF, wenn nacheinander zwei visuell verschiedene

supraliminale Aufgabenhinweise präsentiert wurden. Die Autoren bringen die Aktivierung in diesen Arealen mit einer neuen visuellen Enkodierung des zweiten Aufgabenhinweises in Zusammenhang. In der vorliegenden Untersuchung könnten die Aktivierungsunterschiede in den höheren visuellen Arealen jedoch ebenso einen Hinweis auf eine Veränderung der visuellen Verarbeitung des Zielreizes (Gesichter/Szenen Stimulus) darstellen. Diese Annahme liegt nahe, da nicht nur die Maske, sondern auch der Gesichter/Szenen Stimulus verarbeitet werden musste, um die Aufgabe zu lösen. Dafür spricht, dass die betreffenden Areale im ventralen Temporallappen (GF, GL) im Bereich der PPA lagen, die an der Szenenverarbeitung beteiligt ist. Des Weiteren zeigte sich im Experiment 5, in dem der Gesichter/Szenen Stimulus zwar präsentiert wurde, jedoch vollkommen aufgabenirrelevant war, kein Effekt inkongruenter Primes auf höhere visuelle Areale im GF und GL (Nähe PPA). Auf die Frage, ob Primes einen Einfluss auf die Aktivierung von aufgabenspezifischen Arealen haben, soll später nochmals eingegangen werden.

Ein weiterer Effekt im visuellen System zeigte sich bilateral im GTM, einer Region, die dem bewegungssensitiven Areal MT entspricht (Allman, Kaas & Lane, 1973; Dubner & Zeki, 1971). Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass bei langem Prime-Masken SOA in inkongruenten Durchgängen ein Bewegungseindruck entstanden ist. Diese Bewegung könnte durch das Aufeinanderfolgen von zwei sich in ihrer Form unterscheidenden Stimuli (Prime und Maske) erzeugt werden. Für diese Annahme spricht, dass solche Scheinbewegungen nach Wertheimer (1912) bei einem Interstimulusintervall von ungefähr 60 ms wahrgenommen werden und dieser Wert in etwa dem in der vorliegenden Studie von 50 ms (= 83 ms SOA) entspricht.

Neben visuellen Arealen zeigte sich auch in verschiedenen frontalen und parietalen Hirnarealen ein signifikanter Interaktionseffekt. Dabei wurde insbesondere in frontalen Arealen wie dem GFM (BA 44), dem GFI (BA 44) und der anterioren Insula eine Rechtslateralisierung beobachtet. In verschiedenen Studien wurde bereits ein rechtslateralisiertes Netzwerk von hauptsächlich frontalen Hirnregionen beschrieben, welches an inhibitorischen Prozessen beteiligt zu sein scheint. So schreiben Brass und von Cramon (2004a) dem rechten GFI eine Rolle bei der Unterdrückung eines momentan aktivierten Task Sets zu, wenn ein neues implementiert werden muss. Aron und Kollegen (2004a) postulieren, dass der rechte inferiore frontale Cortex die hemmenden Prozesse

steuert, die stattfinden, wenn zwischen Aufgaben gewechselt wird. Das kann die Hemmung von konkurrierenden S-R Regeln oder des gesamten Task Sets betreffen. Hedden und Gabrieli (2010) fanden zudem eine stärkere Aktivierung im rechten GFM (BA 6/8) und im rechten GFI, wenn aufgabenirrelevante Stimulusinformation unterdrückt werden musste. Des Weiteren sehen Corbetta und Kollegen (2002, 2008) im rechten inferioren frontalen Cortex einen Teil eines ventralen Aufmerksamkeitsnetzwerks, welches relevante Stimuli entdeckt und signalisiert, dass eine momentan ausgeführte Aufgabe abgebrochen werden muss. Darüber hinaus zeigen Patientenstudien, dass Aufgabenwechselkosten im Verhalten mit der Größe einer Läsion im rechten inferioren frontalen Cortex zunehmen (Aron et al., 2004b), was für eine verringerte Inhibition irrelevanter Task Sets oder Reaktionen spricht. Die in Experiment 6 gefundenen rechtslateralisierten Aktivierungen im inferioren frontalen Cortex scheinen somit das Korrelat einer Hemmung der durch den inkongruenten Prime falsch aktivierten S-R Regel (z.B. weiblich – links drücken, männlich – rechts drücken) oder des gesamten Task Sets zu sein.

Im Parietallappen finden wir ähnlich wie im Experiment 5 auch in der vorliegenden Studie eine Aktivierung im SIP. Dem SIP wird insbesondere eine Bedeutung für das zur Verfügung stellen von relevanten S-R Regeln, die für die Ausführung einer Aufgabe notwendig sind, zugeschrieben (Brass & von Cramon, 2004a; Bunge et al., 2002). Die verstärkte Aktivierung im SIP könnte somit zeigen, dass in inkongruenten Durchgängen die S-R Regeln für zwei verschiedene Aufgaben (Gesichter- und Szenenaufgabe) aktiviert wurden. Die Auswahl der korrekten S-R Regel (z.B. weiblich – links drücken und männlich – rechts drücken in der Gesichteraufgabe) könnte dabei von frontalen Arealen gesteuert werden. Dafür spricht, dass in inkongruenten Durchgängen eine stärkere Aktivierung im medGFS gefunden wurde, dem eine Rolle bei der Implementierung oder Änderung von Task Sets zugeschrieben wird (Brass & von Cramon, 2002; Nee, Kastner & Brown, 2011; Rushworth, Walton, Kennerley & Bannerman, 2004). Brass und von Cramon (2002) beispielsweise interpretieren die medGFS Aktivierung in ihrer Aufgabenwechselstudie als Korrelat der Implementierung des neuen Task Sets auf einer höheren motorischen Kontrollstufe. Auch Dosenbach und Kollegen (2006) sehen im medGFS zusammen mit der anterioren Insula das Kernsystem für die Implementierung von Task Sets.

Des Weiteren zeigte sich ein signifikanter Effekt im rechten LPI. Da dem LPI unter anderem eine Bedeutung für die Zuweisung von visueller Aufmerksamkeit zugeschrieben wird (Coull & Nobre, 1998; Coul, Frith, Büchel & Nobre, 2000; Wojciulik & Kanwisher, 1999), könnte dieser Befund die Loslösung von dem durch den Prime angekündigten Stimulusmerkmal hin zu dem durch das vom Hinweisreiz angekündigte Stimulusmerkmal widerspiegeln. Dafür spricht, dass die Zuweisung visueller Aufmerksamkeit durch den LPI nicht nur auf die räumliche Domäne beschränkt ist (Hussain & Nachev, 2007), sondern auch die Loslösung der Aufmerksamkeit von einem Stimulus oder Stimulusmerkmal und der Verschiebung zu einem anderen Stimulus/-merkmal betrifft (Kihara et al, 2009; Corbetta, Patel & Shulman, 2008). Auch dem Precuneus, für den rechts ein Interaktionseffekt gefunden wurde, wurde nicht nur eine Rolle für die Verschiebung der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit, sondern auch für die Verschiebung der Aufmerksamkeit zwischen verschiedenen Objektmerkmalen zugeschrieben (Cavanna & Trimble, 2006; Nagahama et al., 1999).

Die Effekte in den beschriebenen fronto-parietalen Arealen sprechen dafür, dass der Prime das mit ihm assoziierte Task Set aktiviert (SIP) und damit einen Einfluss auf die *Aufgabenauswahl* hat. In inkongruenten Durchgängen könnte eine Hemmung und Aktualisierung (inferiorer frontaler Cortex, medGFS) der fälschlicherweise aktivierten Aufgabenparameter (z.B. S-R Regel) sowie eine Reorientierung der Aufmerksamkeit hin zu relevanten Stimulusmerkmalen (LPI, Precuneus) erfolgen.

Entgegen unserer Hypothese beobachteten wir im LPFC keinen Interaktionseffekt. Die Vermutung, dass der LPFC in inkongruenten Durchgängen eine entscheidende Kontrollfunktion übernimmt, hat sich somit nicht bestätigt. Entgegen früheren Annahmen, dass der LPFC die einzige und wichtigste exekutive Kontrollinstanz darstellt (Mac Donald et al., 2000; Miller & Cohen, 2001), haben aktuellere fMRT Studien gezeigt, dass auch andere frontale, präfrontale, mediale und parietale Hirnregionen an top-down gesteuerten Kontrollprozessen beteiligt sind (Braver et al., 2003; Cole & Schneider, 2007; Crone et al., 2006; Fan et al., 2005; Fincham & Anderson, 2006; Fincham et al., 2002; Sakai & Passingham, 2006). Dosenbach und Kollegen (2002) betonen, dass der PFC nur bei bestimmten Aufgaben rekrutiert wird. Zudem führen verschiedene Arten von Konflikten zur Aktivierung unterschiedlicher Areale (Egner, Delano & Hirsch, 2007; Kim, Chung & Kim, 2010). So konnten Kim und Kollegen (2010) in einer Variante des Stroop-

Paradigmas zeigen, dass der LPFC in Interaktion mit dem ACC bei Reaktionskonflikten nicht hingegen bei perzeptuellen Konflikten aktiviert wird. Des Weiteren könnte in der vorliegenden Studie für die Lösung eines Reaktionskonflikts und damit das Stoppen einer einmal aktivierten und gegebenenfalls bereits initiierten Reaktion (Antwort-Priming) eine stärkere kognitive Kontrolle notwendig gewesen sein. Dafür spricht der stärkere Priming Effekt auf Verhaltensebene im Antwort-Priming Experiment (109 ms bei langem SOA) verglichen mit dem Aufgaben-Priming Experiment (37 ms bei langem SOA). Unterstützt wird diese Vermutung durch die Studie von Lau und Passingham (2007), in der sich zwar eine Aktivierung im LPFC zeigte, wenn eine Aufgaben inkorrekt durch einen Prime angekündigt wurde. Dieser Effekt war jedoch begleitet von einem ausgeprägten Priming Effekt in den Verhaltensdaten (106 ms in den RTn und 17% in den Fehlerraten). Somit könnte ein verstärkter Aufgabenkonflikt auch mit einem Effekt im LPFC einhergehen.

Kongruent > Inkongruent. Im Vergleich zu inkongruenten führten kongruente Primes zu keiner Aktivierung spezifischer Hirnareale. Dieses Ergebnis zeigt jedoch nicht zwangsläufig, dass der Priming Effekt ausschließlich ein Effekt inkongruenter Primes ist. Es ist wahrscheinlich, dass während kongruenter Durchgänge eine Reduktion der Aktivität in den oben beschriebenen Arealen auftrat. Dies würde für eine Erleichterung der Verarbeitung durch kongruente Primes sprechen. Um diese Frage abschließend zu klären, sollten in zukünftigen Studien ergänzend neutrale Primes zur Kontrastierung der Aktivitätsmuster verwendet werden.

ROI Analysen. Um zu untersuchen, ob Primes die Verarbeitung in aufgabenspezifischen Arealen beeinflussen, wurde das Aktivierungsmuster in den gesichter- und szenenverarbeitenden Hirnarealen näher betrachtet. Dabei wurde unabhängig davon, ob das Netzwerk aufgabenrelevant oder –irrelevant war, bei langem SOA ein stärkerer Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Primes beobachtet als bei kurzem SOA. Dieses Aktivierungsmuster könnte zeigen, dass die hier untersuchten Areale nicht spezifisch für die Bearbeitung der Gesichter- bzw. Szenenaufgabe waren. Aus diesem Grund wurde überprüft, ob das entsprechende Netzwerk durch die jeweils relevante Aufgabe stärker aktiviert wurde als durch die irrelevante Aufgabe. Dabei zeigte sich für das SVN eine höhere Signaländerung, wenn die Szenenaufgabe bearbeitet werden sollte, verglichen mit den Durchgängen, in denen die Gesichteraufgabe bearbeitet wurde. Allerdings war die Signaländerung im SVN auch

während der Ausführung der Gesichteraufgabe signifikant von null verschieden (Abbildung 3.13). Dies könnte dadurch erklärt werden, dass die Versuchspersonen in jedem Durchgang sowohl das Gesicht als auch die Szene wahrgenommen haben. Im Unterschied zum SVN waren die Areale des GVN während der Bearbeitung der Gesichteraufgabe nicht stärker involviert als während der Bearbeitung der Szenenaufgabe. Dies spricht dafür, dass die Beurteilung der Gesichter für die Versuchspersonen leichter gewesen ist, als die Beurteilung der Szenen und somit ohne spezifische Aktivierung des GVN stattgefunden hat. Unterstützt wird diese Annahme durch den Befund, dass in der Gesichteraufgabe schneller reagiert werden konnte als in der Szenenaufgabe. Darüber hinaus zeigen Befunde aus anderen Studien (Epstein & Kanwisher, 1998; Turck-Brown, Scholl, Johnson & Chun, 2010), dass die FFA kein reines Gesichterareal ist, sondern auch auf Szenen reagiert. Die PPA hingegen reagiert spezifischer auf Szenen als die FFA auf Gesichter. Da das GVN während der Ausführung der Gesichteraufgabe nicht stärker rekrutiert wurde, ist ein spezifischer Effekt des Primes in diesen Arealen nicht zu erwarten. Aus diesem Grund wurde die ROI Analyse nochmals durchgeführt, wobei nur das SVN betrachtet wurde. Wenn der Hinweisreiz die Szenenaufgabe ankündigte (aufgabenrelevante Bedingung), zeigte sich kein Priming Effekt: Ein kongruenter Prime führte nicht zu einer stärkeren Aktivierung der Areale des SVN. Dies spricht gegen die Annahme, dass Primes das mit ihnen assoziierte Aufgabenareal aktivieren. Wenn der Hinweisreiz jedoch die Gesichteraufgabe ankündigte (aufgabenirrelevante Bedingung), wurde beobachtet, dass inkongruente Primes bei langem SOA zu einer stärkeren Aktivierung des SVN führten als kongruente Primes. Somit wurden – analog zum Antwort-Priming – zumindest in der aufgabenirrelevanten Bedingung Hinweise darauf gefunden, dass Primes das mit ihnen assoziierte Aufgabenareal aktivieren. Dass der fehlende Priming Effekt in der aufgabenrelevanten Bedingung aufgrund eines Deckeneffekts nicht identifiziert werden konnte (siehe Antwort-Priming), scheint dabei unwahrscheinlich. Zwar wurde das SVN stärker durch die Szenen- als durch die Gesichteraufgabe aktiviert, dennoch scheint dieser Unterschied deskriptiv nicht so bedeutend zu sein, dass eine Prime induzierte Aktivitätsveränderung ausschließlich in der aufgabenirrelevanten Bedingung sichtbar wird. Abschließend bleibt somit unklar, warum sich ein Priming Effekt nur in der aufgabenirrelevanten Bedingung zeigte. Insgesamt sprechen die Daten jedoch dafür, dass die Wahl der Aufgaben nicht optimal war, um

Priming Effekte in spezifischen Hirnarealen zu untersuchen. Zum einen wäre es möglich, dass der Priming Effekt auf Verhaltensebene zu gering gewesen ist, um stabile Priming Effekte in aufgabenspezifischen Hirnarealen zu identifizieren. Zum anderen sollten Aufgaben gewählt werden, an deren Verarbeitung vollkommen distinkte Hirnareale beteiligt sind (siehe Lau & Passingham, 2007). Hinzu kommt, dass eine begrenzte Anzahl an Gesichter bzw. Szenen Stimuli (jeweils vier) verwendet und die Aufgaben in drei Sitzungen intensiv geübt wurden. Dies könnte zu einer Automatisierung und damit Verminderung einer aufgabenspezifischen Aktivierung in den entsprechenden Hirnarealen geführt haben.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Hinweise auf Priming Effekte auf allen Ebenen der Informationsverarbeitung gefunden wurden. Diese Priming Effekte wurden durch das SOA moduliert und waren daher von der Prime Sichtbarkeit dissoziiert. Zum einen zeigte sich ein Effekt in frühen visuellen Arealen, der für einen Einfluss auf die *perzeptuelle* Verarbeitung der Maske spricht. Des Weiteren fand sich ein Effekt in verschiedenen fronto-parietalen Arealen, welche mit dem Netzwerk vergleichbar sind, das in Studien zum Aufgabenwechsel identifiziert wurde. Dies ist ein Hinweis darauf, dass Primes das mit ihnen assoziierte Task Set aktivieren. Somit sind in inkongruenten Durchgängen (Prime aktiviert inkorrektes Task Set) Prozesse notwendig, die Parallelen zu den beim Aufgabenwechsel involvierten Prozessen aufweisen. So könnte in inferioren frontalen Arealen eine Hemmung des aktivierten Task Sets und eine Aktualisierung der Aufgabenrepräsentation stattfinden, während parietale Areale unter Kontrolle des medGFS die zugrunde liegende S-R Regel liefern. Diese Befunde sprechen dafür, dass der Prime den Prozess der *Aufgabenauswahl* beeinflusst. Hinweise darauf, dass der Prime nicht nur das Task Set, sondern auch die für die *Ausführung der Aufgabe* relevanten Areale aktiviert, wurden zumindest für die Szenenaufgabe gefunden.

3.3 Vergleich Antwort-Priming und Aufgaben-Priming

Ziel der Experimente 5 und 6 war es zum einen, die neuronalen Korrelate zu beschreiben, die Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten zugrunde liegen. Darüber hinaus sollten gemeinsame Mechanismen identifiziert werden. Aus diesem Grund wurden beide Experimente so konzipiert, dass sie sich ausschließlich hinsichtlich der

auszuführenden Aufgabe unterschieden. Die Stimuli, deren zeitliche Abfolge sowie alle MRT-Parameter wurden jedoch konstant gehalten. Aufgrund der ähnlichen Eigenschaften von Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten im Verhaltensmaß (Mattler, 2003, 2005) wurde vermutet, dass beiden ähnliche Mechanismen zugrunde liegen. Dabei lassen sich folgende Annahmen spezifizieren: (1) In beiden Experimenten wurde ein Effekt in den gleichen visuellen Hirnarealen erwartet. (2) Darüber hinaus sollte der Konflikt in inkongruenten Durchgängen sowohl beim Antwort-Priming als auch beim Aufgaben-Priming zu einer vergleichbaren Aktivierung von zentralen Kontrollarealen im lateralen und medialen PFC führen. (3) Schließlich wurde angenommen, dass Primes in beiden Fällen die spezifischen postzentralen Areale aktivieren.

3.3.1 Methode

Um gemeinsame neuronale Korrelate von Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten zu identifizieren, wurde für alle Kontraste der Einzelexperimente eine Konjunktions-Analyse gerechnet. Eine Konjunktions-Analyse überprüft, in welchen Hirnarealen die Effekte von zwei verschiedenen Kontrasten räumlich überlappen. Dabei wurde die von Nichols und Kollegen (Nichols, Brett, Andersson, Wager & Poline, 2005) vorgeschlagene Methode verwendet (Conjunction Null), bei der einem Voxel eine gemeinsame Aktivierung zugeschrieben wird, wenn dieser in beiden Einzelkontrasten unter einer angegebenen Schwelle signifikant aktiv ist. Diese Methode ist valide unter jeder Art der Abhängigkeit in den Daten (Nichols et al., 2005). In der vorliegenden Untersuchung wurde eine Schwelle von $p < .001$ (unkorrigiert, $k > 20$) gewählt.

3.3.2 Ergebnisse

Inkongruent > Kongruent. Bei *kurzem SOA* wurden keine überlappenden Aktivierungsunterschiede gefunden. Bei *langem SOA* zeigten sich *frontal* und *parietal* gemeinsame Effekte im GFI (BA 44/45, rechts), in der anterioren Insula (bilateral), im LPI (BA 40, bilateral) und im SIP (bilateral) (Tabelle 7, Anhang II).

In der Konjunktions-Analyse über die *Interaktionskontraste* wurden gemeinsame Effekte hauptsächlich im rechten *Frontal-* und *Parietallappen* gefunden: GFI (BA 44,

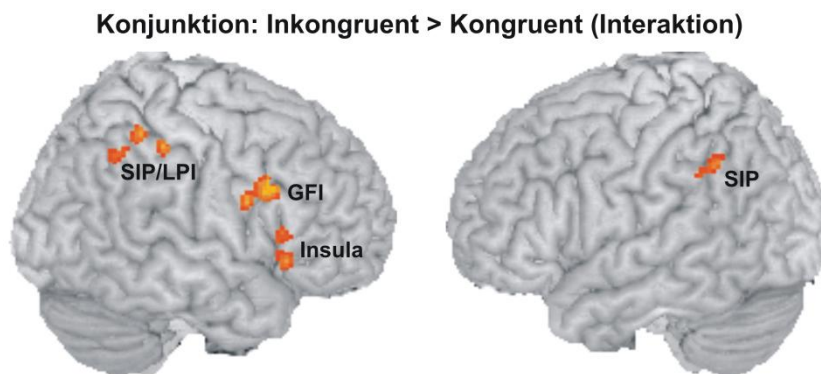


Abb. 3.15 Ergebnisse der Konjunktion über die *Interaktionskontraste SOA x Kongruenz*. Areale, die sowohl beim Antwort- als auch beim Aufgaben-Priming bei langem SOA einen stärkeren Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen zeigen als bei kurzem SOA (Konjunktions-Analyse; $p < .001$, unkorrigiert, $k > 20$). Abkürzungen: GFI – Gyrus frontalis inferior; LPI – Lobulus parietalis inferior; SIP – Sulcus intraparietalis.

rechts), anteriore Insula (rechts) und LPI (BA 40, rechts). Bilateral zeigte sich eine überlappende Aktivierung im SIP (Abbildung 3.15; Tabelle 8, Anhang II).

Neben diesen Überlappungen wurden jedoch auch erhebliche Unterschiede zwischen dem Aktivierungsmuster beim Antwort- und dem beim Aufgaben-Priming beobachtet (Abbildung 3.16). Auf die wichtigsten Unterschiede soll im Folgenden kurz eingegangen werden. So zeigten sich zwar in beiden Experimenten Effekte in primären und sekundären visuellen Arealen (BA17/18), jedoch überlappten diese räumlich nicht. Beim Aufgaben-Priming wurden zusätzlich Effekte in höheren visuellen Arealen im Bereich des GF, GL und GTM (MT) gefunden. Weiterhin zeigte sich im Antwort-Priming medial ein Effekt in der präSMA/SMA (BA 6) und im ACC, wobei beim Aufgaben-Priming eine Region im medGFS (BA 8) aktiviert war, die dorsal vom ACC und anterior der präSMA/SMA Aktivierung lag. Darüber hinaus wurde ausschließlich beim Antwort-Priming ein Effekt im LPFC beobachtet. Zudem zeigte sich beim Aufgaben-Priming eine stärkere Rechtslateralisierung der frontalen und parietalen Aktivierungen (GFI, GFM, Insula, SIP). Nur im Antwort-Priming wurden Effekte im prämotorischen Cortex (bilateral, BA 6) und in verschiedenen subkortikalen Regionen (Thalamus, Putamen, Substantia nigra) beobachtet, die in motorische Regelkreise involviert sind.¹⁰

Kongruent < Inkongruent. Es wurden keine gemeinsamen Aktivierungsunterschiede gefunden.

¹⁰ Da in den Analysen des Experiments 5 eine FDR korrigierte Schwelle verwendet wurde, wurden diese Areale dort nicht signifikant.

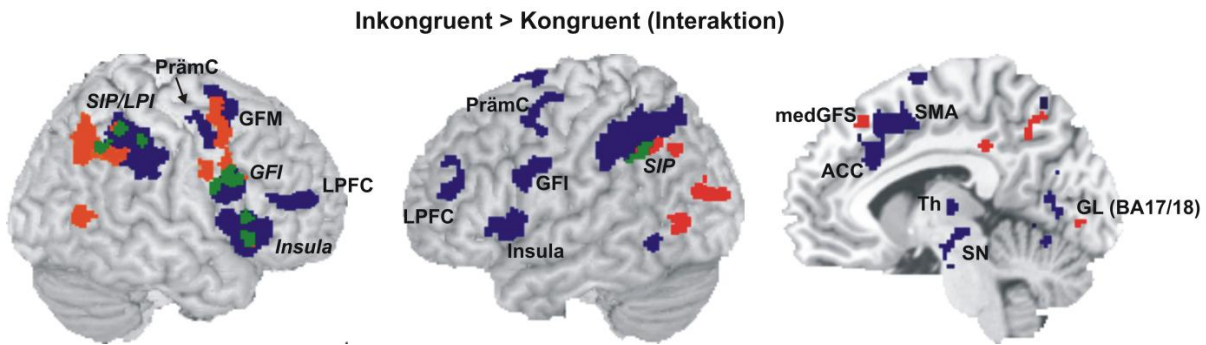


Abb. 3.16 Areale, die bei langem SOA einen stärkeren Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen zeigten als bei kurzem SOA ($p < .001$, unkorrigiert, $k > 20$). In blau dargestellt sind die Ergebnisse des Interaktionskontrastes in Experiment 5 (Antwort-Priming), in rot die Ergebnisse des Interaktionskontrastes in Experiment 6 (Aufgaben-Priming). In grün und kursiv ist das Ergebnis der Konjunktions-Analyse und somit die Überlappung der Effekte dargestellt. Beschriftet sind die wichtigsten Areale. Abkürzungen: ACC – anteriorer cingulärer Cortex; GL – Gyrus lingualis; GFI – Gyrus frontalis inferior; GFM – Gyrus frontalis medius; LPFC – lateraler präfrontaler Cortex; LPI – Lobulus parietalis inferior; medGFS – medialer Gyrus frontalis superior; PrämC – Prämotorischer Cortex; SIP – Sulcus intraparietalis; SMA – supplementär motorische Area; SN – Substantia nigra; Th – Thalamus.

3.3.3 Diskussion

Um Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den neuronalen Korrelaten von Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten zu identifizieren, wurden die Ergebnisse beider Experimente miteinander verglichen. Dabei wurde angenommen, dass beiden Priming-Arten ein ähnlicher Mechanismus zugrunde liegt und daher vergleichbare neuronale Netzwerke involviert sind. In beiden Experimenten wurden Priming Effekte in visuellen Hirnregionen gefunden. Diese umfassten primäre und sekundäre visuelle Areale (BA17/18), die in der Konjunktions-Analyse räumlich jedoch nicht überlappten. Die fehlende räumliche Überlappung könnte dadurch erklärt werden, dass in beiden Experimenten unterschiedliche Versuchspersonen untersucht wurden. So konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden, dass sich der primäre (BA17) und sekundäre (BA18) visuelle Cortex hinsichtlich Oberflächengröße und Volumen zwischen Versuchspersonen stark unterscheiden (Dougherty et al., 2003; Schwarzkopf, Song & Rees, 2011). Eine fehlende Überlappung muss somit nicht zwangsläufig bedeuten, dass es sich nicht um dieselben Areale handelt. Vielmehr könnte ebenso die interindividuelle Variabilität verantwortlich für die unterschiedliche räumliche Lage der Effekte sein. Darüber hinaus könnten die Unterschiede durch die verschiedenen Aufgaben und die damit verbundenen Anforderungen an die visuelle Aufmerksamkeit und Stimulusverarbeitung erklärt werden. So wird beim Antwort-Priming die Aufmerksamkeit

vollständig auf Prime und Maske gelenkt. Der Gesichter/Szenen Stimulus wurde zwar präsentiert, war jedoch für die Bearbeitung der Aufgabe irrelevant und konnte ignoriert werden. Beim Aufgaben-Priming hingegen müssen nicht nur Prime und Maske, sondern auch der Gesichter/Szenen Stimulus visuell analysiert werden. Somit muss die visuelle Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum aufrecht erhalten werden. Aus diesem Grund unterscheiden sich die Aufmerksamkeitsbedingungen zwischen beiden Priming-Paradigmen. Dass Aufmerksamkeit die frühe visuelle Verarbeitung im primären visuellen Cortex beeinflussen kann, wurde bereits in verschiedenen Studien gezeigt (Gilbert, Ito, Kapadia & Westheimer, 2000; Lamme & Spekreijse, 2000; Payne & Allen, 2010). Die interindividuelle neuroanatomische Variabilität und die unterschiedlichen Aufgabenanforderungen könnten somit dafür verantwortlich sein, dass in primären bzw. sekundären visuellen Arealen keine überlappenden Effekte gefunden wurden. Entscheidend ist jedoch, dass der Effekt in beiden Experimenten BA17 und BA18 zugeordnet werden konnte. Das spricht dafür, dass Prime und Maske sowohl beim Antwort- als auch beim Aufgaben-Priming auf frühen *perzeptuellen* Ebenen der Informationsverarbeitung interagieren. Des Weiteren zeigten sich beim Aufgaben-Priming zusätzlich Effekte in höheren visuellen Arealen (in der Nähe der PPA), die beim Antwort-Priming nicht beobachtet wurden. Diese Areale sind auch an der Verarbeitung von Gesichtern und visuellen Szenen beteiligt. Somit könnten die Effekte in späteren Arealen in Zusammenhang mit der Verarbeitung des Gesichter-/Szenenstimulus stehen, der ausschließlich beim Aufgaben-Priming beurteilt werden musste.

In zentralen Kontrollarealen (medialer PFC und LPFC) zeigten sich keine gemeinsamen Effekte. Während beim Antwort-Priming medial ein Effekt im ACC gefunden wurde, zeigte sich der Effekt beim Aufgaben-Priming in einem weiter dorsal und posterior gelegenen Areal (medGFS, BA 8). Da in verschiedenen Studien gezeigt werden konnte, dass der mediale PFC kein homologes Areal mit einer einheitlichen Kontrollfunktion ist (Nee et al. 2010; Rushworth et al., 2004), sind diese Unterschiede nicht überraschend. Sie sprechen vielmehr dafür, dass in beiden Experimenten in inkongruenten Durchgängen unterschiedliche Konflikte induziert wurden. So wurde eine ACC Aktivierung in verschiedenen Studien mit der Entdeckung eines Reaktionskonfliktes in Verbindung gebracht (Kerns et al., 2004; Botvinick et al., 2001; Gehring & Fencsik, 2001). Dem medGFS wurde hingegen eher eine Funktion für die Auswahl des korrekten

Task Sets und der darin enthaltenen S-R Regeln während eines Aufgabenwechsels zugeschrieben (Nee et al. 2010; Rushworth et al., 2004; Brass & von Cramon, 2002). Des Weiteren wurde ausschließlich beim Antwort-Priming ein Effekt im LPFC gefunden. Auch dies könnte zum einen dadurch erklärt werden, dass verschiedene Arten von Konflikten zur Aktivierung unterschiedlicher Areale führen (Egner et al., 2007; Kim et al., 2010). Der LPFC wird dabei in Interaktion mit dem ACC eher bei Reaktionskonflikten aktiviert (Kim et al., 2010). Zum anderen könnte der durch inkongruente Primes ausgelöste Reaktionskonflikt stärker sein als der durch inkongruente Primes ausgelöste Aufgabenkonflikt. Damit wäre zur Konfliktlösung und Ausführung der korrekten motorischen Reaktion eine höhere kognitive Kontrolle notwendig. Diese Annahme wird unterstützt durch die Verhaltenseffekte, für die bei langem SOA ein mehr als dreifach so großer Antwort-Priming Effekt (109 ms) als Aufgaben-Priming Effekt (37 ms) beobachtet wurde.

Gemeinsamkeiten wurden in anderen frontalen und parietalen Hirnregionen beobachtet. Dies betrifft zum einen den rechten GFI (BA 44), den rechten GFM, die rechte anteriore Insula und den rechten LPI. Diese Areale sind Teil eines bereits beschriebenen rechtslateralisierten ventralen Aufmerksamkeitsnetzwerks (Corbetta & Shulman, 2002; Corbetta et al., 2008). Dieses Netzwerk soll relevante Stimuli entdecken und signalisieren, dass eine momentan ausgeführte Aufgabe abgebrochen werden muss. Darüber hinaus wurde dem rechten inferioren frontalen Cortex (GFI und anteriore Insula) eine inhibitorische Funktion zugeschrieben. Diese Inhibition betrifft dabei nicht nur unangemessene Reaktionen (Aarts et al., 2009; Konishi et al., 1998; Mattler et al., 2006; Menon et al., 2001; Rubia et al., 2001; Xue et al., 2008;), sondern auch die Hemmung von irrelevanten Stimulusmerkmalen (Hedden & Gabrieli, 2010) oder Task Sets (Aaron et al., 2004a; Aarts et al., 2009; Brass & von Cramon, 2004a; Mattler et al., 2006). Des Weiteren zeigte sich ein ausgeprägter überlappender Effekt im SIP (bilateral), welcher insbesondere mit der Spezifikation von S-R Assoziationen in Verbindung gebracht wird (Brass & von Cramon, 2004a; Bunge et al., 2002). Der SIP stellt dabei nicht nur die passenden S-R Assoziationen in einfachen Diskriminationsaufgaben zur Verfügung (Brass & von Cramon, 2002, 2004a, 2004b; Bunge et al., 2002), sondern scheint auch beim Wechsel zwischen Aufgabenregeln involviert zu sein (Crone et al., 2006). Er wird auch als Teil eines bilateralen dorsalen Aufmerksamkeitsnetzwerks gesehen (Corbetta et al., 2008),

welches mit dem oben erwähnten ventralen Aufmerksamkeitsnetzwerk (Corbetta & Shulman, 2002; Corbetta et al., 2008) interagiert. Es ist an der zielgerichteten Auswahl von Stimuli beteiligt und verknüpft diese Stimuli mit angemessenen Reaktionen.

In beiden Experimenten finden sich somit überlappende Aktivierungen in fronto-parietalen Arealen. Der inferiore frontale Cortex scheint daran beteiligt zu sein, die Aufgabe zu aktualisieren und die durch einen inkongruenten Prime initiierten Prozesse abzurechnen. Beim Antwort-Priming betrifft dies die falsch aktivierten Reaktionsparameter, beim Aufgaben-Priming die inkorrekt aktivierte S-R Regel oder das gesamte Task-Set. Die inhibitorische Funktion des inferioren frontalen Cortex scheint dabei unabhängig von der Art des zu hemmenden Prozesses zu sein. Im SIP könnte die Neuspezifikation der Aufgabenparameter erfolgen, wobei insbesondere die relevanten S-R Assoziationen bzw. S-R Regeln zur Verfügung gestellt werden müssen.

Zudem wurden in beiden Experimenten Hinweise auf einen Effekt des Primes in reaktions- bzw. aufgabenspezifischen Hirnarealen gefunden. Dabei zeigten sich Priming Effekte jedoch nur in den irrelevanten reaktions- bzw. aufgabenspezifischen Arealen. Wie bereits erwähnt, wäre es beim Antwort-Priming möglich, dass der Effekt des Primes im reaktionsrelevanten motorischen Cortex aufgrund eines Deckeneffekts nicht identifiziert werden konnte. So könnte der motorische Cortex bereits so stark durch den Zielreiz und die abgegebene Reaktion aktiviert worden sein, dass eine zusätzliche Prime induzierte Aktivitätserhöhung nicht mehr sichtbar wird. Für das Aufgaben-Priming scheint diese Erklärung jedoch unwahrscheinlich. So war die Aktivität des SVN sowohl in der relevanten als auch in der irrelevanten Bedingung deutlich von null verschieden. Dabei zeigte sich zumindest deskriptiv kein so starker Aktivitätsunterschied, der eine ausschließlich in der aufgabenirrelevanten Bedingung stattfindende Prime induzierte Aktivitätsveränderung erklären könnte. Des Weiteren muss erwähnt werden, dass beim Aufgaben-Priming nur ein Effekt in szenenverarbeitenden Hirnarealen gefunden wurde.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in der Konjunktions-Analyse keine gemeinsamen Effekte in visuellen Arealen gefunden wurden. Dennoch sprechen die Daten dafür, dass die *perzeptuelle* Verarbeitung der Maske sowohl beim Antwort-Priming als auch beim Aufgaben-Priming von der vorherigen Präsentation des Primes beeinflusst wird. Bei beiden Priming-Arten fanden sich Effekte in frühen visuellen Arealen, auch wenn diese – möglicherweise aus den diskutierten Gründen – räumlich nicht überlappten.

Darüber hinaus scheint der Prime in beiden Paradigmen einen Konflikt zu induzieren, wobei sich auch dies in der Aktivierung unterschiedlicher Hirnareale zeigte. Beim Antwort-Priming scheint die Konfliktverarbeitung eher im ACC und LPFC stattzufinden, während der Aufgabenkonflikt den medGFS aktiviert. Dies spricht dafür, dass in beiden Fällen unterschiedliche Arten von Konflikten (Reaktionskonflikt vs. Aufgabenkonflikt) zu lösen sind. Die überlappenden Effekte im SIP deuten darauf hin, dass die mit dem Prime assoziierte S-R Assoziation (Antwort-Priming) bzw. S-R Regel des entsprechenden Task Sets (Aufgaben-Priming) aktiviert wurde. Die Folge könnte eine Unterdrückung irrelevanter Reaktions- bzw. Aufgabenparameter durch den inferioren frontalen Cortex sein. Diese Befunde sprechen dafür, dass der Prime den Prozess der *Reaktions- bzw. Aufgabenauswahl* beeinflusst. In beiden Experimenten wurden Hinweise darauf gefunden, dass die Versuchspersonen tatsächlich in die *Ausführung der alternativen Reaktion bzw. Aufgabe* involviert waren, wobei sich der Effekt im Aufgaben-Priming nur in szenenverarbeitenden Hirnarealen zeigte.

4 Allgemeine Diskussion

Gegenstand der vorliegenden Arbeit war es, die Mechanismen zu identifizieren, die den Effekten maskierter visueller Stimuli im Antwort- und Aufgaben-Priming Paradigma zugrunde liegen. Dabei sollte auch die Frage geklärt werden, ob gemeinsame Prozesse an der Entstehung dieser Priming Effekte beteiligt sind. Dazu wurden sowohl Verhaltensexperimente als auch kernspintomographische Untersuchungen durchgeführt. Im Folgenden werden zunächst die experimentellen Befunde hinsichtlich des Lokus des Antwort-Priming Effekts zusammengefasst. Anschließend wird ein Modell vorgestellt, welches die dem Antwort-Priming Effekt zugrunde liegenden Mechanismen beschreibt. Analog wird mit den Befunden zum Aufgaben-Priming verfahren. Danach werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede und die Unabhängigkeit beider Effekte von der Prime Sichtbarkeit diskutiert. Die Arbeit endet mit einem Fazit und Ausblick.

4.1 Antwort-Priming Effekt

4.1.1 Lokus des Antwort-Priming Effekts

In den Experimenten 1 – 3 wurde das PRP Paradigma verwendet, um Antwort-Priming Effekte zu lokalisieren. Dabei zeigte sich, dass der Priming Effekt vollständig (Experiment 1) oder teilweise (Experiment 2) in die Warteperiode absorbiert wurde. Dies spricht für eine perzeptuelle Quelle des Antwort-Priming Effekts. Da im zweiten Experiment jedoch auch bei kurzem SOA ein signifikanter Priming Effekt beobachtet wurde, scheinen neben perzeptuellen auch zentrale Reaktionsauswahl- und/oder postzentrale motorische Prozesse an der Entstehung des Effekts beteiligt zu sein. Um genauer zwischen diesen späten Anteilen zu differenzieren, wurde Experiment 3 durchgeführt, in dem bei kurzem SOA eine vollständige Übertragung des Priming Effekts von der visuellen auf die auditorische Aufgabe stattfand. Dieses Resultat ist ein Beleg für einen Priming Effekt auf perzeptueller und/oder zentraler Ebene der Reaktionsauswahl. Zusammen mit den Ergebnissen aus Experiment 2 spricht dieser Befund dafür, dass der Prime einen Einfluss auf die frühe *perzeptuelle* Verarbeitung und auf *zentrale Reaktionsauswahlprozesse* hat. Hinweise auf einen Effekt auf die postzentrale motorische Verarbeitung wurden nicht gefunden.

Ergänzt wurden diese Untersuchungen durch Experiment 5, in dem die neuronalen Korrelate von Antwort-Priming Effekten identifiziert wurden. Auch hier konnte gezeigt werden, dass der Prime die frühe *perzeptuelle* Verarbeitung zu beeinflussen scheint (BA 17/18). Ebenso wurden Belege für einen Priming Effekt auf die *Reaktionsauswahl* gefunden. Dafür sprechen die Effekte in folgenden Arealen: SIP, SMA, GFI, anteriore Insula, ACC und LPFC. Besonders hervorgehoben werden soll an dieser Stelle der Effekt im ACC. Zum jetzigen Zeitpunkt sind keine Studien bekannt, die zeigen, dass dieser durch unbewusste Konflikte aktiviert werden kann. Vielmehr behaupteten Dehaene und Kollegen (2003), dass der ACC nur dann in die Konfliktverarbeitung involviert ist, wenn der Konflikt durch bewusst wahrgenommene Stimuli induziert wird. Im Gegensatz dazu zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Studie jedoch, dass von der Sichtbarkeit dissoziierte Priming Effekte im ACC auftreten können. Dieser Befund spricht dafür, dass der ACC konflikthafte Informationen unabhängig von deren Bewusstheit verarbeitet. Darüber hinaus wurde im Unterschied zu den Verhaltensexperimenten ein Priming Effekt im *motorischen* System beobachtet. Dabei zeigte sich in den ROI Analysen im primären motorischen Cortex eine stärkere Lateralisierung der motorischen Aktivierung in kongruenten verglichen mit inkongruenten Durchgängen. Die Befunde sprechen weiterhin dafür, dass inkongruente Primes die mit ihnen assoziierte motorische Reaktion aktivieren. In kongruenten Durchgängen, scheint hingegen eine Hemmung des für die erforderte Reaktion irrelevanten motorischen Cortex stattzufinden. Auf den ersten Blick scheinen diese fMRT Befunde den Ergebnissen aus den Verhaltensexperimenten zu widersprechen, in denen wir keinen Hinweis auf einen Priming Effekt im motorischen System fanden. Andererseits bedeutet das Vorhandensein eines Priming Effekts auf neuronaler Ebene nicht, dass sich dieser Priming Effekt auch in den RTn wiederfindet. Für ein Fehlen von Priming Effekten in RTn bei gleichzeitigem Vorhandensein von Priming Effekten in elektrophysiologischen Maßen sprechen Untersuchungen zum semantischen Priming (Heil & Rolke, 2004; Marie-Beffa, Valdes, Cullen, Catena & Houghton, 2005; Vogel, Luck & Shapiro, 1998). So könnte der funktionelle Effekt im motorischen System ein Sekundäreffekt sein. Denkbar wäre, dass Primes die mit ihnen assoziierte motorische Reaktion nicht unmittelbar aktivieren, sondern der Effekt von vorangegangenen Verarbeitungsstufen an die Motorik weitergeleitet bzw. übertragen wird. Er könnte

beispielsweise eine Folge des Einflusses der Primes auf den Reaktionsauswahlprozess sein.

Insgesamt war der Priming Effekt in Arealen, die an der Auswahl der korrekten motorischen Reaktion beteiligt sind, besonders deutlich ausgeprägt. Verglichen mit den Ergebnissen aus den Verhaltensexperimenten (Experiment 1 und 2) ist dies überraschend, weil sich hier ein besonders starker perzeptueller Anteil zeigte. Für den in den fMRT Daten eher geringen perzeptuellen Effekt könnten jedoch die bereits diskutierten interindividuellen Unterschiede im primären und sekundären visuellen Cortex hinsichtlich Oberflächengröße und Volumen verantwortlich sein (Dougherty et al., 2003; Schwarzkopf, Song & Rees, 2011). Alle beschriebenen neuronalen Priming Effekte waren dabei, analog zu den Verhaltenseffekten, von der Prime Sichtbarkeit dissoziiert.

Die Ergebnisse der Verhaltens- und fMRT-Experimente sprechen somit für einen Priming Effekt auf allen Ebenen der Informationsverarbeitung. Sie stehen in Einklang mit Untersuchungen, die Hinweise auf Priming Effekte im visuellen System fanden und darüber hinaus zeigten, dass auch nicht-perzeptuelle Prozesse an der Entstehung des Antwort-Priming Effekts beteiligt sein könnten (Bodner & Dypvik, 2005; Deahene et al. 2001, 2004; Mattler, 2006). Dabei wurden erstmals Belege für einen Priming Effekt auf allen drei Ebenen der Informationsverarbeitung gefunden. Die Hinweise für einen Effekt auf die perzeptuelle Analyse (Experimente 1 und 2) und auf die Reaktionsauswahl (Experiment 5) waren jedoch besonders deutlich. Im folgenden Abschnitt werden mögliche Mechanismen des Antwort-Priming Effekts anhand eines Modells konkret erläutert.

4.1.2 Mögliche Mechanismen des Antwort-Priming Effekts

Im Folgenden wird ein Modell vorgestellt, welches die Mechanismen beschreibt, die dem Antwort-Priming Effekt zugrunde liegen könnten (Abbildung 4.1). Das Modell geht davon aus, dass drei Prozesse an der Stimulusverarbeitung beteiligt sind. Es wäre denkbar, dass der Prime zunächst die perzeptuelle Analyse der Maske beeinflusst: Kongruente Primes aktivieren die korrekte visuelle Repräsentation und Erleichtern damit die visuelle Enkodierung der Maske. Inkongruente Primes hingegen aktivieren die inkorrekte visuelle Repräsentation und führen dadurch zu einer Erschwerung der visuellen Enkodierung der Maske. Des Weiteren könnte der Prime den Entscheidungsprozess für eine motorische

Reaktion (Reaktionsauswahl) beeinflussen, indem er den mit ihm assoziierten Reaktionsparameter im parietalen Cortex (SIP) aktiviert. Dabei könnten kongruente Primes die korrekte S-R Assoziation aktivieren, so dass keine weiteren Kontrollprozesse notwendig sind. Inkongruente Primes hingegen könnten die alternative S-R Assoziation aktivieren, so dass Prime und Maske unterschiedliche Reaktionsparameter aktivieren. Dadurch könnte auf der zentralen Stufe der Entscheidung ein Konflikt entstehen. Dieser Reaktionskonflikt könnte vom ACC detektiert werden, woraufhin der LPFC rekrutiert wird. Dieser initiiert möglicherweise Kontrollprozesse, die in der Unterdrückung der inkorrekten S-R Assoziation bestehen könnten (inferiorer frontaler Cortex, SMA). Darüber hinaus sprechen die Daten für eine Aktivierung der mit dem Prime assoziierten motorischen Reaktion im primären motorischen Cortex. Diese Aktivierung könnte zum

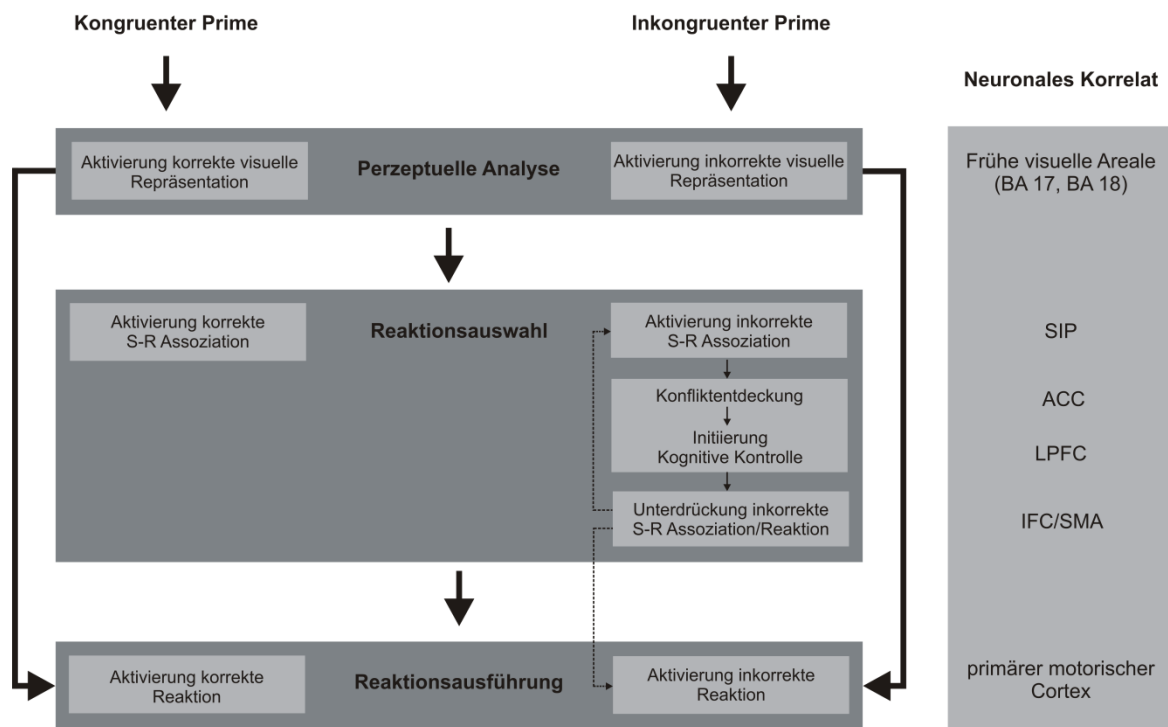


Abb. 4.1 Mögliches Modell der am Antwort-Priming Effekt beteiligten Mechanismen. Kongruente Primes könnten die perzeptuelle Analyse der Maske erleichtern, da eine Voraktivierung der entsprechenden visuellen Repräsentation stattfindet. Sie könnten weiterhin die korrekte S-R Assoziation und Reaktion aktivieren, so dass keine weiteren Kontrollprozesse notwendig werden. In inkongruenten Durchgängen wird die perzeptuelle Analyse der Maske erschwert. Der Prime aktiviert möglicherweise die inkorrekte S-R Assoziation. Die Folge wäre ein Reaktionskonflikt, der vom ACC detektiert wird. Durch den LPFC könnten Kontrollprozesse initiiert werden, die zu einer Unterdrückung inkorrektener Reaktionsparameter führen (IFC/SMA). Auch die mit ihm assoziierte motorische Reaktion könnte entweder über einen visuo-motorischen Pfad oder als Folge der Aktivierung der S-R Assoziation initiiert werden. Möglich wäre eine Hemmung dieser inkorrekten Reaktion, insbesondere durch die SMA. Abkürzungen: ACC – anteriorer cingulärer Cortex; BA – Brodman Areal; IFC – inferiorer frontaler Cortex; LPFC – lateraler präfrontaler Cortex; SIP – Sulcus intraparietalis; SMA – supplementär motorische Area

einen durch einen direkten visuo-motorischen Pfad erfolgen (Neumann & Klotz, 1994; Mattler, 2003). Zum anderen wäre es möglich, dass unmittelbar nach der Aktivierung der Reaktionsparameter während der Reaktionsauswahl, die entsprechende motorische Reaktion im primären motorischen Cortex aktiviert wird. In inkongruenten Durchgängen könnte somit - noch bevor der Konflikt auf Entscheidungsebene gelöst ist - die inkorrekte Reaktion im motorischen Cortex aktiviert werden. Auch hier könnten die Kontrollprozesse greifen, die auf zentraler Stufe initiiert wurden. So wäre es denkbar, dass die durch einen inkorrekten Prime aktivierte motorische Reaktion unterdrückt wird. In diesen Prozess könnte insbesondere die SMA involviert sein. Ob der Priming Effekt auf der Stufe der Reaktionsausführung maßgeblich zum Priming Effekt auf Verhaltensebene beiträgt oder als Sekundäreffekt interpretiert werden muss, kann nicht abschließend geklärt werden.

4.2 Aufgaben-Priming Effekt

4.2.1 Lokus des Aufgaben-Priming Effekts

Im Experiment 4a wurden zunächst Aufgaben-Priming Effekte mit bislang noch nicht verwendeten Aufgaben demonstriert. Dabei konnte gezeigt werden, dass diese Aufgaben-Priming Effekte von der Prime Sichtbarkeit dissoziiert sind. Im Experiment 4b wurde das Effektabsorptions-Verfahren eingesetzt, um den Aufgaben-Priming Effekt auf den verschiedenen Verarbeitungsebenen zu lokalisieren. Es wurde beobachtet, dass ein Großteil des Priming Effekts bei kurzem Ton-Prime SOA in die Warteperiode absorbiert wurde und daher *perzeptueller* Natur zu sein scheint. Da der verbliebene Priming Effekt jedoch signifikant von null verschieden war, kann darüber hinaus angenommen werden, dass auch *nicht-perzeptuelle* Prozesse an der Entstehung des Aufgaben-Priming Effekts beteiligt sind.

Unterstützt werden diese Befunde durch Experiment 6, in dem zum einen Belege für einen Priming Effekt in frühen *visuellen* Arealen (BA 17/18) gefunden wurden. Zum anderen sprechen die Ergebnisse dafür, dass Primes den zentralen Prozess der *Aufgabenauswahl* beeinflussen (SIP, rechter LPI/Prec, medGFS, rechter inferiorer frontaler Cortex), indem sie das mit ihnen assoziierte Task Set aktivieren. Darüber hinaus wurden, zumindest für die szenenverarbeitenden Areale, Hinweise darauf gefunden, dass Primes zu einer Aktivierung der mit ihnen *assoziierten Aufgabenareale* führen. Allerdings legen die Daten nahe, dass die untersuchten Aufgaben und die experimentellen

Bedingungen weniger optimal waren, um Priming Effekte in aufgabenspezifischen Hirnarealen zu identifizieren. Auch für diese neuronalen Priming Effekte wurde gezeigt, dass sie von der Prime Sichtbarkeit doppelt dissoziiert sind.

Zusammen sprechen die Daten aus den Verhaltens- und fMRT-Untersuchungen für einen Priming Effekt auf allen Ebenen der Informationsverarbeitung, wobei die Belege für einen Effekt im visuellen System und auf die Aufgabenauswahl besonders stark sind. Der Effekt der Primes in aufgabenspezifischen Arealen zeigte sich dagegen weniger deutlich. Diese Ergebnisse werden auch durch frühere Studien unterstützt (Lau & Passingham, 2007; Mattler, 2006), die Hinweise auf perzeptuelle und nicht-perzeptuelle Anteile am Aufgaben-Priming Effekt fanden. Im Unterschied zu Mattler (2006), der noch nicht zwischen den nicht-perzeptuellen Anteilen differenzieren konnte, zeigten wir im Experiment 6, dass Primes, das mit ihnen assoziierte Task Set zu aktivieren scheinen. Versuchspersonen bereiten sich somit auf die durch den Prime angekündigte Aufgabe vor, indem sie die entsprechenden S-R Regeln (SIP) aktivieren und ihre Aufmerksamkeit auf die geforderte Stimulusdimension verschieben (rLPI, Precuneus). Dieser Befund spricht dafür, dass maskierte Stimuli – unabhängig von einer bewussten Wahrnehmung – auch höhere kognitive Prozesse initiieren könnten.

4.2.2 Mögliche Mechanismen des Aufgaben-Priming Effekts

In Abbildung 4.2 ist anhand eines Modells dargestellt, welche Mechanismen an der Entstehung von Aufgaben-Priming Effekten beteiligt sein könnten. Analog zu Antwort-Priming Effekten könnte der Prime die frühe visuelle Enkodierung der Maske beeinflussen, indem er die korrekte oder die inkorrekte visuelle Repräsentation aktiviert. Des Weiteren sprechen die Befunde für einen Effekt des Primes auf den zentralen Prozess der Aufgabenauswahl. So könnten Primes die mit ihnen assoziierten S-R Regeln (SIP) aktivieren, die Teil des entsprechenden Task Sets sind. In inkongruenten Durchgängen werden somit inkorrekte Aufgabenparameter aktiviert. Dies könnte auf der zentralen Ebene der Entscheidung (Aufgabenauswahl) zu einem Konflikt führen. Es werden Kontrollprozesse initiiert, die möglicherweise zu einer Aktualisierung der S-R Regeln bzw. des gesamten Task Sets führen (medGFS). Dabei könnte im rechten inferioren frontalen Cortex (GFM, GFI, Insula) eine Unterdrückung der durch einen inkongruenten Prime aktivierten alternativen S-R Regel oder des gesamten Task Sets stattfinden.

Gleichzeitig könnte ein Aufmerksamkeitswechsel von irrelevanten hin zu relevanten Stimulusmerkmalen erfolgen (rechter LPI, rechter Precuneus). Darüber hinaus könnte der Prime die Ausführung der Aufgabe initiieren. Dieser Prozess kann zum einen durch einen direkten Pfad vom visuellen System zum aufgabenausführenden System erfolgen (Mattler, 2003). Zum anderen wäre es möglich, dass nach der Aktivierung der S-R Regel bzw. des gesamten Task Sets, die Ausführung der entsprechenden Aufgabe initiiert wird. In inkongruenten Durchgängen könnte somit – noch bevor der Konflikt auf Entscheidungsebene gelöst ist – die Ausführung der inkorrekten Aufgabe angestoßen werden. Auch hier könnten die Kontrollprozesse greifen, die auf zentraler Stufe initiiert wurden. So wäre es denkbar, dass die durch einen inkorrekten Prime aktivierte Aufgabe

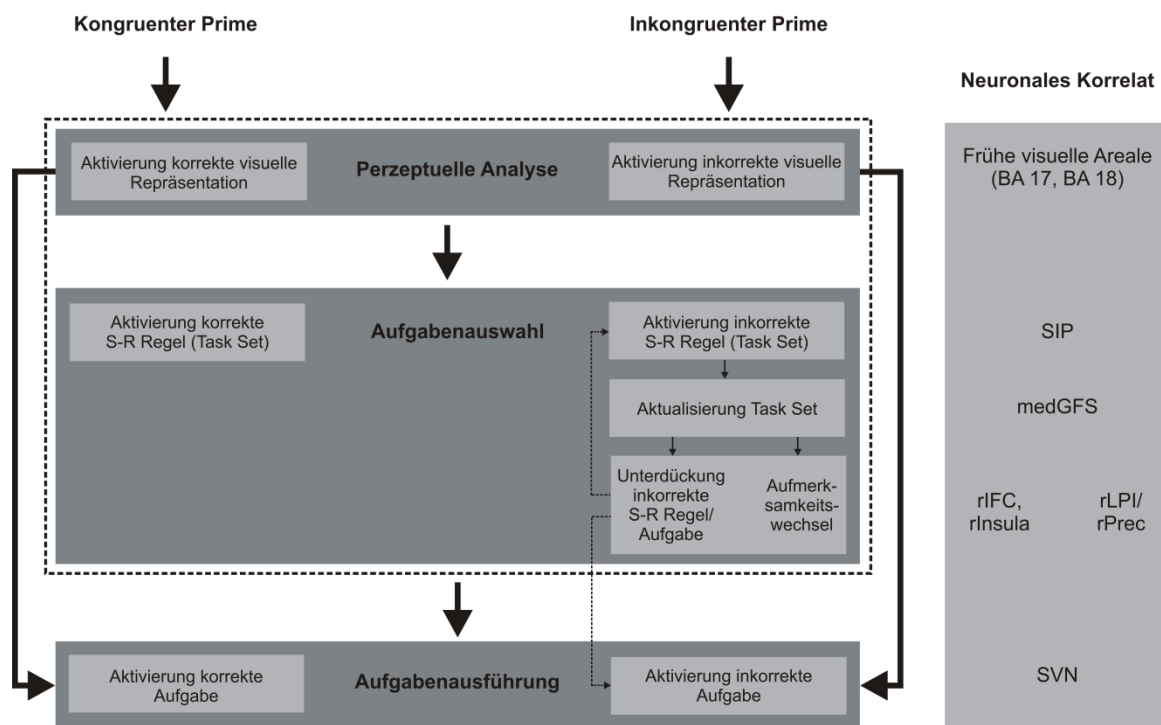


Abb. 4.2 Mögliches Modell der am Aufgaben-Priming Effekt beteiligten Mechanismen. Kongruente Primes könnten die visuelle Analyse der Maske erleichtern, da eine Voraktivierung der entsprechenden visuellen Repräsentation stattfindet. Kongruente Primes aktivieren möglicherweise die korrekte S-R Regel bzw. das ganze Task Set, so dass keine weiteren Kontrollprozesse notwendig werden. In inkongruenten Durchgängen könne die perzeptuelle Analyse der Maske erschwert werden. Der Prime könnte die inkorrekte S-R Regel bzw. das inkorrekte Task Set aktivieren. Es erfolgt eine Aktualisierung des Task Sets (medGFS). So könnte die inkorrekte Aufgabenrepräsentation unterdrückt und ein Aufmerksamkeitswechsel initiiert werden. Da deutliche Hinweise nur für die frühe Stufe der perzeptuellen Analyse und Aufgabenauswahl gefunden wurden, ist dieser Teil in einem Kasten dargestellt. Für eine Initiierung der Ausführung der Aufgabe wurden schwächere Hinweise gefunden. Dieser Prozess könnte entweder durch eine direkte Verbindung zum visuellen System oder als Folge der durch den Prime erfolgten Aktivierung des Task Sets initiiert werden. Abkürzungen: BA – Brodman Areal; medGFS – medialer Gyrus frontalis superior; rIFC – rechter inferiorer frontaler Cortex; rLPI – rechter Lobulus parietalis inferior; rPrec – rechter Precuneus; SIP – Sulcus intraparietalis; SVN – szenenverarbeitendes Netzwerk.

unterdrückt wird. Da deutliche Hinweise nur für einen Priming Effekt auf der Stufe der visuellen Analyse und der Entscheidung gefunden wurden, sind diese Prozesse in der Abbildung in einem Kasten dargestellt.

4.3 Gemeinsamkeiten und Unterschiede

Ein Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es zu prüfen, ob Antwort- und Aufgaben-Priming Effekte durch gemeinsame Mechanismen gesteuert werden. Wie bereits beschrieben, folgen beide vergleichbaren Gesetzmäßigkeiten: (1) Kongruente Primes führen im Vergleich zu inkongruenten Primes zu einer Verkürzung der RTn. (2) Der Priming Effekt nimmt linear mit dem SOA zu und (3) die Priming Effekte sind sowohl einfach als auch doppelt von der Prime Sichtbarkeit dissoziiert. Aus diesem Grund wurde angenommen, dass sie von einem gemeinsamen Mechanismus bzw. zwei Mechanismen mit vergleichbaren Charakteristika gesteuert werden.

Diese Annahme konnte durch die durchgeführten Experimente bestätigt werden. So sprechen die Verhaltensexperimente und die kernspintomographischen Untersuchungen dafür, dass perzeptuelle, zentrale Entscheidungs- und reaktions- bzw. aufgabenspezifische Prozesse an der Entstehung beider Priming Effekte beteiligt sind. In beiden Paradigmen wurden dabei besonders deutliche Hinweise auf *perzeptuelle* und *zentrale* Mechanismen gefunden. Die verantwortlichen Hirnareale sind aufgrund der unterschiedlichen Aufgabenanforderungen jedoch zum großen Teil distinkt. Dennoch konnte ein frontoparietales Netzwerk von Hirnstrukturen identifiziert werden, welches sowohl den Antwort- als auch den Aufgaben-Priming Effekt vermittelt. Als zentrale Komponente des Netzwerks ist zunächst der SIP zu erwähnen, der wahrscheinlich die für die Ausführung der Aufgabe relevanten S-R Informationen zur Verfügung stellt, wobei er insbesondere wichtig für die flexible Anpassung von S-R Regeln während der Ausführung mehrerer Aufgaben ist (u.a. Bunge et al., 2002; Bode & Haynes, 2009; Gail & Anderson, 2006). Gemeinsame Effekte fanden sich ebenso im rechten inferioren frontalen Cortex, der für die Unterdrückung unangemessener Reaktionen (Aarts et al., 2009; Konishi et al., 1998; Mattler et al., 2006; Menon et al., 2001; Rubia et al., 2001; Xue et al., 2008) und Task Sets (Aaron et al., 2004a; Aarts et al., 2009; Brass & von Cramon, 2004a; Mattler et al., 2006) verantwortlich sein soll. Diese Areale könnten der zentralen Ebene der Informationsverarbeitung zugeordnet werden und somit in die Reaktions-

(Antwort-Priming) und Aufgabenauswahl (Aufgaben-Priming) involviert sein. Die gemeinsamen Effekte sprechen dafür, dass der Prime in beiden Paradigmen die mit ihm assoziierten S-R Informationen aktiviert und damit den zentralen Entscheidungsprozess für eine Reaktion oder Aufgabe beeinflusst. Gesteuert werden diese Prozesse möglicherweise durch weitere zentrale Kontrollinstanzen, die sich jedoch zwischen den Experimenten unterscheiden. Während die Daten dafür sprechen, dass der Reaktionskonflikt (Antwort-Priming) zu einer Aktivierung des ACC und Rekrutierung des LPFC führte, könnte die Auswahl des korrekten Task Sets und der darin enthaltenen S-R Regeln (Aufgaben-Priming) durch den medGFS gesteuert werden.

Dieses fronto-parietale Netzwerk könnte auch eine zentrale Rolle im Rahmen des Akkumulatormodells von Vorberg und Kollegen (2003) einnehmen. Das Modell wurde ursprünglich formuliert, um die zeitlichen Eigenschaften des Antwort-Priming Effekts zu erklären. Es nimmt zwei Akkumulatoren an, wobei einer Evidenz für die linke und der andere Evidenz für die rechte Reaktion sammelt. Eine Reaktion wird dann ausgelöst, wenn die Differenz zwischen beiden Akkumulatoren eine bestimmte Schwelle überschreitet. Da Antwort- und Aufgaben-Priming Effekte vergleichbaren Gesetzmäßigkeiten folgen, liegt es nahe, die Mechanismen des Akkumulatormodells auch für Aufgaben-Priming Effekte anzunehmen. So könnten die Akkumulatoren im Aufgaben-Priming Paradigma Evidenz für eine bestimmte Aufgabe sammeln. Vorberg und Kollegen (2003) gingen davon aus, dass es sich bei den Akkumulatoren um ein zentrales Entscheidungsmodul handelt, welches sensorische Empfindungen mit Handlungen verknüpft (Steiner, 2003). Die Akkumulatoren könnten somit auf zentraler Stufe der Reaktions- bzw. Aufgabenauswahl lokalisiert sein. Dabei sprechen die vorliegenden Daten dafür, dass der SIP hier von entscheidender Bedeutung ist. So scheint der SIP die für die Ausführung der Aufgabe relevanten S-R Informationen zur Verfügung zu stellen. Beim Antwort-Priming könnte er den präsentierten Stimulus mit der passenden Reaktion verknüpfen. Beim Aufgaben-Priming stellt er möglicherweise die für die Ausführung der Aufgabe notwendigen S-R Regeln zur Verfügung. Der SIP könnte demnach visuelle Evidenz für die beiden Reaktionsalternativen bzw. Aufgabenregeln sammeln. Initial wird dieser Prozess durch den Prime bestimmt. Er dauert so lange an, bis die Maske präsentiert wird, die dann den Akkumulationsprozess bestimmt. Die Reaktions- bzw. Aufgabenauswahl wird dadurch mit steigendem SOA immer stärker in die korrekte

(kongruenter Prime) oder inkorrekte (inkongruenter Prime) Richtung verzerrt. Dies erklärt die SOA Abhängigkeit des Priming Effekts. Wenn der Unterschied zwischen den Akkulatoren eine bestimmte Schwelle überschreitet, könnte die entsprechende Reaktion oder Aufgabe aktiviert werden. Eine weitere Annahme des Akkulatormodells ist, dass sich die Akkulatoren gegenseitig hemmen. Auch für derartige Prozesse wurden in den funktionellen Daten Belege gefunden. So könnte die Hemmung durch den inferioren frontalen Cortex bzw. beim Antwort-Priming zusätzlich durch die SMA vermittelt werden. Eine Erklärung für die Priming Effekte in reaktions- bzw. aufgabenspezifischen Arealen wäre der direkte Pfad zwischen perzeptueller Analyse und reaktions- bzw. aufgabenspezifischen Arealen, über den eine Prime induzierte Aktivierung auf postzentraler Ebene erfolgen könnte (siehe Abbildung 4.1, 4.2). Diese Prozesse könnten die Grundlage für die Gemeinsamkeiten in der zeitlichen Dynamik des Antwort- und Aufgaben-Priming Effekts sein.

Der Hauptunterschied zwischen Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten bestand in der Größe der Effekte. Dabei sprechen die funktionellen Daten dafür, dass sich die ausgeprägteren Verhaltenseffekte beim Antwort-Priming ebenso in ausgeprägteren Effekten auf neuronaler Ebene zeigten. Es wurde jedoch deutlich, dass der Antwort-Priming Effekt im Vergleich zum Aufgaben-Priming Effekt nicht auf zusätzlichen Ebenen entsteht. Vielmehr ist davon auszugehen, dass die Priming Effekte beim Antwort-Priming auf denselben Ebenen stärker ausgeprägt sind als beim Aufgaben-Priming. Dies könnte vor allem die zentrale Ebene betreffen. Der Effekt im LPFC könnte darauf hindeuten, dass der durch inkongruente Primes ausgelöste Reaktionskonflikt stärker war als der Aufgabenkonflikt. Im Rahmen des Akkulatormodells könnte dies bedeuten, dass der Prime die Akkumulation stärker bestimmt, wenn er mit einer motorischen Reaktion verknüpft ist, als wenn er die auszuführende Aufgabe ankündigt.

Es liegt somit nahe, dass Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten ein vergleichbarer Mechanismus zugrunde liegt, wobei der Einfluss der Primes auf den Verarbeitungsebenen unterschiedlich stark zu sein scheint. Ein begrenzender Faktor der vorliegenden Untersuchungen war, dass nicht dieselben Versuchspersonen mit beiden Priming Varianten untersucht wurden. Dies betrifft insbesondere die Experimente 5 und 6. Um gemeinsame Hirnareale und somit gemeinsame Prozesse zu identifizieren, wäre es aufgrund der individuellen anatomischen Variabilität sinnvoll, in zukünftigen Studien

nicht nur die experimentellen Parameter konstant zu halten, sondern auch dieselben Versuchspersonen zu untersuchen.

4.4 Priming und kognitive Kontrollprozesse

Da kontrovers diskutiert wird, ob unbewusste Stimuli nicht nur motorische Reaktionen, sondern auch höhere kognitive Kontrollprozesse beeinflussen können, ist der Befund von Priming Effekten auf zentraler Entscheidungsstufe besonders von Bedeutung. So wurde traditionell argumentiert, dass höhere kognitive Prozesse an eine bewusste Stimuluswahrnehmung gebunden sind (Dehaene et al., 2003; Jack & Shallice, 2001; Mayr, 2004; Kiesel, 2009). Beispielsweise wurde gezeigt, dass Versuchspersonen nicht in der Lage sind, sich an Reaktionskonflikte anzupassen, wenn der konfliktinduzierende Stimulus unbewusst dargeboten wurde (Kunde, 2003). Dehaene und Kollegen (2003) beobachteten darüber hinaus, dass Reaktionskonflikte nur dann zu einer ACC Aktivierung führen, wenn sie durch bewusste Stimuli induziert werden. Aktuellere Studien hingegen berichten, dass kognitive Kontrollprozesse durch Primes initiiert werden können, auch dann, wenn diese nicht bewusst wahrgenommen werden (Lau & Passingham, 2007; van Gaal et al., 2010). Die vorliegenden Befunde reihen sich somit in diese neueren Studien ein, da sie darauf hinweisen, dass Kontrollprozesse, wie die Steuerung der Auswahl der korrekten motorischen Reaktion oder des korrekten Task Sets, unabhängig vom Ausmaß einer bewussten Prime Wahrnehmung beeinflusst werden könnten.

4.5 Unabhängigkeit vom Bewusstsein

Insbesondere frühen Studien zur unbewussten visuellen Wahrnehmung wurde mit erheblicher Skepsis begegnet, da nicht zufriedenstellend gezeigt werden konnte, dass die gemessenen Effekte tatsächlich unabhängig vom Bewusstsein waren (Holender, 1986; Reingold & Merikle, 1993). Später konnte jedoch demonstriert werden, dass unbewusste Stimuli einen Einfluss auf das Verhalten haben (u.a. Vorberg et al., 2002). Die Kontroverse konzentriert sich nun auf die Frage, wie tief unbewusste Stimuli die Verarbeitung beeinflussen können. Insbesondere die in der vorliegenden Arbeit beobachteten Effekte zeigen, dass Primes einen Einfluss auf komplexere Verarbeitungsprozesse wie die Aktivierung eines Task Sets haben könnten. Dabei ist es

jedoch wesentlich zu zeigen, dass die beobachteten Effekte unabhängig vom Prime Bewusstsein sind.

Dazu kann Folgendes festgehalten werden. (1) In allen Untersuchungen zeigten die Versuchspersonen eine Identifikationsleistung, die über dem Zufallsniveau lag. Das bedeutet, dass die Versuchspersonen die Primes zumindest in einigen Durchgängen diskriminieren konnten. Priming Effekte unabhängig von der Prime Sichtbarkeit wurden jedoch im ersten Experiment (keine positive Regressionskonstante) demonstriert. Darüber hinaus wurden in den Experimenten 2 und 3 Hinweise darauf gefunden, dass Priming Effekte auch bei gleichzeitiger Prime Sichtbarkeit auf Zufallsniveau auftreten. Dies entspricht einer einfachen Dissoziation zwischen Priming Effekt und bewusster Prime Wahrnehmung. (2) Im Experiment 4a und den Experimenten 5 und 6 wurde eine doppelte Dissoziation zwischen Priming Effekt und Prime Sichtbarkeit demonstriert. Das spricht dafür, dass die beobachteten Effekte unabhängig von den Prozessen sind, die einer bewussten Prime Wahrnehmung zugrunde liegen. Diese Dissoziation konnte sowohl auf Verhaltensebene (Experimente 4a, 5, 6) als auch auf neuronaler Ebene (Experimente 5, 6) nachgewiesen werden.

Darüber hinaus wurde zur Messung der Prime Wahrnehmung ein objektives Maß eingesetzt (Cheesmann & Merikle, 1984), welches nach Merikle und Kollegen (2001) als konservative Messung der Wahrnehmbarkeit angesehen werden kann. Auch die Bedingungen der Sichtbarkeitsprüfung waren konservativ gewählt. Im Unterschied zu den Priming Sitzungen wurden die Versuchspersonen vor der Sichtbarkeitsprüfung über das Vorhandensein des Primes informiert und konnten ihre Aufmerksamkeit vollkommen auf dessen Wahrnehmung richten. Des Weiteren erhielten sie eine Fehlerrückmeldung, so dass eine Steigerung der Wahrnehmungsleistung durch Lernen nicht auszuschließen ist. Zudem wurde unmittelbar nach dem Priming Experiment und vor der Prime Identifikationssitzung eine Befragung durchgeführt, in der die Mehrzahl der Versuchspersonen angab, die Primes nicht erkannt zu haben.

Zusammenfassend kann angenommen werden, dass die beobachteten Priming Effekte und deren zugrunde liegende Mechanismen, zumindest im untersuchten Sichtbarkeitsbereich, unabhängig von einer bewussten Prime Wahrnehmung waren. Dennoch könnte argumentiert werden, dass zumindest ein Mindestmaß an bewusster Prime Wahrnehmung notwendig ist, damit dieser das Verhalten beeinflussen kann. Daher

wäre es sinnvoll, die gefundenen Effekte unter Bedingungen zu replizieren, in denen Primes nicht überzufällig diskriminiert werden können.

4.6 Fazit und Ausblick

Die vorliegenden Untersuchungen konnten die Annahme bestätigen, dass Antwort- und Aufgaben-Priming Effekte durch einen vergleichbaren Mechanismus gesteuert werden. Dabei scheinen insbesondere *perzeptuelle* und *zentrale Entscheidungsprozesse* an der Entstehung dieser Priming Effekte beteiligt zu sein. Die Untersuchung der Priming Effekten zugrunde liegenden Mechanismen liefert auch einen Beitrag zur Erforschung der Grenzen der Effekte unbewusster Stimuli. Die Befunde sprechen dafür, dass nicht nur perzeptuelle Prozesse oder motorische Reaktionen, sondern auch höhere kognitive Prozesse unabhängig vom Prime Bewusstsein beeinflusst werden könnten. Zum einen weisen die Daten darauf hin, dass sich Versuchspersonen auf kommende durch den Prime angekündigte Aufgabenanforderungen einstellen, was einer starken kognitiven Kontrolle bedarf (Koechlin, Ody & Kouneiher, 2003). Zum anderen werden durch den durch inkongruente Primes ausgelösten Reaktions- bzw. Aufgabenkonflikt kognitive Kontrollprozesse initiiert. Obwohl diese Effekte von einer bewussten Prime Wahrnehmung dissoziiert waren, sollten die gefundenen Ergebnisse unter Bedingungen repliziert werden, in denen Primes nicht überzufällig diskriminiert werden können. Dennoch lassen die Daten Raum für die Vermutung, dass eine Bewusstheit von visuellen Stimuli keine Notwendigkeit für die Aktivierung kognitiver Kontrollprozesse ist.

5 Literaturverzeichnis

- Aarts, E., Roelofs, A. & van Turenout, M. (2009). Attentional control of task and response in lateral and medial frontal cortex: Brain activity and reaction time distributions. *Neuropsychologia*, 47, 2089-2099.
- Albrecht, T., Klapötke, S. & Mattler U. (2010). Individual differences in metacontrast masking are enhanced by perceptual learning. *Consciousness and Cognition*, 19, 656-666.
- Allison, T., Puce, A. & McCarthy, G. (2000). Social perception from visual cues: role of the STS region. *Trends in Cognitive Science*, 4, 267-278.
- Allman J.H., Kaas J.H. & Lane R.H. (1973). The middle temporal visual area (MT) in the bushbaby, *Galagosenegalensis*. *Brain Research*, 57, 197-202.
- Ansorge, U., & Heumann, M. (2006). Shifts of visuospatial attention to invisible (metacontrast-masked) singletons: Clues from reaction times and event-related potentials. *Advances in Cognitive Psychology*, 2, 61-76.
- Ansorge, U., Heumann, M., & Scharlau, I. (2002). Influences of visibility, intentions, and probability in a peripheral cuing task. *Consciousness and Cognition*, 11, 528-545.
- Aron, A.R., Monsell, S., Sahakian, B.J. & Robbins, T.W. (2004b). A componential analysis of task-switching deficits associated with lesions of left and right frontal cortex. *Brain*, 127, 1561-1573.
- Aron, A.R., Robbins, T.W. & Poldrack, R.A. (2004a). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 170-177.
- Bacon, W. F., & Egeth, H. E. (1994). Overriding stimulus-driven attentional capture. *Perception & Psychophysics*, 55, 485-496.
- Bode, S. & Haynes, J.D. (2009). Decoding sequential stages of task preparation in the human brain. *Neuroimage*, 45, 606-613.
- Bodner, G.E. & Dypvik, A.T. (2005). Masked priming of number judgments depends on prime validity and task. *Memory and Cognition*, 33, 29-47.
- Botvinick, M.M., Braver, T.S., Barch, D.M., Carter, C.S. & Cohen, J.D. 2001. Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624-652.
- Botvinick, M., Nystrom, L.E., Fissell, K., Carter, C.S., Cohen, J.D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, 402, 179-181.

- Brass, M. & von Cramon, D.Y. (2002). The role of the frontal cortex in task preparation. *Cerebral Cortex*, 12, 908-914.
- Brass, M. & von Cramon, D.Y. (2004a). Decomposing components of task preparation with functional magnetic resonance imaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 609-620.
- Brass, M. & von Cramon, D.Y. (2004b). Selection for cognitive control: a functional magnetic resonance imaging study on the selection of task-relevant information. *Journal of Neuroscience*, 24, 8847-8852.
- Braver, T.S., Reynolds, J.R. & Donaldson, D.I. (2003). Mechanisms of transient and sustained cognitive control during task switching. *Neuron*, 39, 713-726.
- Breitmeyer, B.G. & Ögmen, H. (2006). *Visual Masking: Time Slices through Conscious and Unconscious Vision* (Second Ed.). New York: Oxford University Press.
- Brett, M., Anton, J-L., Valabregue, R. & Poline, J-B. (2002). Region of interest analysis using an SPM toolbox [abstract] Presented at the 8th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain, June 2-6, 2002, Sendai, Japan. Available on CD-ROM in NeuroImage, 16, 2.
- Brett, M., Johnsrude, I.S., & Owen, A.M. (2002). The problem of functional localization in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 243-249.
- Bunge, S.A., Hazeltine, E., Scanlon, M.D., Rosen, A.C. & Gabrieli, J.D. (2002). Dissociable contributions of prefrontal and parietal cortices to response selection. *Neuroimage*, 17, 1562-1571.
- Carter, C.S., MacDonald, A.M., Botvinick, M., Ross, L.L., Stenger, V.A., Noll, D. & Cohen, J.D. 2000. Parsing executive processes: strategic vs. evaluative functions of the anterior cingulate cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 97, 1944-1948.
- Cavanna, A.E. & Trimble, M.R. (2006). The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, 129, 564-583.
- Churchland, M.M., Yu, B.M., Ryu, S.I., Santhanam, G., & Shenoy, K.V. (2006). Neural variability in premotor cortex provides a signature of motor preparation. *The Journal of Neuroscience*, 26, 2006, 3697-37112.
- Cohen J.D., Botvinick M., Carter C.S. (2000). Anterior cingulate and prefrontal cortex: who's in control? *Nature Neuroscience*, 3, 421-423.
- Cole, M.W. & Schneider, W. (2007). The cognitive control network: Integrated cortical regions with dissociable functions. *Neuroimage*, 37, 343-360.

- Coles, M.G., Gratton, G. & Donchin, E. (1988). Detecting early communication: using measures of movement-related potentials to illuminate human information processing. *Biological Psychology*, 26, 69-89.
- Corbetta, M., Patel, G. & Shulman, G.L. (2008). The reorienting system of the human brain: from environment to theory of mind. *Neuron*, 58, 306-324.
- Corbetta, M. & Shulman, G.L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Review Neuroscience*, 3, 201-215.
- Coull, J.T., Frith, C.D., Büchel, C. & Nobre, A.C. (2000). Orienting attention in time: behavioural and neuroanatomical distinction between exogenous and endogenous shifts. *Neuropsychologia*, 38, 808-819.
- Coull, J.T. & Nobre, A.C. (1998). Where and when to pay attention: the neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI. *Journal of Neuroscience*, 18, 7426-7435.
- Cowey, A. & Stoerig, P. (1991). Reflections on blindsight. In A.D. Milner & M.D. Rugg (Eds.), *The Neuropsychology of Consciousness* (pp. 11-37). London: Academic Press.
- Crone, E.A., Wendelken, C., Donohue, S.E., Bunge, S.A. (2006). Neural evidence for dissociable components of task-switching. *Cerebral Cortex*, 16, 475-486.
- Dehaene, S., Artiges, E., Naccache, L., Martelli, C., Viard, A., Schürhoff, F., Recasens, C., Martinot, M.L.P., Leboyer, M., & Martinot, J.L. (2003). Conscious and subliminal conflicts in normal subjects and patients with schizophrenia: The role of the anterior cingulate. *Proceedings of the National Academies of Science, U. S. A.*, 100, 13722-13727.
- Dehaene, S., Jobert, A., Naccache, L., Ciuciu, P., Poline, J.-B., Le Bihan, D., & Cohen, L. (2004). Letter binding and irrelevant recognition of masked words. *Psychological Science*, 15, 307-313.
- Dehaene, S., Naccache, L., Le Clec'H, G., Koechlin, E., Mueller, M., Dehaene-Lambertz, G., van de Moortele, P.F., & Le Bihan, D. (1998). Imaging unconscious semantic priming. *Nature*, 395, 600-604.
- Dehaene, S., Naccache, L., Cohen, L., Le Bihan, D., Mangin, J.F., Poline, J.B., & Rivière, D. (2001). Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming. *Nature Neuroscience*, 4, 752-758.

- Deiber M.P., Ibañez V., Sadato N., Hallett M. (1996). Cerebral structures participating in motor preparation in humans: a positron emission tomography study. *Journal of Neurophysiology*, 75, 233-247.
- De Jong, R. (1993). Multiple bottlenecks in overlapping task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 19, 965-980.
- Dell'Acqua, R. & Grainger, J. (1999). Unconscious semantic priming from pictures. *Cognition*, 73, B1-B15.
- Dobbins, I.G., Schnyer, D.M., Verfaellie, M., & Schacter, D.L. (2004). Cortical activity reductions during repetition priming can result from rapid response learning. *Nature*, 428, 316-319.
- Donders, F.C. (1868). *Die Schnelligkeit psychischer Prozesse*. Saarländische Universitäts- und Landesbibliothek, Psychologie: Sonstiges, <http://psydok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2006/831>.
- Dosenbach, N.U., Visscher, K.M., Palmer, E.D., Miezin, F.M., Wenger, K.K., Kang, H.C., Burgund, E.D., Grimes, A.L., Schlaggar, B.L. & Petersen, S.E. (2006). A core system for the implementation of task sets. *Neuron*, 50, 799-812.
- Dougherty R.F., Koch V.M., Brewer A.A., Fischer B., Modersitzki J. & Wandell B.A. (2003). Visual field representations and locations of visual areas V1/2/3 in human visual cortex. *Journal of Vision*, 3, 586-598.
- Dubner R. & Zeki S.M. (1971). Response properties and receptive fields of cells in an anatomically defined region of the superior temporal sulcus in the monkey. *Brain Research*, 35, 528-532.
- Egner, T., Delano, M. & Hirsch, J. (2007). Separate conflict-specific cognitive control mechanisms in the human brain. *Neuroimage*, 35, 940-948.
- Epstein R.A., Higgins J.S., Thompson-Schill S.L. (2005) Learning places from views: variation in scene processing as a function of experience and navigational ability. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 73-83.
- Epstein, R. & Kanwisher, N. (1998). A cortical representation of the local visual environment. *Nature*, 392, 598-601.
- Fan, J., McCandliss, B.D., Fossella, J., Flombaum, J.I. & Posner, M.I. (2005). The activation of attentional networks. *Neuroimage*, 26, 471-479.
- Fang, F., Murray, S.O. & He, S. (2007). Duration-dependent fMRI adaptation and distributed viewer-centered face representation in human visual cortex. *Cerebral Cortex*, 17, 1402-1411.

- Fehrer, E. & Raab, D. (1962). Reaction time to stimuli masked by metacontrast. *Journal of Experimental Psychology*, 63, 143-147.
- Ferreira, V.S. & Pashler, H. (2002). Central bottleneck influences on the processing stages of word production. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 28, 1187-1199.
- Fincham, J.M. & Anderson, J.R. (2006). Distinct roles of the anterior cingulate and prefrontal cortex in the acquisition and performance of a cognitive skill. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A*, 103, 12941-12946
- Folk, C.L., Remington, R.W., & Johnston, J.C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 1030-1044.
- Franckowiak, R.S.J., Friston, K.J., Frith, C.D., Dolan, R.J., & Price, C.J. (2004). *Human Brain Function* (2nd ed.). San Diego: Academic Press.
- Franz, E.A., Sebastian, A., Hust, C. & Norris, T. (2008). Viewer perspective affects central bottleneck requirements in spatial translation tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 398-412.
- Friston, K.J., Holmes, A.P., Worsley, K.J., Poline, J.-P., Frith, C.D., & Frackowiak, R.S.J. (1994). Statistical parametric maps in functional imaging: A general linear approach. *Human Brain Mapping*, 2, 189-210.
- Gail, A., Andersen, R.A., 2006. Neural dynamics in monkey parietal reach region reflect context-specific sensorimotor transformations. *Journal of Neuroscience*, 26, 9376-9384.
- Gehring, W.J. & Fencsik, D.E. (2001). Functions of the medial frontal cortex in the processing of conflict and errors. *Journal of Neuroscience*, 21, 9430-9437.
- Gilbert, C., Ito, M., Kapadia, M. & Westheimer, G. (2000). Interactions between attention, context and learning in primary visual cortex. *Vision Research*, 40, 1217-1226.
- Greenwald, A.G., Draine S.C. & Abrams, R.L. (1996). Three cognitive markers of unconscious semantic activation. *Science*, 273, 1699-1702.
- Greenwald, A.G., Klinger, M.R., & Schuh, E.S. (1995). Activation by marginally perceptible (“subliminal”) stimuli: Dissociation of unconscious from conscious cognition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 22-42.
- Grefkes, C. & Fink, G.R. (2005). The functional organization of the intraparietal sulcus in humans and monkeys. *Journal of Anatomy*, 207, 3-17.

- Grill-Spector, K. (2003). The neural basis of object perception. *Current Opinion in Neurobiology*, 13,159-166.
- Grill-Spector, K., Kushnir, T., Edelman, S., Avidan, G., Itzhak, Y. & Malach R. (1999). Differential processing of objects under various viewing conditions in the human lateral occipital complex. *Neuron*, 24, 187-203.
- Habib, R. (2001). On the relation between conceptual priming, neural priming, and novelty assessment. *Scandinavian Journal of Psychology*, 42, 187-195.
- Hamzei, F., Dettmers, C., Rzanny, R., Liepert, J., Büchel, C. & Weiller, C. (2002). Reduction of excitability (“inhibition”) in the ipsilateral primary motor cortex is mirrored by fMRI signal decreases. *Neuroimage*, 17, 490-496.
- Hasson U., Harel M., Levy I. & Malach R. (2003). Large-scale mirror-symmetry organization of human occipito-temporal object areas. *Neuron*, 37, 1027-1041.
- Hedden, T. & Gabrieli, J.D. (2010). Shared and selective neural correlates of inhibition, facilitation, and shifting processes during executive control. *Neuroimage*, 51, 421-431.
- Heil, M. & Rolke, B. (2004). Unattended distractor induced priming in a visual selective attention task: N400 effects in the absence of RT effects. *Journal of Psychophysiology*, 18, 164-169.
- Henson, R.N. (2003). Neuroimaging studies of priming. *Progress in Neurobiology*, 70, 53-81.
- Henson, R.N., & Rugg, M. D. (2003). Neural response suppression, haemodynamic repetition effects, and behavioural priming. *Neuropsychologia*, 41, 263-270.
- Holender, D. (1986). Semantic activation without conscious identification in dichotic listening, parafoveal vision, and visual masking: A survey and appraisal. *Behavioral and Brain Sciences*, 9, 1-66.
- Hommel, B. (1998). Automatic stimulus-response translation in dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 1368-1384.
- Hommel, B. (2006). Wissen wir was wir tun? [Do we know what we do?]. In A. Kibele (Hrsg.), *Nicht-bewusste Handlungssteuerung im Sport* (pp. 25-44). Schorndorf: Hofmann.
- Husain, M. & Nachev, P. (2007). Space and the parietal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 30-36.
- Jack, A.I. & Shallice, T. (2001). Introspective physicalism as an approach to the science of consciousness. *Cognition*, 79, 161-196.

- Kanwisher, N., McDermott, J. & Chun, M.M. (1997). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience*, *17*, 4302-4311.
- Kerns, J.G., Cohen, J.D., Stenger, V.A. & Carter, C.S. (2004). Prefrontal cortex guides context-appropriate responding during language production. *Neuron*, *43*, 283-291.
- Kiehl K.A., Smith A.M., Hare R.D. & Liddle P.F. (2000). An event-related potential investigation of response inhibition in schizophrenia and psychopathy. *Biological Psychiatry*, *48*, 210-221
- Kiesel, A. (2009). Unbewusste Wahrnehmung: Handlungsdeterminierende Reizerwartungen bestimmen die Wirksamkeit subliminaler Reize. *Psychologische Rundschau*, *60*, 215-228
- Kihara, K., Ikeda, T., Matsuyoshi, D., Hirose, N., Mima, T., Fukuyama, H. & Osaka N. (2011). Differential contributions of the intraparietal sulcus and the inferior parietal lobe to attentional blink: evidence from transcranial magnetic stimulation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*, 247-256.
- Kim, C., Chung, C. & Kim, J. (2010). Multiple cognitive control mechanisms associated with the nature of conflict. *Neuroscience Letters*, *476*, 156-160.
- Klotz, W. & Neumann, O. (1999). Motor activation without conscious discrimination in metacontrast masking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *25*, 976-992.
- Klotz, W. & Wolff, P. (1995). The effect of a masked stimulus on the response to the masking stimulus. *Psychological Research*, *58*, 92-101.
- Koch, I., Gade, M., Schuch, S. & Philipp, A.M. (2010). The role of inhibition in task switching: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, *17*, 1-14.
- Koechlin, E., Ody, C. & Kouneiher, F. (2003). The architecture of cognitive control in the human prefrontal cortex. *Science*, *302*, 1181-1185.
- Konishi, S., Nakajima, K., Uchida, I., Sekihara, K. & Miyashita, Y. (1998). No-go dominant brain activity in human inferior prefrontal cortex revealed by functional magnetic resonance imaging. *European Journal of Neuroscience*, *10*, 1209-1213.
- Kouider, S. & Dehaene, S. (2007). Levels of processing during non-conscious perception: a critical review of visual masking. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *362*, 857-875.
- Kunst-Wilson, W.R. & Zajonc, R.B. (1980). Affective discrimination of stimuli that cannot be recognized. *Science*, *207*, 557-558.

- Lachmann, T. & van Leeuwen, C. (2007). Goodness takes effort: perceptual organization in dual-task settings. *Psychological Research*, 71, 152-169.
- Lamme V.A., Zipser K. & Spekreijse H. (2002). Masking interrupts figure-ground signals in V1. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4, 1044-1053.
- Lamy, D., & Egeth, H.E. (2003). Attentional capture in singleton-detection and feature-search modes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 1003-1020.
- Lau, H.C. & Passingham, R.E. (2007). Unconscious activation of the cognitive control system in the human prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience*, 27, 5805-5811.
- Leocani, L., Cohen, L.G., Wassermann, E.M., Ikoma, K., & Hallett, M. (2000). Human corticospinal excitability evaluated with transcranial magnetic stimulation during different reaction time paradigms. *Brain*, 123, 1161-1173.
- Leuthold, H. & Kopp, B. (1998). Mechanisms of priming by masked stimuli: Inferences from event-related potentials. *Psychological Science*, 9, 263-269.
- Levy, J. & Pashler, J. (2001). Is dual-task slowing instruction dependent? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 27, 862-869.
- Lien, M.-C., Ruthruff, E. & Johnston, J.C. (2006). Attentional limitations in doing two tasks at once. *Current Directions in Psychological Science*, 15, 89-93.
- Loftus, G.R. & Masson, M.E.J. (1994). Using confidence intervals in within-subjects designs. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 476-490.
- Luck, S.J., & Hillyard, S.A. (1994). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1000-1014.
- Luppino, G., Murata, A., Govoni, P. & Matelli, M. (1999). Largely segregated parietofrontal connections linking rostral intraparietal cortex (areas AIP and VIP) and the ventral premotor cortex (areas F5 and F4). *Experimental Brain Research*, 128, 181-187.
- Maccotta, L., & Buckner, R.L. (2004). Evidence for neural effects of repetition that directly correlate with behavioral priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1625-1632.
- MacDonald, A.W., Cohen, J.D., Stenger, V.A. & Carter, C.S. (2000). Dissociating the Role of the Dorsolateral Prefrontal and Anterior Cingulate Cortex in Cognitive Control. *Science*, 288, 1835-1838.

- Marí-Beffa, P., Catena, A., Valdés, B., Cullen, D. & Houghton, G. (2007). N400, the reference electrode, and the semantic activation in prime-task experiments: a reply to Dombrowski and Heil (2006). *Brain Research*, 1147, 209-212.
- Mattler, U. (2003). Priming of mental operations by masked stimuli. *Perception & Psychophysics*, 65, 167-187.
- Mattler, U. (2005). Inhibition and decay of motor and non-motor priming. *Perception & Psychophysics*, 67, 285-300.
- Mattler, U. (2006). On the locus of priming and inverse priming effects. *Perception & Psychophysics*, 68, 975-991.
- Mattler, U. (2007). Inverse target- and cue-priming effects of masked stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 33, 83-102.
- Mattler, U., Wüstenberg, T. & Heinze, H.J. (2006). Common modules for processing invalidly cued events in the human cortex. *Brain Research*, 1109, 128-141.
- Mayr, U. (2004). Conflict, consciousness, and control. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 145-148.
- Mayr, U. & Keele, S.W. (2000). Changing internal constraints on action: the role of backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129, 4-26.
- Mazaika, P.K., Whitfield, S., & Cooper, J.C. (2005). *Detection and Repair of Transient Artifacts in fMRI Data*. Paper presented at the Human Brain Mapping Toronto.
- McCann, R.S. & Johnston, J.C. (1992). Locus of the single-channel bottleneck in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 471-484.
- Menon, V., Adelman, N.E., White, C.D., Glover, G.H. & Reiss, A.L. (2001). Error-related brain activation during a Go/NoGo response inhibition task. *Human Brain Mapping*, 12, 131-143.
- Merikle, P.M. & Daneman, M. (1998). Psychological investigations of unconscious perception. *Journal of Consciousness Studies*, 5, 5-18.
- Meyer, D.E., & Kieras, D.E. (1997a). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 1. Basic mechanisms. *Psychological Review*, 104, 3-65.
- Meyer, D.E., & Kieras, D.E. (1997b). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 2. Accounts of psychological refractory-period phenomena. *Psychological Review*, 104, 749-791.

- Miller, E.K. & Cohen, J.D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202.
- Miller, J.O. & Hackley, S.A. (1992). Electrophysiological evidence for temporal overlap among contingent mental processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121, 195-209.
- Miller, J. & Reynolds, A. (2003). The locus of redundant-targets and non-targets effects: evidence from the psychological refractory period paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 29, 1126-1142.
- Milner, A.D. & Goodale, M.A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford: Oxford University Press.
- Monsell, S. (1996). Control of mental processes. In V. Bruce (Ed.), *Unsolved mysteries of the mind: Tutorial essays in cognition* (pp. 93-148). Hove, U.K.: Erlbaum, Taylor & Francis.
- Murray, S.O., Olman, C.A. & Kersten, D. (2006). Spatially specific fMRI repetition effects in human visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, 95, 2439-2445.
- Nagahama, Y., Okada, T., Katsumi, Y., Hayashi, T., Yamauchi, H. & Sawamoto, N. (1999). Transient neural activity in the medial superior frontal gyrus and precuneus time locked with attention shift between object features. *Neuroimage*, 10, 193-199.
- Nee, D.E., Kastner, S. & Brown, J.W. (2011). Functional heterogeneity of conflict, error, task-switching, and unexpectedness effects within medial prefrontal cortex. *Neuroimage*, 54, 528-540.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Neumann, O. & Klotz, W. (1994). Motor responses to nonreportable masked stimuli: Where is the limit of direct parameter specification? In C. Umiltà, & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing* (pp. 124-150). Cambridge, MA: MIT Press.
- Nichols, T., Brett, M., Andersson, J., Wager, T. & Poline, J.B. (2005). Valid conjunction inference with the minimum statistic. *Neuroimage*, 25, 653-660.
- Nirko, A.C., Ozdoba, C., Redmond, S.M., Buerki, M., Schroth, G., Hess, C.W., & Wiesendanger, M. (2001). Different ipsilateral representations for distal and proximal movements in the sensorimotor cortex: Activation and deactivation patterns. *Neuroimage*, 13, 825-835.
- Pashler, H. (1984). Processing stages in overlapping tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 358-377.

- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological Bulletin*, *116*, 220-244.
- Pashler, H. & Johnston, J.C. (1989). Chronometric evidence for central postponement in temporally overlapping tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, *41(A)*, 19-45.
- Pashler, H., & Johnston, J.C. (1998). Attentional limitations in dual-task performance. In H. Pashler (Ed.), *Attention*. Psychology Press/Erlbaum (UK) Taylor & Francis, Hove, England UK, 155-189.
- Payne, H.E. & Allen, H.A. (2010). Active Ignoring in Early Visual Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*.
- Peirce, C.S. & Jastrow, J. (1884), On small differences in sensation. *Memoirs of the National Academy of Sciences*, *3*, 73-83.
- Pessoa, L., Rossi, A., Japee, S., Desimone, R. & Ungerleider, L.G. (2009). Attentional control during the transient updating of cue information. *Brain Research*, *1247*, 149-158.
- Praamstra, P. & Seiss, E. (2005). The neurophysiology of response competition: motor cortex activation and inhibition following subliminal response priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*, 483-493.
- Puce, A., Allison, T., Asgari, M., Gore, J.C. & McCarthy, G. (1996). Differential sensitivity of human visual cortex to faces, letterstrings, and textures: a functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, *16*, 5205-5215.
- Reingold, E.M., & Merikle, P.M. (1993). Theory and measurement in the study of unconscious processes. In M. Davies & G. Humphreys (Eds.), *Consciousness: Psychological and Philosophical Essays. Readings in Mind and Language* (pp. 40-57). Malden, MA, US: Blackwell Publishers Inc.
- Rodrigues, P.C., Vasconcelos, O., Barreiros, J. & Barbosa, R. (2009). Manual asymmetry in a complex coincidence-anticipation task: handedness and gender effects. *Laterality*, *14*, 395-412.
- Rotshtein, P., Henson, R.N., Treves, A., Driver, J. & Dolan, R.J. (2004). Morphing Marilyn into Maggie dissociates physical and identity face representations in the brain. *Nature Neuroscience*, *8*, 107-113.
- Rubia, K., Russell, T., Overmeyer, S., Brammer, M.J., Bullmore, E.T., Sharma, T., Simmons, A., Williams, S.C., Giampietro, V., Andrew, C.M. & Taylor, E. (2001). Mapping motor inhibition:

- conjunctive brain activations across different versions of go/no-go and stop tasks. *Neuroimage*, *13*, 250-261.
- Rushworth, M.F., Walton, M.E., Kennerley, S.W. & Bannerman, D.M. (2004). Action sets and decisions in the medial frontal cortex. *Trends in Cognitive Science*, *8*, 410-417.
- Ruthruff, E., Allen, P.A., Lien, M.C. & Grabbe, J. (2008). Visual word recognition without central attention: evidence for greater automaticity with greater reading ability. *Psychonomic Bulletin & Review*, *15*, 337-343.
- Ruthruff, E., Johnston, J.C. & Van Selst, M. (2001). Why practice reduces dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*, 3-21.
- Ruthruff, E., Johnston, J.C., Van Selst, M., Whitsell, S. & Remington, R. (2003). Vanishing dual-task interference after practice: Has the bottleneck been eliminated or is it mere latent? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 280-289.
- Ruthruff, E., Miller, J. & Lachmann, T. (1995). Does mental rotation require central mechanisms? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*, 552-570.
- Ruthruff, E., Van Selst, M., Johnston, J.C. & Remington, R. (2006). How does practice reduce dual-task interference: Integration, automatization, or just stage shortening. *Psychological Research*, *70*, 125-142.
- Sack, A.T., Mark, S., Schuhmann, T., Schwarzbach, J., Goebel, R. (2009). Symbolic action priming relies on intact neural transmission along the retino-geniculo-striate pathway. *Neuroimage*, *44*, 284-293.
- Sakai, K. & Passingham, R.E. (2006). Prefrontal set activity predicts rule-specific neural processing during subsequent cognitive performance. *Journal of Neuroscience*, *26*, 1211-1218.
- Schmidt, T. (2000). Visual perception without awareness: Priming responses by color. In T. Metzinger (Ed.), *Neural correlates of consciousness: Empirical and conceptual questions* (pp. 157–169). Cambridge, MA: MIT Press.
- Schmidt, T. (2002). The finger in flight: Real-time motor control by visually masked color stimuli. *Psychological Science*, *13*, 112-118.
- Schmidt, T. & Vorberg, D. (2006). Criteria for unconscious cognition: three types of dissociation. *Perception & Psychophysics*, *68*, 489-504.
- Schubert, T., Fischer, R. & Stelzel, C. (2008). Response activation in overlapping tasks and the response-selection bottleneck. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*, 376-397.

- Schumacher, E.H., Seymour, T.L., Glass, J.M., Kieras, D.E. & Meyer, D.E. (2001). Virtually perfect time sharing in dual-task performance: Uncorking the central attentional bottleneck. *Psychological Science, 121*, 101-108.
- Schwarzkopf, D.S., Song, C. & Rees, G. (2011). The surface area of human V1 predicts the subjective experience of object size. *Nature Neuroscience, 14*, 28-30.
- Schweinberger, S.R. & Stief, V. (2001). Implicit perception in patients with visual neglect: lexical specificity in repetition priming. *Neuropsychologia, 39*, 420-429.
- Sharp, D.J., Bonnelle, V., De Boissezon, X., Beckmann, C.F., James, S.G., Patel, M.C. & Mehta, M.A. (2010). Distinct frontal systems for response inhibition, attentional capture, and error processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A, 107*, 6106-6111.
- Shulman, G.L., Fiez, J.A., Corbetta, M., Buckner R.L., Raichle, M.E., Petersen, S.E. (1997). Common blood flow changes across visual tasks: II. Decreases in cerebral cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience, 9*, 648-663.
- Sidis, B. (1898). *The psychology of suggestion*. New York: Appleton.
- Snyder, L.H., Batista, A.P. & Andersen, R.A. (2000). Intention-related activity in the posterior parietal cortex: a review. *Vision Research, 40*, 1433-1441.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H. & Dickey, D.A. (1997). *Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach (3rd edition)*. McGraw-Hill Publishing.
- Steiner, U. (2003). Unbewußte Wahrnehmung: Bedingungen der direkten Parameterspezifikation. Dissertation.
- Stroh, M.A., Shaw, M. & Washburn, M.F. (1908). A study of guessing. *American Journal of Psychology, 19*, 243-245.
- Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). *Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain: 3-Dimensional Proportional System: An Approach to Cerebral Imaging*. New York: Thieme Medical Publisher, Inc.
- Telford, C.W. (1931). Refractory phase of voluntary and associative response. *Journal of Experimental Psychology, 14*, 1-35.
- Tombu, M. & Jolicoeur, P. (2002). All-or-none bottleneck versus capacity sharing accounts of the psychological refractory period phenomenon. *Psychological Research, 66*, 274-286.
- Tombu, M. & Jolicoeur, P. (2003). A central capacity sharing model of dual-task performance. *Human Perception & Performance, 29*, 3-18.

- Tombu, M. & Jolicoeur, P. (2005). Testing the predictions of the central capacity sharing model. *Human Perception & Performance*, *31*, 790-802.
- Troje, N. & Bolthoff, H.H. (1996): Face recognition under varying poses: The role of texture and shape. *Vision Research*, *36*, 1761-1771.
- Turk-Browne, N.B., Scholl, B.J., Johnson, M.K. & Chun, M.M. (2010). Implicit perceptual anticipation triggered by statistical learning. *Journal of Neuroscience*, *30*, 11177-11187.
- Uddin, L.Q., Supekar, K., Amin, H., Rykhlevskaia, E., Nguyen, D.A., Greicius, M.D. & Menon, V. (2010). Dissociable connectivity within human angular gyrus and intraparietal sulcus: evidence from functional and structural connectivity. *Cerebral Cortex*, *20*, 2636-2646.
- Ulrich, R. & Miller, J. (2008). Response grouping in the psychological refractory period (PRP) paradigm: Models and contamination effects. *Cognitive Psychology*, *57*, 75-121.
- van Gaal, S., Scholte, H.S., Lamme, V.A., Fahrenfort J.J & Ridderinkhof, K.R. (2010). Pre-SMA graymatter density predicts individual differences in action selection in the face of conscious and unconscious response conflict. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*, 382-390.
- van Turenout, M., Hagoort, P. & Brown, C.M. (1998). Brain activity during speaking: from syntax to phonology in 40 milliseconds. *Science*, *280*, 572-574.
- van Veen, V., Cohen, J.D., Botvinick, M.M., Stenger, V.A. & Carter, C.S. (2001). Anterior cingulate cortex, conflict monitoring and levels of processing. *Neuroimage*, *14*, 1302-1308.
- Vidyasagar, R., Stancak, A. & Parkes, L.M. (2010). A multimodal brain imaging study of repetition suppression in the human visual cortex. *Neuroimage*, *49*, 1612-1621.
- Vogel, E.K., Luck, S.J., & Shapiro, K.L. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 1656-1674.
- Vorberg, D., Mattler, U., Heinecke, A., Schmidt, T., & Schwarzbach, J. (2003). Different time courses for visual perception and action priming. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *100*, 6275-6280.
- Vuilleumier, P., & Rafal, R. (1999). Both means more than two: localizing and counting in patients with visuospatial neglect. *Nature Neuroscience*, *2*, 783-784.
- Weiskrantz, L. (2002). Prime-sight and blindsight. *Consciousness and Cognition*, *11*, 568-581.
- Weiskrantz, L. (2004). Roots of blindsight. *Progress in Brain Research*, *144*, 229-241.
- Welford, A.T. (1952). The “psychological refractory period” and the timing of high speed performance. *British Journal of Psychology*, *43*, 2-19.

- Werner, H. (1935). Studies on contour: I. Qualitative analyses. *American Journal of Psychology*, 47, 40-64.
- Wertheimer, M. (1912). Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung. *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, 61, 161-265.
- Wig, G.S., Grafton, S.T., Demos, K.E., & Kelley, W.M. (2005). Reductions in neural activity underlie behavioral components of repetition priming. *Nature Neuroscience*, 8, 1228-1233.
- Wojciulik, E. & Kanwisher, N. (1999). The generality of parietal involvement in visual attention. *Neuron*, 23, 747-764.
- Xue, G., Aron, A.R. & Poldrack, R.A. (2008). Common neural substrates for inhibition of spoken and manual responses. *Cerebral Cortex*, 18, 1923-1932.
- Yeung, N. & Nieuwenhuis, S. (2009). Dissociating response conflict and error likelihood in anterior cingulate cortex. *Journal of Neuroscience*, 29, 14506-14510.
- Young, A. & de Haan, E.H.F. (1993). Impairments of visual awareness. In M. Davies & G. Humphreys (Hrsg.), *Consciousness: Psychological and Philosophical Essays. Readings in Mind and Language* (pp. 58-73). Malden, MA, US: Blackwell Publishers Inc.

Anhang I

Funktionelle Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist ein bildgebendes Verfahren, das auf dem Prinzip der kernmagnetischen Resonanz (Nuclear Magnetic Resonanz, NMR) basiert. Dieses wurde bereits 1946 von Bloch sowie von Purcell beschrieben. Mit Hilfe der MRT lassen sich anatomische Strukturen mit hoher räumlicher Auflösung darstellen. Eine Weiterentwicklung der MRT ist die funktionelle MRT (fMRT), mit deren Hilfe neuronale Aktivierungen indirekt gemessen werden können. Im Folgenden werden die Grundlagen und Prinzipien der fMRT dargestellt. Anschließend wird die Verarbeitung der mit der fMRT gewonnenen Daten überblicksartig wiedergegeben.

Physikalische Grundlagen

Kernspin, Kernmagnetresonanz und Larmorfrequenz

Alle magnetresonanztomographischen Verfahren beruhen auf denselben physikalischen Prinzipien, die im Folgenden kurz dargestellt werden sollen. Die MRT macht sich eine Grundeigenschaft aller Atomkerne mit einer ungeraden Anzahl an Protonen zunutze: den Eigendrehimpuls oder Kernspin. Er besteht in der rotierenden Bewegung eines Kerns um sich selbst. Da dieser Kern über eine elektrische Ladung verfügt, entsteht durch die Bewegung der Ladung ein Magnetfeld. Der Kern besitzt somit ein magnetisches Moment B , welches ein Maß für die Stärke des induzierten Magnetfeldes ist. Die sich bewegende Masse erzeugt zusätzlich einen Drehimpuls J . Wenn ein Kern ein magnetisches Moment B und einen Drehimpuls J besitzt, verfügt er über die Eigenschaft der kernmagnetischen Resonanz und kann für die MRT genutzt werden. Er verhält sich wie ein magnetischer Dipol und induziert bei Bewegung eine Wechselspannung, die in der Empfangsspule des MR-Tomographen gemessen werden kann.

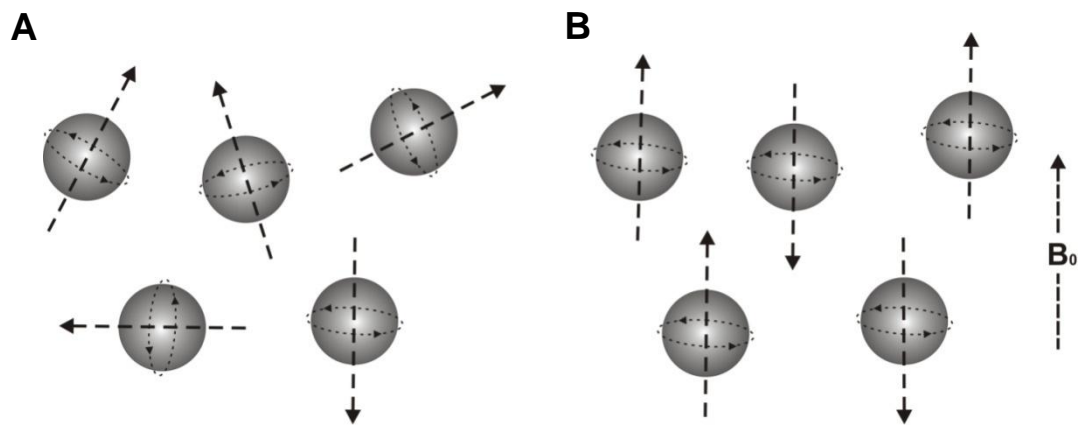


Abb. 1 Ausrichtung der magnetischen Momente der Protonen. (A) Protonen richten sich zufällig aus, wenn kein Magnetfeld auf sie wirkt. (B) Wirkt das statische Magnetfeld B_0 auf Protonen ein, so richten sie sich parallel oder antiparallel dazu aus.

Über 70% des menschlichen Gewebes besteht aus Wasser und die Wasserstoffprotonen dieses Wassers verfügen über die eben beschriebenen Eigenschaften. Darüber hinaus besitzen die Wasserstoffprotonen das größte magnetische Moment aller Atome. Aus diesem Grund werden sie als Signalgeber für die MRT genutzt.

Die magnetischen Momente der Protonen richten sich ohne das Wirken eines äußeren Magnetfeldes zufällig im Raum aus. Dadurch gleichen sich die Magnetisierungen gegenseitig aus und die Nettomagnetisierung M ist null (Abbildung 1 A). Im MR Scanner richten sich die Protonen jedoch durch ein von außen einwirkendes statisches Magnetfeld B_0 entlang dessen Hauptfeldlinien aus (Abbildung 1 B). Diese Ausrichtung kann entweder parallel oder antiparallel zum externen Magnetfeld B_0 erfolgen. Die Mehrheit der Protonen wird sich parallel ausrichten, da dieser Zustand energetisch günstiger (energieärmer) ist. Wenn sich die Spins entlang des externen Magnetfeldes B_0 anordnen, orientieren sich die magnetischen Momente jedoch nicht vollkommen parallel zu den Feldlinien, sondern rotieren kreiselartig um den Magnetisierungsvektor des statischen magnetischen Feldes B_0 . Man nennt diese Bewegung auch Präzessionsbewegung (Abbildung 2). Die Präzessionsfrequenz der Spins wird als Larmorfrequenz bezeichnet. Diese wird mathematisch durch die Larmor-Gleichung (Gleichung 1) beschrieben:

$$w_0 = \gamma \cdot B_0 \quad [1]$$

w_0 = Larmorfrequenz (Hz)

γ = materialspezifisches Gyromagnetisches Verhältnis (MHz/Tesla)

B_0 = Stärke des externen magnetischen Feldes (Tesla)

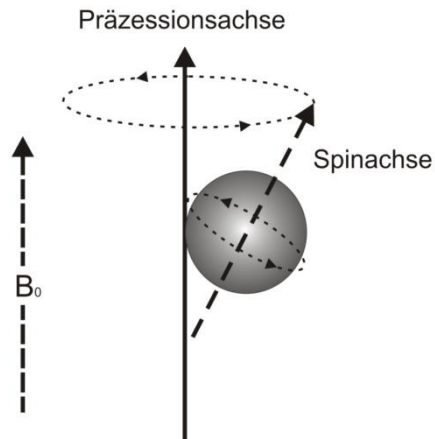


Abb. 2 Schematische Darstellung der Präzessionsbewegung eines Protons, welches sich entlang der Feldlinien des magnetischen Feldes B_0 ausgerichtet hat. Das Proton besitzt einen Spin, d.h., es rotiert zusätzlich um die eigene Achse.

Im statischen Magnetfeld ergibt sich durch die Addition der magnetischen Momente eine Nettomagnetisierung, die größer als null ist, da mehr Protonen parallel als antiparallel angeordnet sind. Diese Nettomagnetisierung wird auch als Longitudinalmagnetisierung M_z bezeichnet und ist entlang der Z-Achse ausgerichtet (Abbildung 3).

In dieses System kann nun ein senkrecht zum Magnetfeld B_0 wirkender hochfrequenter Puls (HF-Puls) eingeführt werden. Die Frequenz dieses Pulses muss dabei der Larmorfrequenz entsprechen. Dies hat zwei Konsequenzen: Erstens wird die durch den HF-Puls erzeugte Energie von den Protonen absorbiert, was zu einer Auslenkung der Spins führt. Dies hat zur Folge, dass die Longitudinalmagnetisierung abnimmt und die Nettomagnetisierung aus der Z-Achse „umkippt“ (Abbildung 3). Die Stärke der Auslenkung wird als Kippwinkel bezeichnet. Bei einem Kippwinkel von 90° kommt es zu einer Auslenkung aller Spins und somit zur Auslenkung der gesamten Longitudinalmagnetisierung aus der Z- in die XY-Ebene. Dadurch entsteht eine maximale Transversalmagnetisierung M_{xy} . Zweitens wird die Präzession der Spins angeglichen, d.h. sie rotieren in Phase. Durch die Rotation der Protonen wird in der Empfangsspule eine Spannung induziert, deren Frequenz der Larmorfrequenz entspricht. Dies ist das MR-Signal.

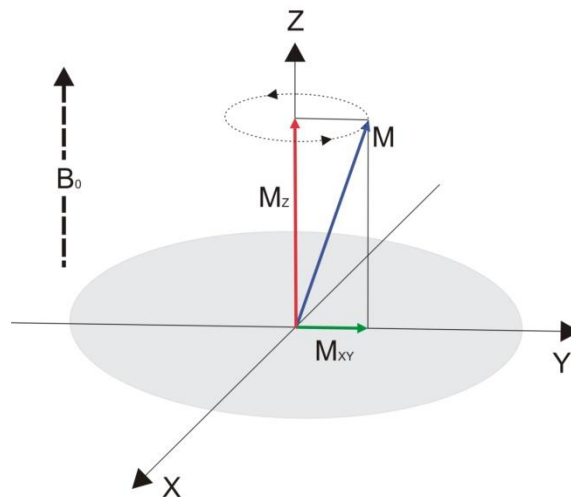


Abb. 3 Konvention der Raumaufteilung in der MRT. Die Z-Achse (= Präzessionsachse) liegt parallel zum statischen Magnetfeld B_0 . Protonen mit einem magnetischem Moment M präzessieren um die Z-Achse, so dass sich die Longitudinalmagnetisierung M_z aufbaut. Dargestellt ist auch die Transversalmagnetisierung M_{xy} entlang der XY-Ebene. Diese würde nach Applikation eines senkrechten HF-Pulses durch ein „Umkippen“ der Protonen zunehmen (hier nicht dargestellt) und durch MR Spulen messbar werden. Gleichzeitig würde die Longitudinalmagnetisierung abnehmen.

Relaxation

Nach Wegnahme des HF-Pulses führen zwei Prozesse dazu, dass das System wieder in seinen Ausgangszustand zurückkehrt – die Spin-Gitter und die Spin-Spin Wechselwirkung. Die Spin-Gitter Wechselwirkung führt zu einer longitudinalen Relaxation und somit zum Wiederaufbau der Longitudinalmagnetisierung M_z . Dies geschieht dadurch, dass die Spins langsam in ihren Ausgangszustand zurück kehren. Sie richten sich also erneut längs des konstanten Magnetfeldes aus und geben dabei ihre Energie wieder an die Umgebung ab. Dieser Prozess wird durch die Zeitkonstante T_1 beschrieben. Das ist die Zeit, die vergeht bis 63% der Nettomagnetisierung M_z entlang der Z-Achse wieder aufgebaut ist. Der zweite Prozess, die Spin-Spin Wechselwirkung, führt zu einer transversalen Relaxation, weil es zu einem Abbau der Transversalmagnetisierung M_{xy} kommt. Dies geschieht, weil sich die Spins gegenseitig beeinflussen. Dadurch geht die Phasenkohärenz verloren, d.h. sie ordnen sich wieder zufällig an und präzessieren außer Phase. Durch den Abbau der Phasenkohärenz wird auch die transversale Nettomagnetisierung kleiner und geht irgendwann gegen null. Dieser Prozess wird durch die T_2 Konstante beschrieben. Das ist die Zeit, die vergeht bis die transversale Magnetisierung auf 37% des Niveaus nach der Anregung zurückgekehrt ist. Verschiedene Störfaktoren bewirken darüber hinaus Inhomogenitäten des äußeren Magnetfeldes B_0 , was zu einer Beschleunigung der transversalen Relaxation führt. Aus diesem Grund reduziert

sich die transversale Magnetisierung mit einer kürzeren Zeitkonstante, die als T_2^* bezeichnet wird. Diese Relaxationsprozesse benötigen in Abhängigkeit vom Gewebe unterschiedlich viel Zeit. Dadurch kann mittels der MRT Gewebe mit unterschiedlich starkem Kontrast sichtbar gemacht werden.

Die Zeit zwischen zwei HF-Pulsen wird auch als Wiederholungszeit (engl. Time of Repetition, TR) bezeichnet. Die Zeit zwischen der Anregung und der Messung ist die Echozeit (engl. Time of Echo, TE).

Bildkodierung

Um ein Bild des gesamten Gehirns zu erhalten (Volumen), müssen Signale von jeder Position des Gehirns gemessen werden. Eine Herausforderung besteht darin, das Signal räumlich zu lokalisieren. Man nutzt dabei die Eigenschaft, dass die Larmorfrequenz der Protonen von der Stärke des Magnetfeldes abhängt (siehe Lamorgleichung). Ist also die Stärke des Magnetfeldes an unterschiedlichen räumlichen Positionen nicht gleich, ist auch die Larmorfrequenz an diesen Positionen unterschiedlich. Aus diesem Grund wird das permanente Magnetfeld B_0 durch zusätzliche temporäre Gradienten-Magnetfelder überlagert. Dadurch steigt die Stärke des resultierenden Magnetfeldes in Richtung des Gradienten an. Da MR Bilder schichtweise aufgenommen werden, müssen die Schichten einzeln angeregt werden. Dazu wird ein Gradient in Z-Richtung (von inferior nach superior ansteigend) angewandt, der es ermöglicht, dass selektiv nur eine bestimmte Gewebeschicht angeregt wird. Nachdem dieser Gradient angelegt wurde, hat jede Schicht ihre eigene Präzessionsfrequenz und kann somit selektiv durch einen HF-Puls mit gleicher Frequenz angeregt werden. Um das Signal innerhalb der Schicht zu lokalisieren, wird eine Ortskodierung vorgenommen, die aus einer Phasen- und einer Frequenzkodierung besteht. Für die *Phasenkodierung* wird ein Gradient in Y-Richtung (von anterior nach posterior ansteigend) zugeschaltet. Dies bewirkt, dass sich die Larmorfrequenzen in Y-Richtung unterscheiden. Hohe Feldstärken bewirken ein schnelleres Rotieren als niedrige Feldstärken. Wird der Gradient abgeschaltet, präzessieren alle Spins mit gleicher Geschwindigkeit weiter – allerdings phasenverschoben. Somit kann jede Position entlang der Y-Richtung anhand der für sie typischen Phase identifiziert werden. Die Kodierung in X-Richtung erfolgt durch *Frequenzkodierung*. Dazu wird ein dritter Gradient zugeschaltet, der bewirkt, dass sich die Larmorfrequenzen entlang der X-Richtung (von links nach

rechts) unterscheiden. Während des Anliegens dieses dritten Gradienten wird das MR-Signal gemessen. Dieses besteht aus einem spezifischen Phasen- und Frequenzspektrum. Jeder Raumpunkt (Voxel) ist nun einer spezifischen Frequenz und Phase zugeordnet. Soll das Volumen nicht schichtweise, sondern vollständig angeregt werden, muss zusätzlich eine Phasenkodierung in Z-Richtung (siehe Phasenkodierung in Y-Richtung) vorgenommen werden.

Der BOLD Effekt

Die bislang beschriebenen Prinzipien gelten für alle magnetresonanztomographischen Verfahren. Grundlage der fMRT ist der Blood Oxygen Level Dependency Effekt (BOLD Effekt), der von Ogawa und Kollegen (1990) entdeckt wurde. Dieser Effekt spiegelt das Verhältnis von sauerstoffreichem (oxygeniertem) und sauerstoffarmem (deoxygeniertem) Blut wider. Für die fMRT sind dabei die unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften von oxygeniertem und deoxygeniertem Blut entscheidend. Verantwortlich dafür ist das an das Hämoglobin gebundene Eisen. Bei oxygeniertem Hämoglobin sind die Eisenelektroden durch die Sauerstoffbindung gepaart. Es ist diamagnetisch, also magnetisch neutral. Deoxyhämoglobin besitzt zwei ungepaarte Eisenelektroden und ist somit paramagnetisch. Es bewirkt lokale Magnetfeldinhomogenitäten. Kommt es in einem Hirnareal zu einem Anstieg der neuronalen Aktivität erhöhen sich der Blutfluss und das Blutvolumen. Dabei wird mehr Sauerstoff in dieses Areal geliefert als verbraucht wird. Dies führt zu einem enormen Anstieg an diamagnetischem oxygeniertem Hämoglobin. Da nun der relative Anteil an paramagnetischem Deoxyhämoglobin reduziert wird, kommt es zu einem Abfall der Magnetfeldinhomogenitäten. Dies geht mit einer Verlängerung der T2* Relaxationszeit einher. Die Veränderungen der lokalen Magnetfeldinhomogenitäten bewirken somit eine Veränderung des MR-Signals, wobei in neuronal aktiven Arealen ein Anstieg des Signals messbar ist. Dies ist der BOLD Effekt. Somit kann die neuronale Aktivierung indirekt über eine Veränderung des Blutflusses gemessen werden.

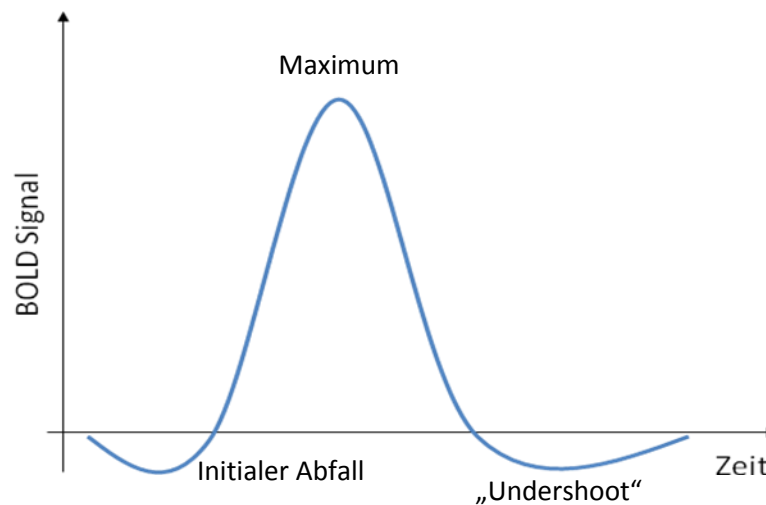


Abb. 4 Schematische Darstellung des BOLD Signals. Nach einem initialen Abfall erreicht das Signal nach ungefähr vier bis sechs Sekunden sein Maximum, um danach kurzfristig die Nulllinie zu unterschreiten.

Die Veränderung im MR-Signal wird auch als BOLD Antwort oder hämodynamische Antwort (engl. hemodynamic response function, hrf) bezeichnet. Sie ist charakterisiert durch einen spezifischen zeitlichen Verlauf (Abbildung 4). Da nach Beginn der neuronalen Aktivität nicht sofort die notwendige Menge an Sauerstoff geliefert wird, kommt es zunächst zu einem initialen Abfall des Signals, bevor es kontinuierlich ansteigt. Nach ungefähr vier bis sechs Sekunden erreicht die hämodynamische Antwort schließlich ihr Maximum. Nach dem das Maximum erreicht wurde, fällt das Signal zunächst unter die Nulllinie. Dies wird auch als „Undershoot“ bezeichnet. Dies kann dadurch erklärt werden, dass nach der neuronalen Aktivität der Blutfluss schneller abnimmt als das Blutvolumen, wodurch es zu einem erhöhten Anteil an Deoxyhämoglobin kommt. Dabei unterscheidet sich die hämodynamische Antwort in Abhängigkeit von den Stimuluseigenschaften und den aktivierten Hirnregionen (Heeger & Rees, 2002) und variiert sogar interindividuell (Handwerker et al., 2004). Der Ort des Signals kann mit einer hohen räumlichen Auflösung rekonstruiert werden, wohingegen die zeitliche Auflösung aufgrund der Trägheit der BOLD Antwort relativ gering ist (z.B. verglichen mit der EEG).

Datenverarbeitung

Bevor die Daten statistisch analysiert werden können, müssen sie vorverarbeitet werden. Im Folgenden werden die wichtigsten Schritte der Vorverarbeitung kurz beschrieben. Dazu gehören die Akquisitionszeitkorrektur, die Bewegungskorrektur, die

Koregistrierung, die Normalisierung und die Räumliche Glättung. Anschließend folgt eine Einführung in die statistische fMRT Datenanalyse. Die fMRT Datenverarbeitung ist schematisch in Abbildung 5 dargestellt.

Vorverarbeitung

Die Vorverarbeitung beginnt in der Regel mit einer *Akquisitionszeitkorrektur*. Da innerhalb einer TR ein Volumen schichtweise aufgenommen wird, wird jede Schicht systematisch zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt erhoben (Henson, 2004a). Dabei können die Schichten in aufsteigender, absteigender oder überlappender (z.B. erst die geraden, dann die ungeraden Schichten) Reihenfolge aufgenommen werden. Um für die unterschiedlichen Aufnahmezeiten der einzelnen Schichten innerhalb der funktionellen

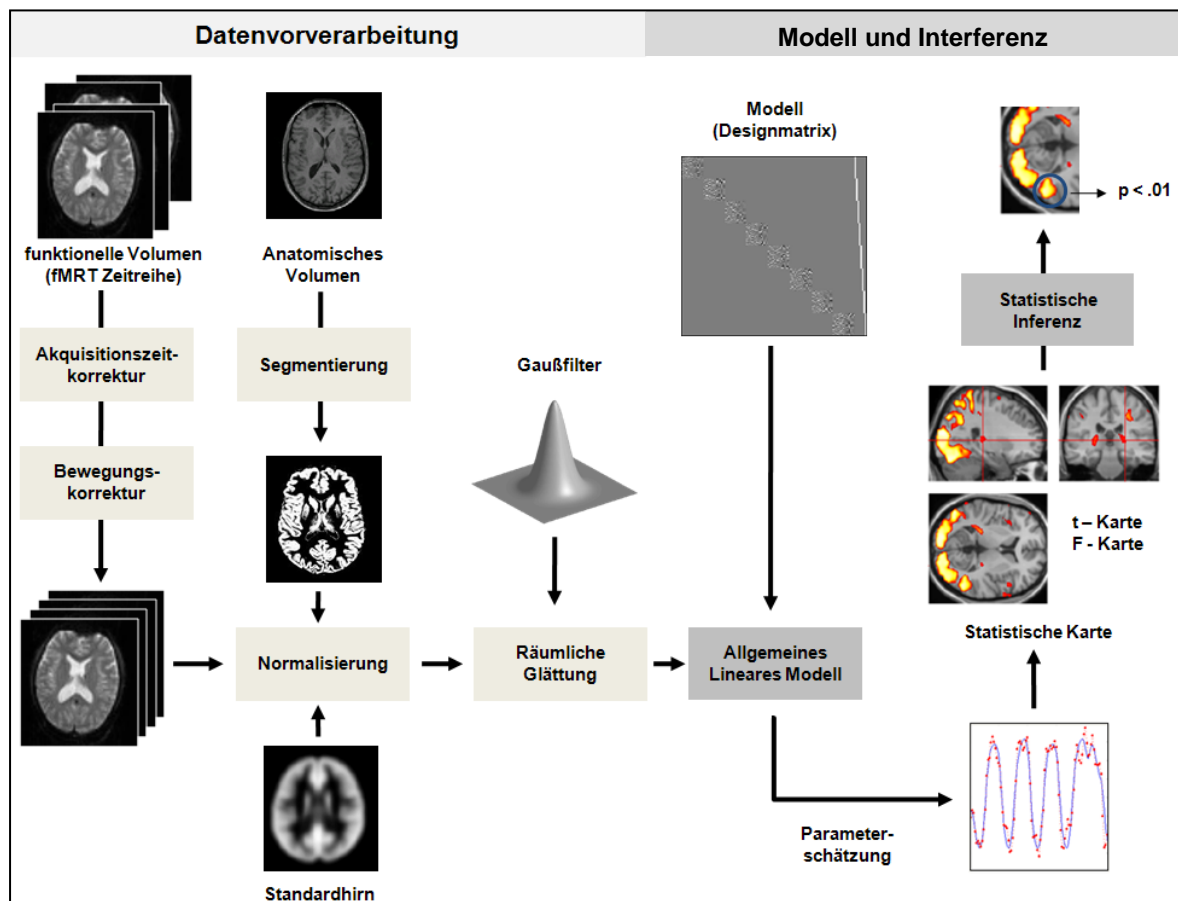


Abb. 5 Schematische Darstellung der fMRT Datenverarbeitung. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist der Schritt der Koregistrierung (siehe Text) nicht dargestellt. Die Koregistrierung findet nach der Bewegungskorrektur statt und dient der Angleichung der räumlichen Orientierung von funktionellen und strukturellem Bild (modifiziert nach Friston, Ashburner, Kiebel, Nichols & Penny, 2007, S. 312)

Volumen zu korrigieren, wird eine Akquisitionszeitkorrektur durchgeführt. Diese besteht in einer zeitlichen Interpolation, bei der das Signal in einer Schicht mit Hilfe von benachbarten Zeitpunkten geschätzt wird.

Das größte Problem der fMRT sind Kopfbewegungen der Versuchspersonen. Da ein Voxel in den Messdaten einen festen räumlichen Punkt repräsentiert, führen Bewegungen dazu, dass die an diesem Punkt akquirierten Daten von unterschiedlichen Voxeln stammen. Darum muss eine *Bewegungskorrektur* durchgeführt werden. Alle Bilder der Zeitreihe werden dabei auf ein gewähltes Referenzbild angepasst. Die ist in der Regel das erste aufgenommene Bild. Dazu werden die sechs Parameter der Relativbewegungen (drei Translationen und drei Rotationen in allen drei Raumachsen) eines jeden weiteren Bildes bestimmt. Das Gehirn wird dabei als ganzer Körper verstanden, dessen Raumlage mit Hilfe dieser sechs Parameter auf das Referenzbild korrigiert wird. Die Bewegungsparameter können als Kovariate in das statistische Modell zur Schätzung der Bewegungseffekte eingeführt werden.

In einem nächsten Schritt erfolgt die *Koregistrierung* von anatomischen und funktionellen Bildern. Ziel der fMRT ist es, die neuronale Aktivität den genauen anatomischen Strukturen zuzuordnen. Da die funktionellen Bilder eine vergleichsweise geringe räumliche Auflösung besitzen, sind anatomische Strukturen jedoch nicht gut zu erkennen. In jeder fMRT Messung wird deshalb auch ein anatomisches Bild mit hoher räumlicher Auflösung aufgenommen. Dieses anatomische Bild wird auf die funktionellen Bilder koregistriert (z.B. auf das erste aufgenommene funktionelle Bild oder auf den Mittelwert aller funktionellen Bilder). So wird für jede Versuchsperson die räumliche Orientierung des individuellen anatomischen Bildes an die Orientierung der funktionellen Bilder angeglichen. Dadurch kann für jede Versuchsperson die neuronalen Aktivierungen auf dem individuellen anatomischen Bild abgebildet werden.

Der nächste Schritt besteht in einer *Segmentierung* des anatomischen Bildes. Dabei wird dieses in drei Bilder zerlegt, welche jeweils die Wahrscheinlichkeiten für graue Substanz, weiße Substanz oder Liquor Cerebrospinalis enthalten. Das graue Substanzbild wird für den nächsten Schritt – die *Normalisierung* benötigt. Da sich die Anatomie des Gehirns individuell stark unterscheidet, Gruppenanalysen aber anhand der Gehirne mehrerer Personen Schlussfolgerungen über den Ort neuronaler Aktivierung treffen sollen, muss jedes individuelle Gehirn in einen standardisierten anatomischen Raum

überführt werden. Dieser Prozess wird als Normalisierung bezeichnet. Dabei werden das anatomische sowie alle funktionellen Bilder durch lineare und nichtlineare Transformationen in das MNI-Referenzsystem (Montreal Neurological Institute) überführt. Dieses Referenzsystem basiert auf dem vom MNI definierten Standardgehirn, welches anhand von 152 Einzelgehirnen erstellt wurde. Konkret wurde in der vorliegenden Untersuchung zunächst eine Normalisierung des in der Segmentierung entstandenen grauen Substanzbildes vorgenommen. Die dabei gewonnen Parameter wurden anschließend auf das anatomische und alle funktionellen Bilder angewandt. Dadurch ist der Vergleich der Ergebnisse innerhalb und zwischen Untersuchungsgruppen möglich.

Als letzten Schritt in der Vorverarbeitung wird eine *räumliche Glättung* durchgeführt. Die Grundidee ist, dass es unwahrscheinlich ist, dass in einem bestimmten Voxel eine starke Aktivierung vorliegt, während ein unmittelbar benachbarter Voxel keine Aktivierung zeigt. Man geht davon aus, dass diese Signalschwankungen räumlich benachbarter Voxel nicht physiologisch bedingt sind und somit Messfehler darstellen. Deshalb werden diese extremen nicht physiologisch bedingten Signalunterschiede zwischen benachbarten Voxeln eliminiert. Dazu wird ein Gaußfilter in alle drei Raumrichtungen auf die Daten angewandt, der die Stärke der Nachbarschaft zwischen einem bestimmten Voxel und dessen benachbarten unter dem Filter liegenden Voxeln bestimmt. Die Aktivität eines Voxels wird dann als gewichtetes Mittel über benachbarte Voxel berechnet. Durch die Glättung reduziert sich die räumliche Varianz und das Signal-Rausch Verhältnis wird verbessert.

Statistische Analyse

Bei der fMRT wird in jedem Voxel ein Signal über die Zeit gemessen (Voxelzeitreihe). Damit ergibt sich für jeden Voxel eine Voxelzeitreihe. Ziel der statistischen Analyse ist es, diese gemessene Voxelzeitreihe so gut wie möglich vorherzusagen bzw. zu modellieren. Dazu wird das Allgemeine Lineare Modell (ALM) verwendet. Mit dessen Hilfe werden die beobachteten Daten als Linearkombination verschiedener erklärender Variablen (Regressoren) beschrieben (Gleichung 2):

$$Y_i = \beta_1 \cdot x_{i1} + \beta_2 \cdot x_{i2} + \dots + \beta_j \cdot x_{ij} + \varepsilon \quad [2]$$

Y = gemessenes MR Signal

x = Regressor

β = Parametergewicht

ε = Fehler

i = Anzahl der gemessenen Werte in der Voxelzeitreihe/der Messzeitpunkte

j = Anzahl der Regressoren

Die Regressoren entsprechen den experimentellen Bedingungen. Sie gehen mit unterschiedlicher Gewichtung ein. Die Parametergewichte werden dabei so geschätzt, dass die beobachteten Daten so gut wie möglich erklärt werden können und der nicht zu erklärende Anteil (ε) möglichst gering ist. Diese Linearkombination wird in SPM in einer Designmatrix abgebildet. In dieser Designmatrix entspricht jede Spalte einer Bedingung des Experiments und jede Zeile einer fMRT Aufnahme (d.h. einem Zeitpunkt). So wird genau definiert, zu welchem Zeitpunkt welche experimentelle Bedingung präsentiert worden ist.

Da es für jeden Voxel eine Zeitreihe gibt, wird auch das ALM für jeden Voxel geschätzt. Das heißt, dass sich die Gewichte der Bedingungen von Voxel zu Voxel unterscheiden. Um Aktivierungsunterschiede zwischen Bedingungen feststellen zu können, werden die Gewichte der entsprechenden Bedingungen inferenzstatistisch verglichen (in der Regel mittels t-Tests bzw. t-Kontrasten). Dies wird für jeden Voxel durchgeführt. Die t-Werte werden in einer dreidimensionalen statistischen Karte des gesamten Gehirns (Statistical Parametric Map, SPM) abgebildet. Signifikante Aktivierungsunterschiede werden farblich markiert, so dass Schlussfolgerungen darüber getroffen werden können, in welchen Voxeln ein Unterschied zwischen Bedingungen aufgetreten ist.

Die bislang beschriebenen Analyseschritte beziehen sich auf die statistische Analyse von einzelnen Versuchspersonen (First Level Analyse). Ziel der fMRT ist es in der Regel jedoch, eine Gruppenanalyse (Second Level Analyse) durchzuführen. Typischerweise unterscheidet man hier zwischen der Analyse nach dem Modell fester Effekte (Fixed Effects Analyse) und der Analyse nach dem Modell zufälliger Effekte (Random Effects Analyse)¹¹. Bei ersteren lassen sich die Schlussfolgerungen nur auf die untersuchte

¹¹ In der vorliegenden Arbeit wurden Random Effects Analysen durchgeführt.

Gruppe generalisieren, da die interindividuelle Variabilität nicht berücksichtigt wird. Die zweite Variante lässt dagegen Schlussfolgerungen für die gesamte Population zu, da nicht nur die intraindividuelle, sondern auch die interindividuelle Variabilität berücksichtigt wird. Für die Gruppenanalyse werden die in der Einzelanalyse errechneten Kontrastbilder aller Versuchspersonen analysiert. Sie enthalten für jeden Voxel die Betagewichte, die in der Einzelprobandenanalyse aus der Differenz zwischen zwei Bedingungen berechnet wurden. Für jeden Voxel wird inferenzstatistisch überprüft, ob sich die Effekte über alle Versuchspersonen hinweg signifikant von null unterscheiden. Das Ergebnis wird in einer dreidimensionalen statistischen Karte, in der die Stärke der Effekte farblich kodiert ist, abgebildet.

Literatur

- Ashburner, J., & Friston, K.J. (1999). Nonlinear spatial normalization using basis functions. *Human Brain Mapping, 7*, 254-266.
- Bloch, F. (1946). Nuclear Induction. *Physical Review, 70*, 460.
- Handwerker, D.A., Ollinger, J.M., & D'Esposito, M. (2004). Variation of BOLD hemodynamic responses across subjects and brain regions and their effects on statistical analyses. *Neuroimage, 21*, 1639-1651.
- Heeger, D.J. & Ress, D. (2002). What does fMRI tell us about neuronal activity? *Nature Reviews Neuroscience, 3*, 142-151.
- Henson, R.N.A. (2004a). Analysis of fMRI Timeseries. In R. S.J. Franckowiak, K.J. Friston, C.D. Frith, R.J. Dolan & C.J. Price (Eds.), *Human Brain Function* (2nd ed.). San Diego: Academic Press.
- Ogawa, S., Lee, T.M., Nayak, A.S., & Glynn, P. (1990). Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance image of rodent brain at high magnetic fields. *Magnetic Resonance Medicine, 14*, 68-78.
- Purcell, E.M., Torrey, H.C., & Pound, R.V. (1946). Resonance Absorption by Nuclear Magnetic Moments in a Solid. *Physical Review, 69*, 37.

Anhang II – Tabellen

Tab. 1 Ergebnisse des Kontrasts *Inkongruent* > *Kongruent* (SOA lang) in Experiment 5 ($p < .01$, FDR korrigiert, $k > 20$). Das Clustermaximum ist fettgedruckt dargestellt. Aktivierungen innerhalb der Cluster sind eingerückt dargestellt. Abkürzungen: ACC – anteriorer cingulärer Cortex; BA – Brodman Areal; Funkt. – Funktionell; LPFC – lateraler präfrontaler Cortex; P.op. – Pars opercularis; P.tr. – Pars triangularis; Zytoarch. - Zytoarchitektonisch.

| Anatomische Region | Hemi-sphäre | Zytoarch./ Funkt. Areal | Cluster- größe (Voxel) | T - Wert | Peak-Koordinaten MNI (mm) | | |
|--|-------------|-------------------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|------------|------------|
| | | | | | x | y | z |
| <u>Frontal und Subkortikal</u> | | | | | | | |
| Gyrus frontalis inferior (P. op.) | R | BA 44 | 1912 | 10.5 | 46 | 12 | 26 |
| Insula | R | | | 9.0 | 36 | 12 | 6 |
| Gyrus frontalis medius (LPFC) | R | BA 9, 46 | | 7.0 | 36 | 50 | 16 |
| Supplementär Motorische Area | R/L | BA 6 | 1594 | 9.9 | 2 | 6 | 52 |
| Gyrus precentralis | R | BA 6 | | 6.6 | 28 | -6 | 62 |
| Insula | L | | 549 | 8.8 | -32 | 16 | 4 |
| Gyrus precentralis | L | BA 6 | 588 | 8.8 | -30 | -10 | 64 |
| Gyrus frontalis medius | L | BA 6 | | 6.9 | -26 | 4 | 54 |
| Gyrus frontalis inferior (P. op.) | L | BA 44 | 352 | 6.7 | -46 | 6 | 24 |
| Substantia nigra | R | | 274 | 6.5 | 8 | -14 | -22 |
| Thalamus | R | | | 6.0 | 18 | -10 | 0 |
| Thalamus | L | | 53 | 5.8 | -16 | -12 | 10 |
| Gyrus frontalis inferior (P. tr.) | L | BA 45 | 174 | 5.8 | -40 | 28 | 26 |
| Gyrus frontalis medius (LPFC) | L | BA 9, 46 | | 5.0 | -36 | 42 | 30 |
| Gyrus cinguli anterior | R | | 31 | 5.4 | 10 | 24 | 24 |
| <u>Temporal</u> | | | | | | | |
| Gyrus temporalis medius | L | | 267 | 7.1 | -52 | -62 | 0 |
| Gyrus temporalis inferior | L | | | 6.2 | -42 | -58 | -8 |
| Gyrus temporalis inferior | R | | 203 | 5.9 | 56 | -60 | -8 |
| Gyrus temporalis medius | R | | | 5.4 | 46 | -48 | -2 |
| <u>Parietal</u> | | | | | | | |
| Sulcus intraparietalis | L | | 1744 | 9.5 | -32 | -46 | 38 |
| Lobulus parietalis inferior | L | | | 6.7 | -56 | -30 | 44 |
| Sulcus intraparietalis | R | | 1879 | 9.1 | 40 | -40 | 44 |
| Gyrus supramarginalis | R | BA 2 | | 8.9 | 58 | -26 | 44 |
| Lobulus parietalis inferior | R | | | 6.3 | 54 | -36 | 54 |
| <u>Okzipital</u> | | | | | | | |
| Gyrus calcarinus | L | BA 17 | 961 | 7.1 | -12 | -72 | 6 |
| Gyrus calcarinus | L | BA 18 | | 6.8 | -2 | -82 | 12 |
| Cerebellum (Vermis) | R | | | 6.4 | 6 | -66 | -12 |
| <u>Cerebellar</u> | | | | | | | |
| Cerebellum | L | | 254 | 10.8 | -42 | -54 | -32 |
| Cerebellum | L | | 73 | 7.5 | -8 | -74 | -24 |

Anhang II - Tabellen

Tab. 2 Ergebnisse des *Interaktionskontrasts SOA x Kongruenz* in Experiment 5 ($p < .01$, FDR korrigiert, $k > 20$). Cluster, die bei langem SOA einen stärkeren Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen zeigten als bei kurzem SOA. Das Clustermaximum ist fettgedruckt dargestellt. Aktivierungen innerhalb der Cluster sind eingerückt dargestellt. Abkürzungen: ACC – anteriorer cingulärer Cortex; BA – Brodman Areal; Funkt. – Funktionell; LPFC – lateraler präfrontaler Cortex; P.op. – Pars opercularis; Zytoarch. - Zytoarchitektonisch.

| Anatomische Region | Hemi-sphäre | Zytoarch./ Funkt. Areal | Cluster- größe (Voxel) | T - Wert | Peak-Koordinaten MNI (mm) | | |
|--|-------------|-------------------------------|------------------------------|-------------|------------------------------|------------|------------|
| | | | | | x | y | z |
| <u>Frontal</u> | | | | | | | |
| Insula | L | | 158 | 8.1 | -32 | 18 | 4 |
| Supplementär Motorische Area | R/L | BA 6 | 331 | 8.0 | 2 | 6 | 56 |
| Gyrus cinguli anterior (ACC) | R | | | 5.7* | 10 | 22 | 28 |
| Gyrus frontalis medius (LPFC) | R | BA 46 | 58 | 7.2 | 38 | 40 | 16 |
| Gyrus precentralis | L | BA 6 | 23 | 7.1 | -44 | -4 | 34 |
| Gyrus frontalis inferior (P. op.) | L | BA 44 | 32 | 5.4 | -48 | 10 | 28 |
| Insula | R | | 264 | 7.1 | 40 | 16 | -6 |
| Gyrus frontalis inferior (P. op.) | R | BA 44/45 | 179 | 6.9 | 46 | 12 | 26 |
| <u>Parietal</u> | | | | | | | |
| Sulcus intraparietalis | L | | 107 | 7.4 | -36 | -46 | 36 |
| Sulcus intraparietalis | R | | 150 | 7.7 | 46 | -42 | 40 |
| Lobulus parietalis inferior | R | | | 6.7 | 48 | -36 | 46 |
| Lobulus parietalis inferior | L | | 89 | 6.6 | -40 | -34 | 42 |
| <u>Okzipital/Cerebellar</u> | | | | | | | |
| Cerebellum | R | | 969 | 5.7* | 28 | -64 | -24 |
| Gyrus calcarinus | L | BA 17 | | 5.6* | -16 | -72 | 12 |
| Gyrus calcarinus | R | BA 17 | | 4.5* | 6 | -68 | 10 |
| Gyrus lingualis | R | BA 18 | | 4.3* | 8 | -72 | 2 |
| <u>Subkortikal</u> | | | | | | | |
| Thalamus | L | | 52 | 6.4 | -16 | -12 | 8 |

Anmerkung. Die mit * gekennzeichneten Koordinaten waren unter einer Schwelle von $p < .05$ (FDR korrigiert, $k > 20$) signifikant.

Anhang II - Tabellen

Tab. 3 Ergebnisse des Kontrasts *Inkongruent > Kongruent (SOA kurz)* in Experiment 6 ($p < .001$, unkorrigiert, $k > 20$). Das Clustermaximum ist fettgedruckt dargestellt. Aktivierungen innerhalb der Cluster sind eingerückt dargestellt. Abkürzungen: BA – Brodman Areal; Funkt. – Funktionell; P.op. – Pars opercularis; Zytoarch. - Zytoarchitektonisch.

| Anatomische Region | Hemi- sphäre | Zytoarch./ Funkt. Areal | Cluster- größe (Voxel) | T - Wert | Peak-Koordinaten MNI (mm) | | |
|--|-----------------|-------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|----|----|
| | | | | | x | y | z |
| <i>Frontal</i> | | | | | | | |
| Gyrus frontalis inferior (P. op.) | L | BA 44 | 35 | 5.3 | -54 | 14 | 20 |

Anhang II - Tabellen

Tab. 4 Ergebnisse des Kontrasts *Inkongruent* > *Kongruent* (SOA lang) in Experiment 6 ($p < .001$, unkorrigiert, $k > 20$). Das Clustermaximum ist fettgedruckt dargestellt. Aktivierungen innerhalb der Cluster sind eingerückt dargestellt. Abkürzungen: BA – Brodman Areal; Funkt. – Funktionell; LPFC – lateraler präfrontaler Cortex; P.op. – Pars opercularis; Zytoarch. - Zytoarchitektonisch.

| Anatomische Region | Hemi- sphäre | Zytoarch./ Funkt. Areal | Cluster- größe (Voxel) | T - Wert | Peak-Koordinaten MNI (mm) | | |
|---|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|------------|
| | | | | | x | y | z |
| <u>Frontal</u> | | | | | | | |
| Gyrus frontalis medius | R | | 217 | 6.4 | 40 | 6 | 54 |
| Gyrus frontalis inferior (P.op.) | R | BA 44 | | 4.5 | 52 | 14 | 32 |
| Gyrus frontalis medius | L | BA 6/8 | 35 | 6.2 | -32 | 8 | 58 |
| Gyrus frontalis inferior (LPFC) | L | BA 44/45 | 37 | 5.5 | -48 | 20 | 34 |
| Gyrus frontalis inferior (P.op.) | R | BA 44 | 142 | 4.7 | 48 | 16 | 4 |
| anteriore Insula | R | | | 4.7 | 42 | 22 | -2 |
| med Gyrus frontalis superior | L | | 90 | 4.6 | -4 | 24 | 44 |
| med Gyrus frontalis superior | R | | | 4.5 | 2 | 44 | 48 |
| Gyrus frontalis medius (LPFC) | R | BA 46 | 40 | 4.3 | 48 | 32 | 26 |
| Gyrus frontalis medius (LPFC) | R | BA 46 | | 4.3 | 40 | 32 | 20 |
| anteriore Insula | L | | 30 | 4.2 | -34 | 18 | -8 |
| <u>Parietal</u> | | | | | | | |
| Sulcus intraparietalis | R | | 155 | 5.9 | 52 | -36 | 50 |
| Lobulus parietalis inferior | R | | | 5.0 | 44 | -50 | 54 |
| Sulcus intraparietalis | R | | | 3.9 | 36 | -52 | 52 |
| Lobulus parietalis inferior | L | | 343 | 5.2 | -56 | -32 | 46 |
| Sulcus intraparietalis | L | | | 5.2 | -48 | -42 | 40 |
| Lobulus parietalis inferior | R | | 51 | 4.3 | 52 | -54 | 40 |
| <u>Temporal</u> | | | | | | | |
| Gyrus temporalis inferior | R | | 23 | 4.6 | 42 | -58 | -10 |
| Gyrus lingualis | L | | 24 | 4.9 | -18 | -54 | -12 |
| <u>Okzipital</u> | | | | | | | |
| Gyrus occipitalis medius | R | | 85 | 5.1 | 28 | -74 | 28 |
| Gyrus occipitalis superior | R | | | 4.5 | 28 | -74 | 40 |

Anhang II - Tabellen

Tab. 5 Ergebnisse des *Interaktionskontrasts SOA x Kongruenz* in Experiment 6 ($p < .001$, unkorrigiert, $k > 20$). Cluster, die bei langem SOA einen stärkeren Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen zeigten als bei kurzem SOA. ($p < .001$, $k > 20$, unkorrigiert). Das Clustermaximum ist fettgedruckt dargestellt. Aktivierungen innerhalb der Cluster sind eingerückt dargestellt. Abkürzungen: BA – Brodman Areal; Funkt. – Funktionell; P.op. – Pars opercularis; Zytoarch. - Zytoarchitektonisch.

| Anatomische Region | Hemi- sphäre | Zytoarch./ Funkt. Areal | Cluster- größe (Voxel) | T - Wert | Peak-Koordinaten MNI (mm) | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|-----|-----|
| | | | | | x | y | z |
| <i>Frontal</i> | | | | | | | |
| med Gyrus frontalis superior | R | BA 8 | 32 | 7.0 | 4 | 28 | 46 |
| Gyrus frontalis medius | R | BA 44 | 201 | 6.9 | 42 | 6 | 48 |
| Gyrus frontalis superior | | | | 5.4 | 28 | 0 | 58 |
| Gyrus frontalis inferior (P.op.) | R | BA 44 | 135 | 6.0 | 52 | 12 | 34 |
| Insula | R | | 28 | 4.9 | 38 | 20 | -6 |
| Gyrus frontalis inferior (P.op.) | R | BA 44/45 | 35 | 4.4 | 40 | 18 | 6 |
| <i>Parietal</i> | | | | | | | |
| Sulcus intraparietalis | R | | 279 | 6.1 | 34 | -66 | 36 |
| Sulcus intraparietalis | R | | | 4.6 | 38 | -54 | 40 |
| Lobulus parietalis inferior | R | | 21 | 6.1 | 52 | -36 | 50 |
| Lobulus parietalis inferior | R | | 38 | 5.7 | 44 | -48 | 54 |
| Precuneus | R | BA 7a | 61 | 5.5 | 6 | -56 | 42 |
| Sulcus intraparietalis | L | | 62 | 4.8 | -32 | -44 | 32 |
| Sulcus intraparietalis | L | | | 4.6 | -32 | -52 | 36 |
| Precuneus | L | BA 7a | 20 | 4.3 | -6 | -58 | 32 |
| Gyrus cinguli medius | R/L | | 56 | 4.9 | 0 | -36 | 36 |
| <i>Okzipital</i> | | | | | | | |
| Gyrus occipitalis medius | L | | 87 | 5.7 | -30 | -86 | 14 |
| Gyrus lingualis | R | V3 | 48 | 5.2 | 18 | -66 | -10 |
| Gyrus lingualis | L | V3 | 93 | 5.4 | -12 | -60 | -8 |
| Gyrus lingualis | R | BA 18 | 36 | 4.5 | 16 | -84 | -10 |
| Gyrus calcarinus | R | BA 17 | | 4.1 | 2 | -86 | -2 |
| Gyrus fusiformis | R | | 45 | 5.5 | 32 | -52 | -14 |
| Gyrus fusiformis | L | V4 | 41 | 4.9 | -26 | -70 | -12 |
| <i>Temporal</i> | | | | | | | |
| Gyrus temporalis medius | R | MT | 67 | 5.2 | 54 | -70 | 10 |
| Gyrus temporalis medius | L | MT | 57 | 5.1 | -54 | -72 | 0 |
| <i>Cerebellar</i> | | | | | | | |
| Cerebellum | R | | 33 | 5.7 | 20 | -56 | -22 |

Tab. 6 Ergebnisse des funktionellen Localizers in Experiment 6. (A) Areale, die eine stärkere Aktivierung bei Gesichtern als bei Szenen zeigten ($p < .0001$, unkorrigiert, $k > 20$). (B) Areale, die eine stärkere Aktivierung bei Szenen als bei Gesichtern zeigten ($p < .0001$, unkorrigiert, $k > 20$). Das Clustermaximum ist fettgedruckt dargestellt. Aktivierungen innerhalb der Cluster sind eingerückt dargestellt. Abkürzungen: FFA – Fusiform Face Area; Funkt. – Funktionell; OFA – Occipital Face Area; PPA – Parahippocampal Place Area; STS – Sulcus temporalis superior; TOS – Transverse Occipital Sulcus; Zytoarch. - Zytoarchitektonisch.

| Anatomische Region | Hemi-sphäre | Zytoarch./ Funkt. Areal | Cluster- größe (Voxel) | T - Wert | Peak-Koordinaten MNI (mm) | | |
|---|-------------|-------------------------------|------------------------------|----------------|------------------------------|------------|------------|
| | | | | | x | y | z |
| A Gesichter > Szenen | | | | | | | |
| Gyrus temporalis medius (STS) | L | | 354 | 11.6** | -54 | -72 | 4 |
| Gyrus occipitalis inferior (OFA) | L | | | 7.9 | -44 | -78 | -8 |
| Gyrus fusiformis | L | | | 5.6 | -40 | -76 | -14 |
| Gyrus temporalis medius (STS) | R | | 487 | 10.7** | 52 | -62 | 8 |
| Gyrus occipitalis inferior (OFA) | R | | | 9.5 | 48 | -72 | -12 |
| Gyrus fusiformis (FFA) | R | | 47 | 8.7** | 42 | -46 | -20 |
| Gyrus fusiformis (FFA) | L | | 31 | 6.5* | -44 | -52 | -20 |
| B Szenen > Gesichter | | | | | | | |
| Gyrus fusiformis/Gyrus lingualis | R | | 1934 | 13.9*** | 28 | -62 | -8 |
| Gyrus fusiformis (PPA) | R | | | 13.0 | 32 | -48 | -8 |
| Gyrus fusiformis (PPA) | L | | | 10.5 | -28 | -52 | -8 |
| Gyrus fusiformis/Gyrus lingualis | L | | | 8.2 | -24 | -64 | -12 |
| Gyrus occipitalis medius (TOS) | L | | 164 | 8.2*** | -28 | -84 | 12 |
| Gyrus occipitalis medius (TOS) | L | | | 8.2 | -42 | -82 | 16 |
| Gyrus occipitalis medius (TOS) | R | | 20 | 7.7** | 42 | -80 | 14 |

Anhang II - Tabellen

Tab. 7 Ergebnisse der Konjunktionsanalyse über die Kontraste *Inkongruent* > *Kongruent* (SOA lang) ($p < .001$, unkorrigiert, $k > 20$) in Experiment 5 und 6. Das Clustermaximum ist fettgedruckt dargestellt. Aktivierungen innerhalb der Cluster sind eingerückt dargestellt. Abkürzungen: BA – Brodman Areal; Funkt. – Funktionell; P.op. – Pars opercularis; Zytoarch. - Zytoarchitektonisch.

| Anatomische Region | Hemi- sphäre | Zytoarch./ Funkt. Areal | Cluster- größe (Voxel) | T - Wert | Peak-Koordinaten MNI (mm) | | |
|--|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|-----------|
| <i>Frontal</i> | | | | | | | |
| Gyrus frontalis inferior (P. op.) | R | BA 45 | 78 | 4.7 | 48 | 16 | 4 |
| Insula | R | | | 4.6 | 40 | 20 | -4 |
| Gyrus frontalis inferior (P. op.) | R | BA 44 | 53 | 4.7 | 48 | 16 | 4 |
| <i>Parietal</i> | | | | | | | |
| Lobulus parietalis inferior | L | | 255 | 5.2 | -56 | -32 | 46 |
| Sulcus intraparietalis | L | | | 4.7 | -40 | -46 | 42 |
| Lobulus parietalis inferior | R | | 134 | 5.9 | 52 | -36 | 50 |
| Sulcus intraparietalis | R | | | 3.9 | 36 | -52 | 52 |

Anhang II - Tabellen

Tab. 8 Ergebnisse der Konjunktionsanalyse über die *Interaktionskontraste SOA x Kongruenz* ($p < .001$, unkorrigiert, $k > 20$) in Experiment 5 und 6. Das Clustermaximum ist fettgedruckt dargestellt. Aktivierungen innerhalb der Cluster sind eingerückt dargestellt. Abkürzungen: BA – Brodman Areal; Funkt. – Funktionell; P.op. – Pars opercularis; Zytoarch. - Zytoarchitektonisch.

| Anatomische Region | Hemi- sphäre | Zytoarch./ Funkt. Areal | Cluster- größe (Voxel) | T - Wert | Peak-Koordinaten MNI (mm) | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|-----|----|
| <i>Frontal</i> | | | | | | | |
| Gyrus frontalis inferior (P.op.) | R | BA 44 | 101 | 5.5 | 54 | 14 | 32 |
| Insula | R | | 33 | 4.4 | 32 | 18 | 6 |
| Insula | R | | 28 | 4.9 | 38 | 20 | -6 |
| <i>Parietal</i> | | | | | | | |
| Sulcus intraparietalis | L | | 30 | 4.6 | -34 | -54 | 38 |
| Lobulus parietalis inferior | R | | 28 | 5.0 | 42 | -46 | 54 |
| Sulcus intraparietalis | R | | 21 | 4.3 | 30 | -56 | 42 |
| Lobulus parietalis inferior | R | | 20 | 5.1 | 50 | -36 | 50 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------|--|
| Abb. | Abbildung |
| ACC | anteriorer cingulärer Cortex |
| ALM | Allgemeines Lineares Modell |
| ANOVA | Analysis of Variance |
| BA | Brodman Area |
| BOLD | Blood Oxygen Level Dependent |
| bzw. | beziehungsweise |
| C | Cerebellum |
| ca. | circa |
| cm | Zentimeter |
| DLPFC | dorsolateraler präfrontaler Cortex |
| EEG | Elektroencephalographie |
| EPI | Echo Planar Imaging |
| IRI | Interreaktionsintervall |
| FDR | False Discovery Rate |
| FIR | Finite Impulse Response |
| FFA | Fusiform Face Area |
| fMRT | funktionelle Magnetresonanztomographie |
| FWHM | Full-Width at Half Maximum |
| GC | Gyrus calcarinus |
| GCM | Gyrus cinguli medius |
| GF | Gyrus fusiformis |
| GFI | Gyrus frontalis inferior |
| GFM | Gyrus frontalis medius |
| GL | Gyrus lingualis |
| GOI | Gyrus occipitalis inferior |
| GOM | Gyrus occipitalis medius |
| GOS | Gyrus occipitalis superior |
| GPräC | Gyrus präcentralis |
| GTI | Gyrus temporalis inferior |
| GTM | Gyrus temporalis medius |
| GVN | gesichterverarbeitendes Netzwerk |
| GSM | Gyrus supramarginalis |
| HF | Hochfrequenz |
| hrf | hemodynamic response function |
| Hz | Hertz |
| IFC | inferiorer frontaler Cortex |
| LBR | Lateralized BOLD Response |
| LBS | Lateralisiertes BOLD Signal |
| LCD | Liquid Cristal Display |
| LH | linke Hand |

| | |
|--------|--|
| LPFC | lateraler präfrontaler Cortex |
| LPI | Lobulus parietalis inferior |
| LRP | Lateralized Readiness Potential |
| MC | motorischer Cortex |
| medGFS | medialer Gyrus frontalis superior |
| mm | Millimeter |
| MNI | Montreal Neurological Institute |
| MPRage | Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo |
| ms | Millisekunden |
| MW | Mittelwert |
| NMR | Nuclear Magnetic Resonance |
| OFA | Occipital Face Area |
| PCN | Posterior Contralateral Negativity |
| PF | prozentuale Fehlerraten |
| PFC | präfrontaler Cortex |
| PPA | Parahippocampal Face Area |
| präSMA | präsupplementär motorische Area |
| PreC | Precuneus |
| PRP | Psychological Refractory Period |
| PS | prozentuale Signaländerung |
| RH | rechte Hand |
| ROI | Region-of-Interest |
| RSC | retrosplenialer Cortex |
| RT | Reaktionszeit |
| s | Sekunde |
| SN | Substantia nigra |
| SIP | Sulcus intraparietalis |
| SMA | supplementär motorische Area |
| SPM | Statistical Parametric Map |
| SVN | szenenverarbeitendes Netzwerk |
| STS | Sulcus temporalis superior |
| SOA | Stimulus Onset Asynchrony |
| Tab. | Tabelle |
| TE | Time of Echo |
| Th | Thalamus |
| TMS | Transkranielle Magnetstimulation |
| TR | Time of Repetition |
| TOS | Transverse Occipital Sulcus |
| u.a. | unter anderem |
| vs. | versus |
| z.B. | zum Beispiel |

Abbildungsverzeichnis

Einleitung

| | | |
|----------|--|---|
| Abb. 1.1 | Experimenteller Ablauf und Ergebnisse bei Vorberg und Kollegen | 3 |
| Abb. 1.2 | Identifikationsleistung in Abhängigkeit vom Prime-Masken SOA | 5 |

Lokalisation von Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten mit dem Paradigma der Psychologischen Refraktärzeit

| | | |
|-----------|---|----|
| Abb. 2.1 | Schematische Darstellung des Effektabsorptions-Verfahrens | 27 |
| Abb. 2.2 | Schematische Darstellung des Effektübertragungs-Verfahrens | 29 |
| Abb. 2.3 | Im Experiment 1 verwendete Prime und Masken Stimuli | 32 |
| Abb. 2.4 | Ablauf eines Durchgangs in Experiment 1 | 34 |
| Abb. 2.5 | Mittlere RTn und Ergebnis der Regressionsanalysen in Experiment 1 | 37 |
| Abb. 2.6 | In den Experimenten 2 und 3 verwendete Prime und Masken Stimuli | 41 |
| Abb. 2.7 | Mittlere RTn und Ergebnis der Regressionsanalysen in Experiment 2 | 43 |
| Abb. 2.8 | Mittlere RTn und Ergebnis der Regressionsanalysen in Experiment 3 | 50 |
| Abb. 2.9 | In Experiment 4a und 4b verwendete Prime und Masken Stimuli | 59 |
| Abb. 2.10 | Beispiele für die verwendeten Gesichter/Szenen Stimuli | 60 |
| Abb. 2.11 | Ablauf eines Durchgangs in Experiment 4a | 61 |
| Abb. 2.12 | RTn und Prime Identifikationsleistung in Experiment 4a | 63 |
| Abb. 2.13 | Mittlere RTn in Experiment 4b | 69 |

Neuronale Korrelate von Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten

| | | |
|----------|---|----|
| Abb. 3.1 | Ablauf eines Durchgangs in Experiment 5 | 77 |
| Abb. 3.2 | RTn, Fehlerraten und Prime Identifikationsleistung in Experiment 5 | 84 |
| Abb. 3.3 | Ergebnisse des Kontrasts Inkongruent > Kongruent (SOA lang) in Experiment 5 | 86 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Abb. 3.4 | Ergebnisse des Interaktionskontrasts SOA x Kongruenz in Experiment 5 | 87 |
| Abb. 3.5 | Lateralisiertes BOLD Signal (LBS) | 88 |
| Abb. 3.6 | Prozentuale Signaländerung in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz für den reaktionsrelevanten (A) und den reaktionsirrelevanten (B) motorischen Cortex | 89 |
| Abb. 3.7 | Schematische Darstellung der Stimuluspräsentation im Localizer | 98 |
| Abb. 3.8 | RTn, Fehlerraten und Prime Identifikationsleistung in Experiment 6 | 103 |
| Abb. 3.9 | Ergebnisse des Kontrasts Inkongruent > Kongruent (SOA lang) in Experiment 6 | 105 |
| Abb. 3.10 | Ergebnisse des Interaktionskontrasts SOA x Kongruenz in Experiment 6 | 106 |
| Abb. 3.11 | Ergebnisse des funktionellen Localizers in Experiment 6 | 107 |
| Abb. 3.12 | Prozentuale Signaländerung in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz für das (A) aufgabenrelevante und das (B) aufgabenirrelevante Netzwerk | 108 |
| Abb. 3.13 | Prozentuale Signaländerung in Abhängigkeit von der Aufgabenrelevanz für das GVN und das SVN | 109 |
| Abb. 3.14 | Prozentuale Signaländerung in Abhängigkeit von SOA und Kongruenz im SVN | 110 |
| Abb. 3.15 | Ergebnisse der Konjunktion über die Interaktionskontraste | 119 |
| Abb. 3.16 | Areale, die bei langem SOA einen stärkeren Aktivierungsunterschied zwischen inkongruenten und kongruenten Durchgängen zeigen als bei kurzem SOA | 120 |

Allgemeine Diskussion

| | | |
|----------|---|-----|
| Abb. 4.1 | Mögliches Modell der am Antwort-Priming Effekt beteiligten Mechanismen | 128 |
| Abb. 4.2 | Mögliches Modell der am Aufgaben-Priming Effekt beteiligten Mechanismen | 131 |

Anhang I

Abb. 1 Ausrichtung der magnetischen Momente der Protonen 154

Abb. 2 Schematische Darstellung der Präzessionsbewegung eines Protons 155

Abb. 3 Konvention der Raumachsen in der fMRT 156

Abb. 4 Schematische Darstellung des BOLD Signals 159

Abb. 5 Schematische Darstellung der fMRT Datenverarbeitung 160

Tabellenverzeichnis

Lokalisation von Antwort- und Aufgaben-Priming Effekten mit dem Paradigma der Psychologischen Refraktärzeit

| | | |
|----------|---|----|
| Tab. 2.1 | Mittlere prozentuale Fehlerraten in den Experimenten 1, 2, 3 und 4b | 38 |
| Tab. 2.2 | Mittlere prozentuale Fehlerraten in Experiment 4a | 64 |

Anhang II

| | | |
|--------|--|-----|
| Tab. 1 | Ergebnisse des Kontrasts Inkongruent > Kongruent (SOA lang) in Experiment 5 | 165 |
| Tab. 2 | Ergebnisse des Interaktionskontrasts SOA x Kongruenz in Experiment 5 | 166 |
| Tab. 3 | Ergebnisse des Kontrasts Inkongruent > Kongruent (SOA kurz) in Experiment 6 | 167 |
| Tab. 4 | Ergebnisse des Kontrasts Inkongruent > Kongruent (SOA lang) in Experiment 6 | 168 |
| Tab. 5 | Ergebnisse des Interaktionskontrasts SOA x Kongruenz in Experiment 6 | 169 |
| Tab. 6 | Ergebnisse des funktionellen Localizers in Experiment 6 | 170 |
| Tab. 7 | Ergebnisse der Konjunktionsanalyse über die Kontraste Inkongruent > Kongruent (langes SOA) in Experiment 5 und 6 | 171 |
| Tab. 8 | Ergebnisse der Konjunktionsanalyse über die Interaktionskontraste SOA x Kongruenz in Experiment 5 und 6 | 172 |

LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Name: Susan Klapötke, geb. Meißner
Geburtsdatum: 27. September 1979
Geburtsort: Magdeburg
Familienstand: verheiratet
Nationalität: deutsch

Ausbildung

05/1998 Abitur
08/1998 – 09/1999 Freiwilliges Soziales Jahr in der „Clearingstelle für minderjährige, unbegleitete Flüchtlinge“ bei der Caritas Magdeburg
10/1999 – 09/2002 Medizinstudium an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
10/2002 – 09/2007 Psychologiestudium an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
09/2004 Vordiplom in Psychologie
09/2007 Diplom in Psychologie
10/2007 – 03/2011 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung für experimentelle Psychologie an der Georg-August-Universität Göttingen (Promotion)