

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Volker Arolt

**Einflüsse des Geschlechts auf kortikale Aktivierungsmuster
bei Mentaler Rotation und Synonymgenerierung im fMRT**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät

der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Beizai, Pirus

aus Münster

2009

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-
Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Schmitz

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. Volker Arolt
 2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Heinrich Schulze Mönking
- Tag der mündlichen Prüfung: 16.11.2009

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Volker Arolt –
Referent: Univ.-Prof. Dr. med. Volker Arolt
Koreferent: Prof. Dr. med. Heinrich Schulze Mönking

Zusammenfassung

Einflüsse des Geschlechts auf kortikale Aktivierungsmuster bei Mentaler Rotation und Synonymgenerierung im fMRT

Beizai, Pirus

In der vorliegenden Studie konnte mit Hilfe eines 3 Tesla fMRT anhand von jeweils zwölf Männern und Frauen gezeigt werden, dass Männer und Frauen bei der Mentalen Rotation unterschiedliche Aktivierungsmuster zeigen. Ein Vergleich der fMRT-Daten mit den Antworten des Fragebogens zur Strategie der Mentalen Rotation lässt Rückschlüsse auf die unterschiedliche Bearbeitung der Aufgabe zu.

Für die Synonymgenerierungsaufgabe konnte gezeigt werden, dass Männer und Frauen die gleichen neuronalen Netzwerke für verbale Aufgaben benutzen, wobei sie in ihrer Ausprägung Unterschiede in der Aktivität zeigen. Leichte Geschlechtsunterschiede ließen sich in den Aktivierungsmustern nachweisen.

Es lässt sich schlussfolgern, dass fMRT eine geeignete Methode ist, um das Gehirn zu kartographieren und Geschlechtsunterschiede in den aktivierten Hirnarealen bei bestimmten kognitiven Funktionen mit Hilfe des BOLD-Effekts darzustellen.

Tag der mündlichen Prüfung: 16.11.2009

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
	1.1 MENTALE ROTATION UND WORTGENERIERUNG	2
	1.2 fMRT ALS METHODE	5
	1.3 GESCHLECHTSUNTERSCHIEDE MITTELS fMRT	5
	1.4 HYPOTHESEN DER VORLIEGENDEN STUDIE	13
2	MATERIAL UND METHODEN 14	
	2.1 TECHNISCHE GRUNDLAGEN DER (FUNKTIONELLEN) MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE 14	
	2.2 PROBANDEN UND EINSCHLUSSKRITERIEN 16	
	2.3 TELEFONFRAGEBOGEN	18
	2.4 MESSTAG	19
	2.4.1 Erhebungen vor der fMRT Untersuchung	19
	2.4.2 MRT-Messung	22
	2.4.2.1 Messablauf	22
	2.4.2.2 Paradigmenbeschreibung	25
	2.4.3 Erhebungen nach der fMRT Untersuchung	26
	2.5 AUSWERTUNG	28
	2.5.1 Auswertung der Fragebögen und Tests	28
	2.5.2 Bilderanalyse	30
	2.5.3 Auswertung der Hormone	31
3	ERGEBNISSE 32	
	3.1 T-TEST	32
	3.2 ERGEBNISSE DER DEMOGRAPHISCHEN TESTPSYCHOLOGISCHEN DATEN 32	

3.3 fMRT-DATEN	38
3.3.1 Mentale Rotation	38
3.3.1.1 Männer	38
3.3.1.2 Frauen	41
3.3.1.3 Männer versus Frauen bei der Mentalen Rotation	44
3.3.1.4. Frauen versus Männer bei der Mentalen Rotation	46
3.3.2 Synonyme	48
3.3.2.1 Männer	48
3.3.2.2 Frauen	50
3.3.2.3 Männer versus Frauen bei der Synonymaufgabe	52
3.3.2.4 Frauen versus Männer bei der Synonymaufgabe	54
4 DISKUSSION	56
4.1 DEMOGRAPHISCHE TESTPSYCHOLOGISCHE DATEN	56
4.2 fMRT-DATEN	57
4.2.1 Mentale Rotation	57
4.2.2 Synonyme	66
4.3. LIMITATIONEN	74
5 ZUSAMMENFASSUNG	75
6 LITERATURVERZEICHNIS	76
7 DANKSAGUNG	86
8 CURRICULUM VITAE	87
9 ANHANG	I

1 EINLEITUNG

Gibt es einen Unterschied zwischen Mann und Frau?

Diese Frage wird oft gestellt und drängt auf mehreren Gebieten auf eine Antwort. So ist es in der wissenschaftlichen Welt nicht nur von Interesse, die Unterschiede zwischen Männern und Frauen anhand anatomischer oder hormonaler Merkmale zu belegen, die nicht von der Hand zu weisen sind.

Das Interesse weitet sich aus auf mögliche Unterschiede in der Intelligenz und speziellen Fähigkeiten, die besonders den Männern bzw. den Frauen zugeschrieben werden können. Denken Männer und Frauen unterschiedlich? Diese Frage kann nicht nur psychologisch erforscht und diskutiert werden, sondern auch neuropsychologisch und neurobiologisch.

So stellt sich neben der Frage, ob Männer und Frauen unterschiedlich denken, auch im Folgeschritt die Frage, ob sie bei unterschiedlichen Denkweisen auch unterschiedliche neurologische Substrate benutzen.

Benutzen Männer und Frauen unterschiedliche neurale Netzwerke? Aktivieren Männer und Frauen unterschiedliche Hirnareale?

Mit diesen Fragen beschäftigt sich die vorliegende Studie, in der anhand eines relativ neuen bildgebenden Verfahrens Klarheit in diese Fragestellung gebracht werden soll.

Das vielschichtige Gesamtprojekt, von dem die vorliegende Studie einen Teil darstellt, befasst sich mit der Fragestellung, ob Männer, Frauen sowie Transsexuelle vor und nach Hormonbehandlung bei kognitiven verbalen und non-verbalen Aufgaben zur Bewältigung und Lösung derselben unterschiedliche Hirnareale aktivieren. Im Rahmen des Projektes wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen den aktivierten Hirnarealen und den Sexualhormonen Testosteron, Östrogen und Progesteron besteht, wobei besonders auf die zyklischen Schwankungen der Frauen im mittlutealen und während der Periode sowie auf die Hormonabhängigkeit bei den Transsexuellen vor und nach Hormonbehandlung geachtet wurde. Der hormonelle Einfluss soll nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit sein.

Der vorliegende Teil des Gesamtprojektes beschäftigt sich mit der Frage, ob zwischen Männern und Frauen während ihrer Periode ein Unterschied in der Aktivität der für die verbalen und non-verbalen Fähigkeiten verantwortlichen Hirnareale besteht.

Der erste Teil der Arbeit bildet die Einleitung, die anhand der bestehenden Befundlage die Hypothese aufstellt. In dem darauf folgenden Teil werden Material und Methodik beschrieben. Der dritte Teil zeigt die in der vorliegenden Studie gewonnenen Ergebnisse, die dann anhand der gegenwärtigen Befundlage diskutiert werden.

Eine Zusammenfassung beschließt dann die vorliegende Arbeit.

1.1 MENTALE ROTATION UND WORTGENERIERUNG

Als sensitive neurobiologische Methode zur Feststellung von aktivierten Hirnarealen liegt es nahe, dass fMRT in der Lage ist, Aktivitätsänderungen in Abhängigkeit verschiedener Faktoren zu untersuchen. So eignet sich fMRT unter anderem dafür, funktionelle Unterschiede bei sensorischen, motorischen und kognitiven Leistungen zwischen Männern und Frauen festzustellen und somit geschlechtsspezifische Unterschiede in Aktivitätsmustern aufzudecken.

Gängige psychologische Verfahren zur Aufdeckung geschlechtsspezifischer Unterschiede sind räumliche und verbale Aufgaben.

Zu den räumlichen Aufgaben zählt unter anderem die Mentale Rotation, die auch in der vorliegenden Studie verwendet wurde. Sie stellt verlässlich Geschlechtsunterschiede dar, wobei man davon ausgeht, dass Männer hierbei im Vorteil sind (Parsons, et al., 2004; Astur et al., 2004; Peters, 2005; Kimura, 2002; Halari et al., 2005).

Diese allgemein anerkannte Hypothese unterstützen Rahman und Wilson (2003) in ihrer Studie.

Rahman und Wilson stellten ein Probandenpool von 240 Probanden auf, das unter anderem aus 60 heterosexuellen Männern und 60 heterosexuellen Frauen bestand. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich Alter, Anzahl der Ausbildungsjahre, Händigkeit und Intelligenzquotienten bestanden nicht, sodass in

demographischer Hinsicht eine recht homogene Stichprobe entstand und die oben erwähnten Faktoren keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Studie hatten.

Grundlegende Methode war der Mentale Rotation Test, der von Shepard und Metzler (1971) übernommen wurde.

Die Ergebnisse zeigten eindeutig, dass die Männer eine höhere Punktzahl erreichten als die Frauen. Damit bestätigten Rahman und Wilson die bereits etablierte Annahme, dass geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der Leistung bei räumlichen Rotationsaufgaben bestehen.

Voyer, Voyer und Bryden (1995) belegten mit ihrer Metaanalyse über 286 Studien, dass Männer signifikant bessere Ergebnisse in der Mentalen Rotation und anderen räumlich-visuellen Leistungen zeigten als Frauen. Diese Metaanalyse untermauert die von Rahman und Wilson erzielten Ergebnisse.

Bei der Mentalen Rotation sind die Geschlechtsunterschiede klar. Dies ist nicht so eindeutig der Fall bei verbalen Leistungen.

Verbale Fähigkeiten bestehen aus mehreren Komponenten und sind somit vielfältiger zu definieren. So sind zum Beispiel die Fähigkeiten Lesen, Schreiben, Wortgenerierung, Synonymgenerierung, Analogiebildung etc. Teilleistungen der verbalen Fähigkeiten.

Auch das Gedächtnis und die Wiedererkennung von Wörtern spielen eine Rolle.

Neuere Hinweise für geschlechtsspezifische Unterschiede legen die verbale Aufgabe der Synonymgenerierung nahe (Rahman et al., 2003; Weiss et al., 2003; Kimura, 2002). Sie wurde auch in der vorliegenden Studie verwendet.

Insgesamt sind die Ansichten bezüglich der geschlechtsspezifischen Unterschiede im Bereich der verbalen Fähigkeiten sehr geteilt, und die Befundlage wird kontrovers diskutiert.

Hyde und Linn (1988) haben in ihrer Metaanalyse insgesamt 165 Studien einbezogen, die sich mit Geschlechtsunterschieden in verbalen Fähigkeiten beschäftigten. Aufgrund ihrer Analyse der Studien schlussfolgerten Hyde und Linn, dass die Größe der Geschlechtsunterschiede in verbalen Fähigkeiten gegenwärtig so klein ist, dass sie effektiv als 0 angesehen werden kann.

Rahman et al. (2003) befassten sich ebenfalls mit dem Thema der verbalen Fähigkeiten. Sie untersuchten unter anderem 60 heterosexuelle Männer und 60 heterosexuelle Frauen, wobei sie davon ausgingen, dass Frauen vor allem in der Synonymgenerierung wesentlich bessere Ergebnisse erzielen als Männer.

Das Aufgabendesign bestand aus drei Teilaspekten:

Die erste Aufgabe (Letter Fluency) wurde mit Hilfe des Controlled Oral Word Association (COWA) Test (Benton & Hamsher, 1978) gestellt. Die Teilnehmer hatten 60 Sekunden Zeit, um so viele Wörter wie möglich zu generieren mit einem bestimmten Anfangsbuchstaben beginnend.

Die zweite Aufgabe bestand darin, so viele Wörter wie möglich zu erzeugen, die zu einer der drei Kategorien „Tiere“, „Früchte“ und „Gemüse“ gehörten.

Als dritte Aufgabe wurde den Teilnehmern ein geläufiges Wort präsentiert, zu dem sie so viele passende Synonyme wie möglich bilden sollten. Für jedes Wort erhielten sie 60 Sekunden Zeit. Nichtsynonyme, Wiederholungen und Assoziationen wurden nicht akzeptiert.

Auch in dieser Studie wurden signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich Alter, Anzahl der Ausbildungsjahre, Händigkeit und Intelligenzquotienten ausgeschlossen, sodass diese Faktoren keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Studie hatten.

Bei der ersten Aufgabe schnitten die Männer besser ab als Frauen. Die zweite Aufgabe lösten die Frauen besser als die Männer. Bei der Synonymgenerierungsaufgabe schnitten die Frauen besser ab als die Männer.

Rahman et al. definierten in ihrer Studie die verbalen Aufgaben sehr genau, sodass man davon ausgehen kann, dass die Ergebnisse für die jeweilige Aufgabe relativ verlässlich sind, zumal die Stichprobe mit einem n von 120 relativ groß ist.

Hyde und Linn schließen in ihrer Metaanalyse Studien ein, die sich mit dem Thema der verbalen Fähigkeit beschäftigt haben; das sind unter anderem Studien, die zum Beispiel Schreibaufgaben beinhalteten. Weiterhin fehlten dort jeweils die Definitionen der untersuchten Typen der verbalen Fähigkeiten, sodass diese Metaanalyse in diesem Punkt auch kritisch betrachtet werden sollte.

Die Mentale Rotation und die Synonym generierung sind zwei Aufgaben, die bei der Erforschung von Geschlechtsunterschieden breite Anwendung finden.

1.2 fMRT ALS METHODE

fMRT (funktionelle Magnetresonanztomographie) ist eine relativ junge Methode, mit der sich Aktivitätsänderungen im Gehirn durch Blutflussänderungen feststellen lassen. Man macht sich den so genannten BOLD-Effekt („blood oxygenation level dependant“) zu Nutze. Hierbei kommt es aufgrund von neuronaler Aktivität im Gehirn zu unterschiedlichen Verhältnissen von oxygeniertem zu desoxygeniertem Hämoglobin, was sich im Magnetfeld darstellen lässt. Es eignet sich also für die funktionelle Bildgebung des menschlichen Gehirnes, was man auch als „brain mapping“ bezeichnet. Ein deutlicher Vorteil des fMRT im Vergleich zu alternativen bildgebenden Verfahren wie z.B. dem PET liegt darin, dass keine für den Körper potentiell schädliche Strahlung verwendet wird.

1.3 GESCHLECHTSUNTERSCHIEDE MITTELS fMRT

fMRT als Methode findet breite Anwendung in der Erforschung geschlechtsspezifischer Unterschiede zwischen Männern und Frauen. Dabei wird untersucht, ob Männer und Frauen bei verschiedenen kognitiven Leistungen unterschiedliche Aktivitätsmuster in bestimmten Hirnarealen zeigen. Auch kann mittels fMRT deutlich gemacht werden, welche Hirnareale aktiv sind, und ob bei bestimmten kognitiven Leistungen immer dieselben Hirnregionen aktiviert werden.

Bei der Untersuchung von Geschlechtsunterschieden lassen sich auch hormonelle Einflussfaktoren untersuchen. So wird zum Beispiel in vielen Studien der Einfluss von Steroidhormonen, besonders von Östrogen und Testosteron, auf kognitive Fähigkeiten und auf die Hirnaktivität ermittelt (Die trich et al., 2000; Hausmann und Güntürkün,

2000; Rode et al., 1995; Halari et al., 2005; Hausmann et al., 2002). Die Abhängigkeit der Hirnaktivität von der Steroidhormonkonzentration war ebenfalls Bestandteil der vorliegenden Studie. In der vorliegenden Arbeit soll allerdings nicht näher darauf eingegangen werden.

Wie oben erläutert, eignen sich räumliche und verbale Aufgaben dazu, geschlechtsspezifische Unterschiede festzustellen (Grön et al., 2000; Gur et al., 2000; Frost et al., 1999; Schlösser et al., 1998; Seurinck et al., 2004).

Diese Methoden wurden ebenfalls in fMRT-Studien verwendet, um festzustellen, ob diese Unterschiede auch anhand der Hirnaktivität objektiviert werden können. Weiterhin ermöglicht uns dieses Verfahren, die Hirnregionen zu lokalisieren, die aktiv sind, um so Unterschiede in der Lokalisation der Hirnregionen feststellen zu können.

Als besonders sensitive Methode für geschlechtsspezifische Unterschiede findet auch in fMRT-Studien die Mentale Rotation breite Anwendung (Jordan et al., 2002; Weiss et al., 2003).

Die Studie von Weiss et al. (2003) sollte mögliche Geschlechtsunterschiede in der Hirnaktivierung mittels fMRT in einer Probandenstichprobe mit einer hohen Leistung in der schriftlichen Form des Mentale Rotation Tests (MR) herausfinden.

Männer und Frauen zeigten eine signifikante bilaterale Aktivierung in den Gyri frontales inferior, medius et superior, im Gyrus cinguli und bilateral im Lobulus parietalis inferior.

Männer aktivierten bilateral den Gyrus parietalis inferior signifikanter als die Frauen, während die Frauen beide Lobuli parietales superiores und den Gyrus frontalis inferior rechts stärker aktivierten.

Einen ähnlichen Ansatz zeigte die Studie von Jordan et al. (2002). Unterschiedlich war jedoch das Aufgabendesign.

Die Probanden erhielten vier verschiedene Aufgaben: Klassische 3D-MR-Figuren, Mentale Rotation von abstrakten Figuren, Mentale Rotation von Buchstaben und eine Kontrollaufgabe mit nicht rotierten Figuren.

Frauen zeigten in der 3D-Aufgabe stark signifikante bilaterale Aktivierungen im suprioren parietalen Lobulus, inklusive dem intraparietalen Sulcus. Weiterhin stellten sich bilateral im kaudalen Part der dorsalen Prämotorregion, dem Gyrus temporalis inferior und dem Gyrus frontalis inferior rechts signifikante Aktivierungen dar.

Bei den Männern zeigten sich signifikante Aktivierungen im Gyrus occipitalis medius und superior, inklusive dem parietookzipitalen Sulcus in allen drei Aufgaben.

Seurinck et al. (2004) benutzten als Mentale Rotationsaufgabe rotierte und nicht rotierte Hände und Werkzeuge.

Die Mentale Rotation der Hände zeigte eine bilaterale Aktivierung des Gyrus frontalis medius, des Lobulus parietalis superior und der parietookzipitalen Verbindung. Ein signifikanter Geschlechtseffekt bestand nur für zwei Regionen: Frauen zeigten eine gesteigerte Aktivierung der linken frontalen Area an der Grenze vom Gyrus frontalis inferior zum Gyrus praecentralis, während Männer stärker den medialen Anteil des Gyrus lingualis aktivierten.

Die Mentale Rotation der Werkzeuge zeigte im Gegensatz zu der der Hände keinen signifikanten Geschlechtsunterschied.

Gur et al. (2000) verwendeten in ihrer Studie als räumliche Aufgabe den Judgment of Line Orientation (JLO)-Test (Benton et al., 1983) und als verbale Aufgabe eine Analogiebildungsaufgabe.

Als „region of interest“ wurde allerdings in dieser Studie das Hauptaugenmerk auf die inferioparietale Region (IP) und das Planum temporale (PT) gelegt.

Männer und Frauen aktivierten beide die linke Hemisphäre mehr als die rechte für die untersuchten Regionen IP und PT. Allerdings zeigten die Männer eine Lateralisation für die räumliche Aufgabe, die die Frauen nicht zeigten.

Generell bestand eine stärkere Aktivierung links für die verbale und eine stärkere Aktivierung rechts für die räumliche Aufgabe.

Beide Gruppen zeigten ähnliche Aktivierungsmuster für die verbale Analogieaufgabe.

Für die räumliche Aufgabe zeigten Männer eine stärkere und bilaterale Aktivierung.

Generell zeichnet sich ab, dass die in der Verhaltensforschung etablierte Ansicht des geschlechtsspezifischen Unterschieds bei der Lösung von MR-Aufgaben übertragbar ist auf die Ergebnisse der funktionalen Bildgebung. Männer und Frauen verwenden unterschiedliche Hirnregionen zur Lösung von MR-Aufgaben und zeigen unterschiedliche Aktivitätsmuster in ihren kortikalen Netzwerken, das heißt, fMRT zeigt, welche neurobiologischen Mechanismen zugrunde liegen.

Verbale Aufgaben wurden ebenfalls in fMRT-Studien verwendet, um Geschlechtsunterschiede festzustellen. Auch hier zeigte sich, dass in Abhängigkeit von der verwendeten Aufgabe in der Aktivierung der Muster in den sprachbezogenen Hirnregionen Unterschiede bestehen, was mit der Komplexität und Vielfältigkeit der Sprachfunktionen zusammenhängt. So konnten z. B. für Reimaufgaben andere Aktivitätsmuster nachgewiesen werden als für Wortgenerierungsaufgaben (Lurito et al., 2000).

Schlösser et al. (1998) untersuchten in ihrer Studie sechs Männer und sechs Frauen, die alle rechtshändig waren. Die Probanden bekamen eine Sprachaufgabe, in der sie Wörter mit bestimmten Anfangsbuchstaben generieren sollten.

Beide Gruppen zeigten eine signifikante Aktivierung im linken präfrontalen Kortex und im rechten Zerebellum. Signifikante Aktivitätsminderungen wurden im mesialen und dorsolateralen parietalen Kortex bilateral nachgewiesen.

Wenn man davon ausgeht, dass Geschlechtsunterschiede bestehen, ist dies ein Hinweis dafür, dass verbale Aufgaben nicht geeignet sind für die Untersuchung geschlechtsspezifischer Unterschiede (Schlösser et al., 1998).

Frost et al. (1999) kam sogar zu dem Ergebnis, dass grundlegende sexuelle Unterschiede in der neuralen Organisation der Sprachfunktionen nicht vorhanden sind. Die Sprachaufgabe, die hier verwendet wurde, bestand darin, aus vorgegebenen Substantiven Tiere zu erkennen, und war recht komplex.

Die nachgewiesene Aktivierung war stark links lateralisiert, sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen. Dies spricht gegen grundlegende sexuelle Unterschiede in der neuronalen Organisation der Sprachfunktionen (Frost et al., 1999).

Da die vorliegende Studie ein großes n von insgesamt 100 Probanden hatte, kann hier mit einer größeren statistischen Potenz als bei anderen Studien argumentiert werden.

Weiss et al. (2003) beschäftigten sich ebenfalls mit dem Thema.

In ihrer Studie sollte eine Wortgenerierungsaufgabe im Stillen ausgeführt werden. Den Probanden wurde ein Anfangsbuchstabe gegeben, mit dem sie ein Wort bilden sollten.

Männer und Frauen zeigten signifikante Aktivierungen im linken und rechten präfrontalen Kortex, im Gyrus cinguli und im rechten Zerebellum.

Die gesamte Gruppe zeigte die für die verbale Aufgabe als typisch angesehene Aktivierung im frontalen Kortex, im Cingulum und Zerebellum, das hauptsächlich rechtsseitig aktiv war.

Die Datenanalyse zeigte keinen signifikanten Aktivitätsunterschied zwischen Männern und Frauen.

Die oben genannten Studien kommen zu dem Schluss, dass kein signifikanter Unterschied in den Aktivierungsmustern zwischen Männern und Frauen bei der Bewältigung von verbalen Aufgaben besteht.

Dies wird untermauert durch die Meta-Analyse von Sommer et al. (2004), die insgesamt 14 Studien umfasste und sich mit geschlechtsspezifischer Lateralisierung bei verbalen Aufgaben beschäftigte.

Die Metaanalyse zeigte keinen signifikanten Unterschied in der Sprachlateralisierung zwischen Männern und Frauen.

Neben den oben erwähnten Studien, die keinen Anhalt für Geschlechtsunterschiede bei verbalen Aufgaben in den Aktivierungsmustern bei Männern und Frauen nachweisen konnten, gibt es aber auch Studien, die in Abhängigkeit von der Aufgabenart Unterschiede in den aktivierten Arealen zeigen konnten.

Hinsichtlich verbaler Aufgaben wird allgemein angenommen, dass Sprache einer starken Lateralisierung im zerebralen Kortex unterliegt (Kansaku et al., 2001; Hampson und Kimura, 1992; Kimura, 1999; Meinschäfer et al., 1999; Yetkin et al., 1995). Eine Lateralisierung der Sprache konnte auch im Zerebellum nachgewiesen werden (Hubrich-Ungureanu et al., 2002).

Weiterhin nimmt man an, dass die Art der Lateralisierung von der Aufgabenart abhängt. Man geht zum Beispiel davon aus, dass phonematische Verarbeitung stärker linkshemisphärische Aktivierungen zeigt, während sich prosodische Verarbeitung in rechtshemisphärischen Hirnarealen involviert zeigt (Meinschäfer et al., 1999).

Die oben erwähnte Metaanalyse von Sommer et al. konnte keinen Unterschied in der Lateralisierung zwischen Männern und Frauen nachweisen. Auch Frost et al. zeigten in ihrer Studie, dass beide Geschlechter eine starke Linkslateralisierung zeigten.

Kansaku und Kitazawa beschäftigten sich in ihrer Studie ebenfalls mit dem Thema der Lateralisierung der Sprache. Männer und Frauen wurden mit einem fMRT gemessen, während sie sich ein Essay anhörten, das einmal laut vorgelesen wurde und einmal gespielt wurde.

Bei einem Vergleich der Aktivierungen im Gyrus temporalis superior und medius, während die Geschichte gespielt wurde, zeigte sich eine linksseitige Lateralisierung bei den Männern, aber nicht bei den Frauen. Auf der anderen Seite zeigte eine andere Aktivierung im temporoparietalen Kortex eine Lateralisierung in beiden Geschlechtern. Kansaku und Kitazawa schlussfolgerten daraus, dass die Aktivierung im Gyrus temporalis medius aus der Verarbeitung der Geschichte resultiert, während die Aktivierung im temporoparietalen Kortex auf die phonologische Verarbeitung von Wortformen zurückführten.

Weitere Nachforschungen ergaben, dass Geschlechtsunterschiede in der Lateralisierung auf die Verarbeitung der Gesamtstruktur eines Satzes oder vieler Sätze zurückzuführen sind. Aufgaben mit einzelnen Wörtern bringen linksdominante Aktivierungen in beiden Geschlechtern hervor (Kansaku und Kitazawa, 2001). Die Studie konnte jedoch keine Korrelation zwischen dem Grad der Lateralisierung und der Anzahl der korrekten Antworten in den Posttests nachweisen, sodass sie davon Abstand nahmen zu behaupten, Frauen seien in ihren verbalen Fähigkeiten „besser“ als Männer.

Auch Sha ywitz et al. (1995) zeigten Ergebnisse, die Hinweis auf eine geschlechtsspezifische Lateralisierung der Sprache lieferten.

Sie untersuchten in ihrer Studie jeweils 19 gesunde rechthändige Männer und Frauen daraufhin, ob sie bei bestimmten Sprachaufgaben eine Lateralisierung in bestimmten Hemisphären zeigen. Als „region of interest“ wurden in der Studie der Gyrus frontalis inferior und das Extrastriatum untersucht.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass eine Reimaufgabe bei Männern eine Lateralisierung in den linken Gyrus frontalis inferior zur Folge hatte, während bei den Frauen bei dieser Aufgabe der Gyrus frontalis inferior bilateral aktiviert wurde. Das Extrastriatum hingegen wurde in beiden Gruppen bilateral aktiviert.

Im Gegensatz zur Mentalen Rotation, die relativ eindeutige Ergebnisse bezüglich Unterschieden zwischen den Geschlechtern im Rahmen von funktionaler Bildgebung zeigt, werden die Geschlechtsunterschiede in der Sprache, vor allem in der Lateralisierung, sehr kontrovers diskutiert und konnten bisher nicht einstimmig belegt werden.

Relativ einig ist man sich über die vermutlich für die Lösung räumlicher und verbaler Aufgaben verantwortlichen Hirnareale. So konnten für die Bewältigung der Mentalen Rotation vor allem Aktivierungen im Lobulus parietalis und den Gyri frontales nachgewiesen werden. Bei der Bearbeitung verbaler Aufgaben finden sich vor allem Aktivierungen im präfrontalen Kortex sowie im Zerebellum, sodass diesen Arealen eine entsprechende Aufgabe bei der Verarbeitung der räumlichen beziehungsweise verbalen Aufgabe zuzuschreiben ist.

Wortgenerierungsaufgaben sind ein in der Wissenschaft oft verwendetes Werkzeug, um Geschlechtsunterschiede in den Aktivitätsmustern von Männern und Frauen zu untersuchen. Die Art der Aufgaben ist sehr vielfältig, weshalb es schwierig ist, verlässliche Ergebnisse in Bezug auf die Geschlechtsunterschiede zu erhalten. Als besonders geeignete Methode unter den verbalen Aufgaben zur Untersuchung von Geschlechtsunterschieden gilt die Synonymgenerierung (Rahman et al., 2003; Weiss et al., 2003; Kimura, 2002). Dieser Aufgabentyp wurde in der vorliegenden Arbeit verwendet.

Weiterhin ist die Verknüpfung von Sprache und Ton von Interesse. So beschäftigen sich einige Studien mit den Unterschieden in den Aktivitätsmustern von Probanden bei Aufgaben, die still und laut gelöst werden sollten (Fu et al., 2002; Abraham s et al., 2003; Rosen et al., 2000; Yetkins et al., 1995).

Da bei einer lauten Aufgabe Kopfbewegungen unvermeidlich sind, steigt das Risiko von durch diese Bewegungen entstehenden Artefakten bei der Ergebnisauswertung. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass stille Wortgenerierungsaufgaben ein stärkeres Signal produzieren als laute Aufgaben (Yetkin et al., 1995). Deswegen wurde in der vorliegenden Studie der stille Aufgabentyp verwendet.

Die oben beschriebene Befundlage sowohl zum Thema der Mentalen Rotation als auch zum Thema der verbalen Fähigkeiten bei der funktionalen Bildung macht deutlich, dass weitere Untersuchungen erforderlich sind, um verlässliche Ergebnisse zu erhalten, um mehr Klarheit in die bestehende Befundlage zu bringen. Für die Mentale Rotation und die verbale Aufgabe gilt es herauszufinden, welches kortikale Netzwerk aktiv ist und wo genau Unterschiede zwischen Männern und Frauen in diesem kortikalen Netzwerk bestehen. Zusätzlich für die verbale Aufgabe stellt sich die Frage, welches Sprachnetzwerk aktiv ist.

1.4 HYPOTHESEN DER VORLIEGENDEN STUDIE

1. Männer und Frauen zeigen bei der Bewältigung von non-verbale Aufgaben (Mentale Rotation) geschlechtsspezifische Unterschiede in den aktivierten Hirnarealen, wobei Frauen eher frontale und Männer eher parietale Hirnareale aktivieren, während Männer und Frauen keine Unterschiede in der erbrachten Leistung der demographischen testpsychologischen Daten zeigten.
2. Männer und Frauen zeigen bei der Bewältigung von verbalen Aufgaben (Synonymgenerierung) geschlechtsspezifische Unterschiede in den aktivierten Hirnarealen, wobei Männer eher frontale Hirnareale aktivieren und diese stärker als die Frauen, während in der erbrachten Leistung der demographischen testpsychologischen Daten keine Unterschiede zwischen Männern und Frauen bestehen.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 TECHNISCHE GRUNDLAGEN DER (FUNKTIONELLEN) MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE

Die Technik der Magnetresonanztomographie (MRT) basiert auf der Wirkung eines starken Magnetfeldes.

Um ein Signal messen zu können, benutzt man Protonen, vor allem die Protonen des Wasserstoffkerns. Das Wasserstoffatom ist das häufigste im menschlichen Körper vorkommende Atom und zeichnet sich durch eine hohe Empfindlichkeit für die Magnetresonanz aus.

Die physikalische Grundlage der Magnetresonanztomographie bildet die Kernspinresonanz. Bei der Kernspinresonanz macht man sich die Tatsache zunutze, dass Protonen und Neutronen einen Eigendrehimpuls haben, den man als SPIN bezeichnet. Durch diesen Eigendrehimpuls erhalten die Atomkerne ein magnetisches Moment.

Vereinfacht kann man sich einen Atomkern als magnetischen Kreisel vorstellen. Bringt man einen solchen rotierenden Kern in ein statisches Magnetfeld, so richtet sich dieser Kern innerhalb dieses Magnetfeldes aus. Durch das Ausrichten beginnt der Kern mit einer Präzessionsbewegung. Präzession bedeutet, dass die Achse eines rotierenden Kreisels seine Richtung ändert, sobald von außen Kräfte auf ihn einwirken. Im Falle des Atomkerns bedeutet dies, dass sich die Rotationsachse des Atomkerns um die Richtung des angelegten Magnetfeldes dreht.

Die Präzessionsbewegung tritt jedes Mal dann auf, wenn der Atomkern aus seiner Ruhelage gebracht wird. Wird das erzeugte Magnetfeld wieder abgestellt, fällt der Kern in seine Ausgangslage zurück. Wird zu dem ersten Magnetfeld ein zweites etabliert, das rechtwinklig zum ersten steht, kommt es erneut zu einer Präzessionsbewegung des Atomkerns, bis sich ein Gleichgewicht einstellt. Um dauerhaft eine Präzession zu erlangen, besteht die Möglichkeit, als zweites Magnetfeld ein hochfrequentes Wechselfeld (HF-Feld) zu erzeugen. Induziert man ein HF-Feld auf einen Atomkern,

der sich in einem statischen Magnetfeld befindet, kann eine rotierende Quermagnetisierung erzeugt werden. Das Ziel des MRT ist die Erzeugung von Schichtbildern der Quermagnetisierung.

Bringt man also zusätzlich zu einem statischen Magnetfeld ein HF-Feld in der xy-Ebene ein, so präzedieren alle Kerne nach ausreichend langer Zeit in der xy-Ebene. Hierbei hat die z-Komponente den Wert 0. Wird das HF-Feld abgestellt, so kommt es durch die Wechselwirkung der Atomkerne untereinander zu einer Relaxation, das bedeutet, die Magnetisierungsvektoren richten sich wieder nach dem statischen Magnetfeld aus. Die Zeit, bis die z-Komponente wieder 63% ihres Ausgangswertes erreicht hat, nennt man T1-Zeit oder auch SPIN-Gitter-Relaxationszeit.

Die Quermagnetisierung der Atomkerne zerfällt nun durch die Wechselwirkung durch die Kerne untereinander. Durch diese SPIN-SPIN-Wechselwirkung kommt es zu einem Zerfall der Quermagnetisierung, diesmal jedoch mit der Zeitkonstanten T2.

Die Relaxationskonstanten T1 und T2 sind abhängig von den verschiedenen Gewebearten im Körper. Aus dem unterschiedlichen Gehalt der Gewebe an beweglichen Wassermolekülen resultiert der große Bildkontrast des MRT.

So nehmen neben der zeitlichen Abfolge der HF-Pulse (Pulssequenz) auch die beiden Relaxationskonstanten Einfluss auf die Stärke des MR-Signals.

Grundlage der fMRT-Methode ist der so genannte BOLD-Effekt („blood oxygenation level dependant“). Hierbei kommt es aufgrund der neuronalen Aktivität zu einer Veränderung des Verhältnisses von oxygeniertem zu desoxygeniertem Hämoglobin, was sich im Magnetfeld darstellen lässt. So kommt es bei Aktivierung der Neuronen im Kapillarnetz zu einer verstärkten Sauerstoffaufnahme, wodurch sich das Verhältnis des oxygenierten Hämoglobin im dem Kapillarnetz vorgeschalteten arteriellen Schenkel zum desoxygenierten Hämoglobin im nachgeschalteten venösen Schenkel verschiebt. Das fMRT (funktionelles Magnet-Resonanz-Tomogramm) wird für die funktionelle Bildgebung des menschlichen Gehirnes benutzt. Man nennt dies auch „brain mapping“, wobei Hirnareale in Abhängigkeit von ihrer sensorischen, motorischen und kognitiven Aktivität lokalisiert werden. Man macht sich hierbei die Tatsache zunutze, dass es in Zusammenhang mit neuronaler Aktivität zu lokalen Blutflussänderungen und Unterschieden in der Blutoxygenierung in den betroffenen Arealen kommt.

Die räumliche Auflösung der fMRT-Bilder ist jedoch nicht so hoch wie die anatomischer Bilder. Die Lokalisation von Hirnarealen kann individuell oder in einem stereotaktischen Raum erfolgen. Zur Visualisierung wird deswegen oft die bildliche Überlagerung mit anatomischen Bildern verwendet, was auch in der vorliegenden Studie der Fall ist.

Die Hochgeschwindigkeitstechnik „echo planar imaging“ (EPI) erlaubt es, innerhalb kurzer Zeit eine hohe Anzahl von Schichten aufzunehmen, sodass große Datensätze erhoben werden können. Diese Technik erlaubt es, die für Bewegungen relativ anfällige MR-Technik weniger empfindlich zu machen.

Die zeitliche Auflösung des fMRT wird dadurch begrenzt, dass die hämodynamischen Änderungen im Hirnblutkreislauf als Antwort auf neuronale Aktivität unvorhersehbar sind und somit erst nach einer gewissen Latenz von ungefähr 200ms nachweisbar werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde eine T2-gewichtete single-shot EPI-Sequenz verwendet mit einer Repetitionszeit (TR) von 3000 ms, einer Echozeit (TE) von 50 ms, einem Flipwinkel von 90° und einer Schichtdicke von 3,6 mm, einem „field of view“ (FOV) von 230 mm sowie einer Matrix von 64 x 64. Es ergab sich eine Auflösung in der Bildebene von 3,6 x 3,6.

Es entstanden 36 transversale Schichten parallel in der AC-PC-Linie (Verbindungsline zwischen der Commissura anterior und der Commissura posterior).

2.2 PROBANDEN UND EINSCHLUSSKRITERIEN

Die Anwerbung von Probanden erfolgte durch Inserate in einer regionalen Tageszeitung sowie einer lokalen Studentenzeitung und durch die Verteilung von Handzetteln in Geschäften und Arztpraxen mit Angabe der Telefonnummer der IZ-KF-Forschungsgruppe.

Einschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie waren für die Frauen ein regelmäßiger Zyklus ohne Einnahme oraler Sexualhormone. Weiterhin wurde auf eine in

möglichst breites Altersspektrum geachtet. Ein weiteres Einschlusskriterium war Rechtshändigkeit. Aufgrund der Messung im MRT sind Probanden mit nicht-MRT-fähigen Fremdkörpern ausgeschlossen gewesen. Ein weiteres Ausschlusskriterium waren psychiatrische Erkrankungen in der Anamnese der Probanden.

Ein regelmäßiger Zyklus bei den Frauen war vorausgesetzt, da im Rahmen des Gesamtprojektes unter anderem die unterschiedlichen Zyklusphasen der Frauen sowie die Hormonkonzentration im Serum während der unterschiedlichen Zyklusphasen untersucht werden sollten. In der vorliegenden Studie wurden nur die Frauen eingeschlossen, deren Messung im MRT in der perimenstruellen Zyklusphase stattfand. Die perimenstruelle Phase war zeitlich limitiert durch den Beginn der Regelblutung bis maximal einen Tag nach Beginn der Regelblutung.

Für die vorliegende Studie wurden die Messungen während der perimenstruellen Phase eingeschlossen, da hier die Konzentrationen von Östrogen und Progesteron niedrig sind und so ein Vergleich zwischen Mann und Frau unabhängig von der Konzentration der Sexualhormone im Serum stattfinden konnte.

Auf diese Weise konnte eine Stichprobe von jeweils zwölf Männern und Frauen während der Periode zusammengestellt werden.

Die demographischen Daten der Probandenstichprobe mit Mittelwerten und Standardabweichungen sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1
Demographische Daten der Stichprobe

	Anzahl	Alter ^a	Händigkeit ^c	IQ ^b	
				MWT-B	CFT 20
Frauen	12	31±5	100	112±14	118±14
Männer	12	33±6	100	117±12	124±10

^a Mittelwerte des Alters in Jahren ± Standardabweichung

^b Mittelwerte des IQ ± Standardabweichung: 1. MWT-B: Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenz Test

2. CFT 20: Culture Fair Intelligence Test Scale 2

^c Rechtshändigkeit in %

2.3 TELEFONFRAGEBOGEN

Ein von der Forschungsgruppe erstellter Telefonfragebogen sollte zwei Aufgaben erfüllen: 1. Er sollte den potentiellen Probanden über die Studie und den Ablauf der Messung aufklären. 2. Er sollte im Vorhinein prüfen, ob der Proband gesund ist und für die Studie in Frage kommt.

Im Verlauf des Telefonats wurde der Proband kurz über den Inhalt und den Hintergrund der Studie in Kenntnis gesetzt. Ebenfalls wurden die Bedingungen für eine eventuelle Teilnahme an der Studie erläutert sowie grob über die Funktionsweise des MRT aufgeklärt, um den potentiellen Probanden die Angst vor einer Strahlenbelastung zu nehmen.

Außerdem wurde über den zeitlichen Ablauf, die Aufwandsentschädigung und das weitere Procedere im Falle einer Messung gesprochen.

Die Messtermine fanden am Nachmittag und frühen Abend statt, aber nicht vor zwölf Uhr mittags. Die Blutabnahme diente der Erfassung der Sexualhormone im Serum, die aufgrund ihrer zirkadianen Rhythmik möglichst zu einem gleich bleibenden Zeitpunkt abgenommen werden mussten, um vergleichbare Hormonwerte zu erlangen.

Männliche Probanden wurden einmal gemessen. Weibliche Probanden wurden darüber aufgeklärt, dass sie zweimal gemessen werden: Eine Messung fand am ersten Tag der Periode statt und die zweite am Mittlutealtag, wobei die Reihenfolge der Messtermine unerheblich war. Damit sollte im Rahmen des Gesamtprojektes überprüft werden, in wie weit die Sexualhormone in ihrem monatlichen Rhythmus Einfluss auf die kognitiven Leistungen der Frauen haben. Auf den Einfluss der Sexualhormone auf die erhobenen fMRT-Daten soll in der vorliegenden Arbeit nicht weiter eingegangen werden. In der vorliegenden Arbeit wurden für die Frauen lediglich die Daten, die am ersten Tag der Periode gewonnen wurden, verwendet.

Für die Messung der weiblichen Probanden war eine genaue gynäkologische Anamnese erforderlich, um die Zyklusphasen möglichst genau ermitteln zu können. Dadurch konnte gewährleistet werden, dass die Frauen relativ genau an den zu messenden Zyklustagen gemessen wurden.

Nach der Aufklärung begann der investigative Teil des Fragebogens, der erfassen sollte, ob der Proband in soweit gesund ist, dass er für die Studie als Proband in Frage kommt. Neben den persönlichen Daten waren Rechtshändigkeit, Deutsch als Muttersprache und Heterosexualität unbedingte Kriterien. Bei weiblichen Probanden war die Erfragung über die Regelmäßigkeit des Zyklus von Bedeutung, um Messtermine mit dem ersten Tag der Periode und vor allem mit dem Mittlutealtag genau abstimmen zu können. Der zweite Teil des Fragebogens sollte die Krankengeschichte des Probanden erheben. Er ließ sich in vier Abschnitte unterteilen: Internistische, neurologische, psychiatrische Anamnese und familiär gehäufte Erkrankungen. Die genaue Erhebung der Krankengeschichte sollte ausschließen, dass potentiell zerebral relevante Erkrankungen vorlagen, die die fMRT-Messergebnisse beeinflussen könnten.

2.4 MESSTAG

2.4.1 Erhebungen vor der fMRT Untersuchung

Der Messtermin begann mit dem Vorlauf. Der Proband kam zu den Räumlichkeiten der Forschungsgruppe und erhielt zunächst einen Aufklärungsbogen, der den Probanden noch einmal über das MRT und die Untersuchung durch das Gerät aufklärte. Nach Aufklärung des Probanden musste der Proband bei Einverständnis schriftlich seine Einwilligung zur Studie geben.

Nach erteilter Einwilligung wurde dem Probanden Blut abgenommen, das zentrifugiert wurde und dessen Serum abpipetiert, tiefgefroren und archiviert wurde. Das Blut diente der Bestimmung der Sexualhormone Testosteron, Progesteron, Östradiol sowie der Proteohormone LH und FSH. LH und FSH sollten bei den weiblichen Probanden Aufschluss darüber geben, mit welcher Genauigkeit die Mittlutealtage errechnet waren und ob die Zyklen ovulatorisch abliefen.

Im Anschluss durchlief der Proband einige Testverfahren. Zunächst absolvierte der Proband zwei Kurzmaße für Intelligenz. Dies waren der MWT-B (Lehrl et al., 1995) als Testverfahren für die verbale Intelligenz und der CFT 20 (Weiß, 1998) als Verfahren für die nicht-verbale Intelligenz.

Der MWT-B (Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenz-Test) ist ein Leistungstest zur Messung des allgemeinen Intelligenzniveaus. Er besteht aus 37 Wortreihen mit je fünf Wörtern, von denen jeweils nur eins existiert. Die übrigen Wörter sind nicht bestehende Neukonstruktionen. Die insgesamt 37 Items sind einem Schwierigkeitsgrad angeordnet.

Beispiele:

Nale – Sahe – Nase – Nesa - Sehna

Funktion – Kuntion – Finzahn – Tuntion – Tunkion

Struk – Streik – Sturk – Streck – Kreik.

Die Aufgabe für den Probanden bestand darin, eben dieses existente Wort zu markieren.

Der Proband hatte beliebig viel Zeit für diese Aufgabe.

Die Gesamtzahl der richtig markierten Wörter wird mit den Leistungen einer repräsentativen deutschsprachigen Stichprobe verglichen. Daraus kann dann der IQ ermittelt werden.

Der CFT 20 (Culture Fair Intelligence Test Scale 2) als Kurzmaß für nicht-verbale Intelligenz ist unterteilt in vier Teile mit unterschiedlich vielen Aufgaben.

Der erste Teil besteht aus Reihen mit fünf geometrischen Figuren auf der rechten Seite, von denen diejenige auszusuchen ist, die zu den drei Figuren auf der linken Seite am besten passt.

Im zweiten Teil gilt es, diejenige Figur in den fünf Kästchen herauszusuchen, die sich von den anderen in irgendeiner Weise unterscheidet.

Der dritte Teil enthält Aufgaben, in denen der Proband rechts ein Kästchen aussuchen soll, das in das linke leere Kästchen am besten hineinpasst, um die Figur zu komplettieren.

Der letzte Aufgabenteil beschäftigt sich mit der räumlichen Anordnung der Figuren zueinander, wobei bei den Figuren aus der rechten Reihe diejenige herauszufinden gilt, bei der die räumliche Anordnung mit der der Referenzfigur auf der linken Seite übereinstimmt.

Dieser Test ist zeitlich begrenzt, sodass für die ersten beiden Einheiten je vier Minuten und für die letzten beiden Testeinheiten je drei Minuten Zeit veranschlagt werden.

Da an der Studie nur Rechtshänder teilnehmen sollten, wurde jedem Probanden der Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971) zur Bestätigung vorgelegt.

Ein weiterer Fragebogen war der BSI (Brief Symptom Inventory) (Franke, 2000), der dazu diente, den Befindlichkeitszustand des Probanden innerhalb der letzten sieben Tage vor dem Messtermin zu erfragen.

Er besteht aus 53 Fragen, bei denen vorgegebene Antworten auf einer Skala zwischen 0 (überhaupt nicht) und 4 (sehr stark) angekreuzt werden können. Anhand der vergebenen Punktwerte lässt sich der Fragebogen auswerten.

Der BSI sollte klären, ob aktuell besondere psychische Bedingungen auf den Probanden einwirkten, die Einfluss auf die Ergebnisse haben könnten.

Weiterhin erhielt der Proband entweder noch im Vorlauf oder bei Zeitmangel im Nachlauf das NEO-FFI (NEO-Fünf-Faktoren-Inventar) (Borkenau und Ostendorf, 1993) als Persönlichkeitsinventar, um prüfen zu können, ob es Zusammenhänge zwischen Persönlichkeitsmerkmalen und den getesteten kognitiven Leistungen geben könnte.

Das NEO-FFI setzt sich aus 60 Aussagen zusammen, die von dem Probanden beantwortet werden sollten. Vorgegeben sind hier fünf Antwortmöglichkeiten von „starke Ablehnung“ bis „starke Zustimmung“, zwischen denen der Proband wählen konnte.

Außerdem wurde als Interview der SKID (Strukturiertes Klinisches Interview) (Wittchen et al., 1997) mit den Probanden durchgeführt. Der SKID ist ein Testverfahren, mit dem eventuelle psychiatrische Erkrankungen relativ umfassend ausgeschlossen oder auch erfasst werden können.

2.4.2 MRT-Messung

2.4.2.1 Messablauf

Vor Beginn der Messung im MRT erhielt der Proband eine Einführung in die ihm im MRT erwartende Aufgabe.

Zunächst wurde dem Probanden erklärt, dass er während der Messung im MRT über einen Monitor geometrische Figurenpaare über einen bestimmten Zeitraum gezeigt bekäme. Seine Aufgabe war es, zu entscheiden, ob die ihm dargebotenen Figuren identisch sind oder nicht. Es wurden ihm Figurenpaare gezeigt, die identisch, nicht identisch und auf den ersten Blick direkt als identisch zu identifizieren waren. Die geometrischen Figuren entsprachen denen von Peters, basierend auf dem Design von Shepard und Metzler (1971).

Abbildung 1 ist ein Beispiel für die während der Messung verwendeten Figurenpaare, die durch Drehung als identisch auszumachen waren.

Abbildung 1

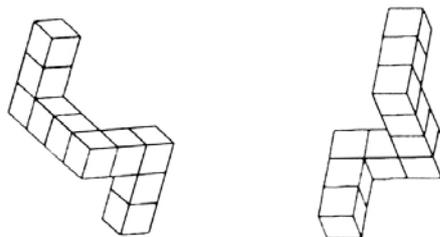
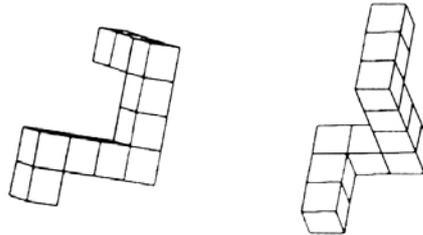


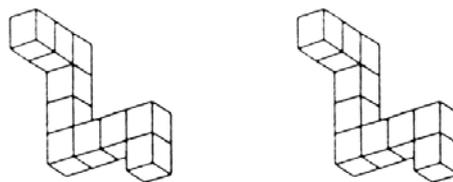
Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für ein nicht identisches Figurenpaar.

Abbildung 2



Als weitere Gruppe von Figuren paaren wurden den Probanden während der Messung Figurenpaare gezeigt, deren Darstellung und Figuren direkt als identisch auszumachen waren. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für diesen Typ des Figurenpaares.

Abbildung 3



Als nächste Aufgabe wurde dem Probanden die Synonymgenerierung erläutert. Dem Probanden wurde bei dieser Aufgabe über den Monitor eine bestimmte Anzahl an Wörtern in zeitlich definierten Abständen gezeigt, zu denen er Synonyme bilden sollte. Die dargebotenen Wörter waren Adjektive. Folgendes Beispiel stellte eine Sequenz dar: stark, glücklich, dunkel, kalt, schlau, dünn, leise, ärgerlich, zweifelhaft, richtig.

Zwischen den einzelnen Adjektiven sollten die Probanden gedanklich Synonyme generieren.

Die nächste Aufgabe bestand lediglich darin, die dem Probanden dargebotenen Wörter zu lesen. Auch hier wurden Adjektive verwendet, jedoch andere, als bei der Synonymgenerierung verwendet wurden. Eine Beispielsequenz lautet, wie folgt: frei, flach, ernst, böse, fair, gerecht, eilig, arm, ordentlich, spät.

Im darauf folgenden Messabschnitt wurde dem Probanden über den Monitor ein Schachbrettmuster gezeigt, das abwechselnd auf der linken Seite und der rechten Seite des Monitors flackerte. Der Proband sollte währenddessen auf das kleine schwarze Kreuz in der Mitte des Bildschirms schauen.

Die beiden letzten Messabschnitte boten dem Probanden über einen Kopfhörer spezielle Töne an, die er sich anhören sollte. Hiermit sollte die Aktivität des auditorischen Kortex gemessen werden.

Der Proband bekam die Anweisung, für die gesamte Messzeit die Aufgaben in Gedanken zu lösen, ohne zu sprechen oder seine Lippen oder Zunge zu bewegen. Weiterhin wurde der Proband darüber aufgeklärt, dass es während der Aufgabe Phasen gebe, in denen der Bildschirm überwiegend schwarz ist mit einem kleinen weißen Kreuz in der Mitte des Bildschirms, das es ruhig zu betrachten galt.

Sowohl vor als auch nach der funktionalen Messung wurden von den Gehirnen anatomische Scans aufgezeichnet, um zu beurteilen, ob der Proband sich während der Messung wesentlich bewegt hat.

Die Probanden wurden in einer Standard fMRT GE Sequenz mit Standard BirdCage Kopfspule an einem drei Tesla fMRT (Gyrosan Intera 3.0 T, Philips, Best, NL) gemessen. Während der fMRT Untersuchung (multislice single shot EPI des ganzen Kopfes, TR 3 s, TE 50 ms, 3.5 mm isotrope Voxel) wurden die Stimuli mittels Presentation Software® und einer MRT-kompatiblen Projektionseinrichtung präsentiert.

2.4.2.2 Paradigmenbeschreibung

Das erste Paradigma war die Mentale Rotation mit Kontrollbedingung, für die es zwei verschiedene Versionen gibt. Es wurden bei jeder Version in 7,5 Minuten 150 Bilder erstellt. Dabei setzte sich die Sequenz aus drei Stimuli zusammen:

Stimulus a: 5 Sekunden Mentale Rotation + 1 Sekunde Pause (schwarzer Bildschirm)

Stimulus b: 5 Sekunden Kontrollbedingung + 1 Sekunde Pause (schwarzer Bildschirm)

Stimulus c: 30 Sekunden Pause

Daraus setzte sich die Sequenz wie folgt zusammen: abcbacbacabcbac.

Die zweite Version unterschied sich von der ersten im Ablauf der Stimuli in der Sequenz wie folgt: abcabcbacabcabc.

Das zweite Paradigma bestand in der Synonymaufgabe. Auch hier gab es zwei Versionen mit unterschiedlichen Wörtern. Die Sequenz war in beiden Versionen gleich. In 5 Minuten wurden 100 Bilder erstellt. Die Sequenz setzte sich aus zwei Stimuli zusammen:

Stimulus a: 2 Sekunden Wort + 13 Sekunden Pause (schwarzer Bildschirm)

Stimulus b: 30 Sekunden Pause

Die Sequenz setzte sich wie folgt zusammen: [(a)x2 b] x 10

In der ersten Version wurden folgende Wörter benutzt: stark, glücklich, dunkel, kalt, schlau, dünn, leise, ärgerlich, zweifelhaft, richtig. Die zweite Version beinhaltete folgende Wörter: klar, hübsch, scharf, lustig, dick, warm, ängstlich, dumm, langweilig, einfach.

Die Leseaufgabe als Kontrollbedingung war das dritte Paradigma. Auch hier gab es zwei Versionen, die sich auch durch die dargebotenen Wörter unterschieden. Es wurden in 5 Minuten 100 Bilder erstellt. Die Anzahl der Stimuli sowie die Sequenz wurde analog zum Paradigma „Synonym“ gebildet. Version 1 beinhaltete folgende Wörter: jung, herzlich, allein, knapp, häuslich, fein, arm, vorteilhaft, sorgfältig, früh. Die zweite Version zeigte folgende Wörter: frei, flach, ernst, böse, fair, gerecht, eilig, arm, ordentlich, spät.

Am Ende der Messung wurden noch funktionelle Daten für einfache visuelle und akustische Stimulationen erhoben. Diese Daten sind nicht Teil der vorliegenden Arbeit.

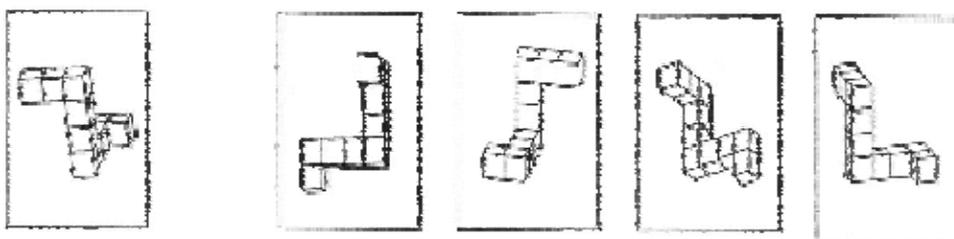
Eventuelle Besonderheiten im Messablauf wurden schriftlich vom Untersucher in einem Protokoll festgehalten.

2.4.3 Erhebungen nach der fMRT Untersuchung

Nach der Messung im MRT erhielt der Proband einen Test mit Aufgaben der Mentalen Rotation. Ihm wurde sowohl durch eine schriftliche Instruktion als auch durch den Untersucher die Aufgabe erläutert. Die Aufgabe enthielt Figuren, die der Proband schon während der Messung im MRT gesehen hatte.

In der Aufgabe war eine Figurenreihe mit vier Figuren gezeigt. Am linken Rand war eine singuläre Figur dargestellt, die als Referenzfigur mit den anderen verglichen werden sollte. Hier wurde ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, dass genau zwei der Figuren aus der Reihe mit der Referenzfigur identisch seien, die der Proband mit einem Kreuz markieren sollte. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für eine Figurenreihe.

Abbildung 4



Der Test bestand aus insgesamt 24 Aufgaben, die in zwei Blöcke mit je 12 Aufgaben unterteilt wurden. Pro Block erhielt der Proband drei Minuten Zeit.

Mit diesem Test sollte überprüft werden, ob der Proband die Aufgabe in MRT richtig verstanden hat und sie nach bestem Wissen zu lösen versucht hat.

Für die Bewertung des Tests wurde die Anzahl der richtigen Paare, die der Proband pro Reihe gefunden hatte, ins Verhältnis zu den 24 Aufgaben gesetzt (MRT 24). Weiterhin wurden alle gefundenen Lösungen einzeln zu 48 ins Verhältnis gesetzt (MRT 48).

Weiterer Bestandteil des Nachlaufs war ein Fragebogen, der von dem Probanden erfragt sollte, wie er zur Lösung der Aufgabe der mentalen Rotation vorgegangen war, und ob er eine besondere Strategie benutzt hat. Der Fragebogen fragt unter anderem nach einer speziellen Strategie bei der Bewältigung der Mentalen Rotation sowie nach Unterschieden zwischen der Lösung der Aufgaben während der fMRT-Untersuchung und der bei der Papier-Bleistift-Version.

Im zweiten Teil der Erhebungen nach der fMRT Untersuchung sollte der Proband erneut Synonyme generieren.

Hierzu erhielt er in einem ersten Schritt über eine Powerpoint®-Präsentation genau die zehn Synonyme, die er schon im MRT über den Monitor gesehen hatte. Diesmal sollte der Proband die Synonyme allerdings laut generieren, sodass der Untersucher die Wörter mit Hilfe eines Computerprogramms aufzeichnen und schriftlich niederlegen konnte. Dieser Abschnitt wurde mit dem Wort „recall“ gekennzeichnet.

In einem zweiten Schritt wurden dem Probanden sieben neue Wörter dargeboten, zu denen er passende Synonyme bilden sollte. Für diesen Teil erhielt er zwischen den einzelnen Wörtern mehr Zeit für die Generierung. Dieser Teil erhielt die Bezeichnung „syn“. Auch hier wurden wieder Adjektive verwendet. Als Beispiel dient folgende Sequenz: sauber, fassungslos, brav, altmodisch, wichtig, eigensinnig, nützlich.

Weiterhin floss in die Auswertungen die Gesamtzahl der generierten Synonyme ein, die mit der Bezeichnung „gesamt“ versehen wurde.

Aus der Synonymaufgabe wurden die Synonyme nach einer Kategorie 1, die aus zwei voneinander unabhängigen Wörterbüchern gebildet wurde, ausgewertet. Zusätzlich wurden alle erzeugten Wörter, unabhängig davon, ob sie Synonyme sind, mitbewertet und mit der Bezeichnung „Wörter“ gekennzeichnet. Auch in dieser Gruppe ist die Unterteilung nach „recall“, „syn“ und „gesamt“ zu finden, wie oben beschrieben.

Mit dieser Erhebung sollte überprüft werden, ob die Aufgabe im MRT richtig verstanden und bearbeitet wurde.

Weiterhin wurde nach der fMRT Untersuchung im Rahmen eines Gewohnheitsfragebogens anhand einer visuellen Analogskala die sexuelle Orientierung des Probanden ermittelt, um sicherzustellen, dass nur heterosexuelle Probanden in der Studie eingeschlossen sind. Diese Analogskala bestand aus einer zehn cm langen Linie, die auf der linken Seite mit dem Wort „Frauen“ und auf der rechten Seite mit dem Wort „Männer“ gekennzeichnet war. Der Proband war nun dazu angehalten, auf der Linie zu markieren, zu wem er sich sexuell hingezogen fühlte.

Auf die anderen Einheiten des Gewohnheitsfragebogens wird in der vorliegenden Arbeit nicht näher eingegangen.

Alle beschriebenen Masse und Fragebögen dienten dazu, eine möglichst gesunde, homogene Probandenstichprobe bilden zu können.

2.5. AUSWERTUNG

2.5.1 Auswertung der Fragebögen und Tests

Der MWT-B (Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenztest) (Lehrl et al., 1995) besteht aus 37 Items. Jedes Item wird einfach gewertet, sodass der Proband maximal die Möglichkeit hat, 37 Punkte zu erlangen. Die richtigen Lösungen werden addiert. Die Gesamtpunktzahl des einzelnen Probanden wird mit den Leistungen einer repräsentativen deutschsprachigen Stichprobe verglichen. Daraus kann dann der IQ ermittelt werden.

Der CFT 20 (Culture Fair Intelligence Test Scale 2) (Weiß, 1998) besteht aus 4 Untereinheiten unterschiedlicher Aufgaben und Aufgabenanzahl. Auf einem Antwortblatt werden die Lösungen des Probanden angekreuzt und mittels einer

Schablone ausgezählt. Mit Hilfe von Normtabellen werden die Normwerte (IQ und T-Wert) und die Prozentränge ermittelt.

Der Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971) besteht aus 10 Fragen, die mit 5 Antwortmöglichkeiten beantwortet werden können. Die Fragen richten sich auf Tätigkeiten, die mit der Hand vollführt werden. Die Antwortmöglichkeiten bieten „nur mit links“, „meist mit links“, „mit beiden Händen“, „meist mit rechts“ und „nur mit rechts“. Anhand der Antworten der Probanden kann über eine Formel zur Berechnung des Lateralitätsquotienten die Händigkeit detektiert werden.

Der BSI (Brief Symptom Inventory) (Frank, 2000) dient zur Erfassung subjektiver Beeinträchtigung durch somatische und psychische Symptome. Er besteht aus 53 Items, über die Aussagen zur Symptombelastung getroffen werden können. Diese können zu 9 Skalen zusammengefasst werden. Daraus berechneten T-Werte, die mit einer repräsentativen Stichprobe verglichen werden können.

Das NEO-FFI (NEO-Fünf-Faktoren-Inventar) (Borkenau und Ostendorf, 1993) erfasst mittels 5 Skalen und 60 Items die fünf Dimensionen Neurotizismus, Extraversion, Offenheit für Erfahrung, Verträglichkeit und Gewissenhaftigkeit. In der Analyse der Daten werden Prozentränge, T-Werte und Stanine berechnet, die mit repräsentativen Normwerten verglichen werden können.

Die schriftliche Version der mentalen Rotation bestand aus 24 Aufgaben. Gezählt wurden zum einen die Aufgaben, die komplett gelöst wurden, das heißt, die Reihen wurden bewertet, bei denen beide Lösungen gefunden wurden; zum anderen wurden allerdings auch die Aufgaben separat gewertet, die nur ein richtiges Bild in einer Reihe erkannt haben. Aus beiden Ergebnissen wurden dann jeweils Prozentränge errechnet.

Bei der schriftlichen Version der Synonymaufgabe wurden die von den Probanden genannten Synonyme ausgezählt und in die oben beschriebenen Kategorien eingeteilt. Die entsprechenden Wörter wurden dann in absoluten Werten ausgezählt und Mittelwerte berechnet.

Um zu beurteilen, ob die von den Probanden genannten Wörter tatsächlich Synonyme der in der Aufgabe dargebotenen Adjektive sind, wurde eine Liste von Synonymen erstellt, die aus Der Duden (Müller, 1997) und Deutsches Wörterbuch (Wahrig, 2002) zusammengesetzt wurde. Dadurch wurde gewährleistet, dass eine möglichst objektive Bewertung der gegebenen Antworten stattfindet.

2.5.2 Bilderanalyse

Die fMRT Datenanalyse erfolgte mit SPM2® (Statistical Parametric Mapping Wellcome Department of Cognitive Neurology, London) (www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm). Die ersten zehn Bilder einer Zeitserie (30 s Phase vor Stimulus) wurden verworfen, um einen Sättigungseffekt des BOLD-Signals zu gewährleisten. Die verbliebenen Bilder wurden räumlich vorverarbeitet, normalisiert und auf eine Voxelgröße von $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ zugeschnitten. Anschließend erfolgte eine Gaußsche Glättung der Daten mit einem Kernel von 9 mm. Die Daten wurden mit einem Hochpassfilter mit Cut-off Periode von 128 s gefiltert. Zur Modellierung der BOLD-Antwort für die mentale Rotationsaufgabe wurde ein klassisches Box-Car-Modell unter Verwendung der kanonischen hämodynamischen Antwortfunktion genutzt.

In einem ersten Analyseschritt wurde eine statistische parametrische Karte (statistical parametric map=SPM) und korrespondierende Kontrastbilder für jeden Probanden erstellt, die die Kontraste von Interesse (contrasts of interest) widerspiegeln. Die Mentale Rotation von 3D-Objekten wurde mit der passiven Betrachtung der gleichen Objekte verglichen (a-b).

Für die Analyse der Gehirnanaktivierung innerhalb jeder Gruppe wurde jeweils eine ANOVA gerechnet mit $p < 0,001$. Zwischen den Gruppen wurden Vergleiche jeweils mit einer ANOVA mit einem $p < 0,005$ gerechnet. Die p -Werte waren in allen Berechnungen unkorrigiert. Weiterhin wurden nur Aktivierungen mit einer Voxelzahl von mindestens $k=20$ berücksichtigt. Für die Lokalisation der Aktivierungen wurden die Koordinaten des Montreal Neurological Institute (MNI) verwendet.

2.5.3 Auswertung der Hormone

Die Probandenseren wurden dem Zentrallaboratorium des Universitätsklinikums Münster zur Hormonbestimmung überstellt. Bestimmt wurden die Konzentrationen von Testosteron, Östrogen, Progesteron, Luteinisierendes Hormon (LH) und Follikelstimulierendes Hormon (FSH). Alle Hormonanalysen erfolgten anhand eines Standardassays.

Männer mit einem Testosteronlevel von weniger als 2,3 ng/ml wurden ausgeschlossen. Bei Einsetzen der Menstruationsblutung und einer Konzentration von Östrogen und Progesteron von unter 70 pg/ml beziehungsweise 1 ng/ml wurden die Frauen zeitlich in der frühen follikulären Phase des Menstruationszyklus eingestuft. Die Mittlutealphase wurde berechnet anhand der individuellen Zykluslänge minus sieben Tagen (\pm zwei Tagen) vor der Messung. Alle eingeschlossenen Frauen hatten eine Östrogenkonzentration von über 66 ng/ml und eine Progesteronkonzentration von über 4 ng/ml. LH und FSH befanden sich bei allen Probandinnen im normalen Niveau der Prämenopause (FSH < 15 IU/L, LH < 20 IU/L).

Diese Hormonwerte wurden in SPSS-Dateteilen zusammengefasst, um weitere Rechnungen zu ermöglichen.

Auf die Hormonwerte und deren Bedeutung für die Gesamtstudie wird in der vorliegenden Studie nicht näher eingegangen.

3 ERGEBNISSE

3.1 T-TEST

Zur Auswertung der in den demographischen testpsychologischen Daten erhobenen Ergebnisse wurden Berechnungen mit Hilfe des T-Tests gemacht.

Der T-Test gehört zu den parametrischen Testverfahren. Mit Hilfe des T-Tests lässt sich errechnen, ob man aus Beobachtungen einer Stichprobe Rückschlüsse auf bestimmte Eigenschaften der Grundgesamtheit ziehen kann.

Der T-Test findet Anwendung bei Fragestellungen bezüglich des Mittelwertes einer beobachteten Variablen, der daraufhin geprüft werden soll, ob er einen vorgegebenen Wert in der Grundgesamtheit über- bzw. unterschreitet.

Weiterhin dient der T-Test dem Vergleich zweier Mittelwerte. Er gibt an, ob man aus den Stichprobenbeobachtungen schließen kann, dass die beiden zu vergleichenden Mittelwerte einer beobachteten Variablen in der Grundgesamtheit voneinander verschieden sind.

Voraussetzungen für die Durchführung eines T-Tests sind, dass die betrachteten Variablen Intervallskalenniveau aufweisen, und dass die betrachteten Variablen in der Grundgesamtheit normalverteilt sind.

Werden zwei unabhängige Stichproben miteinander verglichen, ist es von Bedeutung, ob die betrachtete Variable in den beiden miteinander verglichenen Teilgruppen die gleiche Varianz aufweist. Dies ist jedoch keine zwingende Voraussetzung für die Durchführung eines T-Tests.

3.2 ERGEBNISSE DER DEMOGRAPHISCHEN TESTPSYCHOLOGISCHEN DATEN

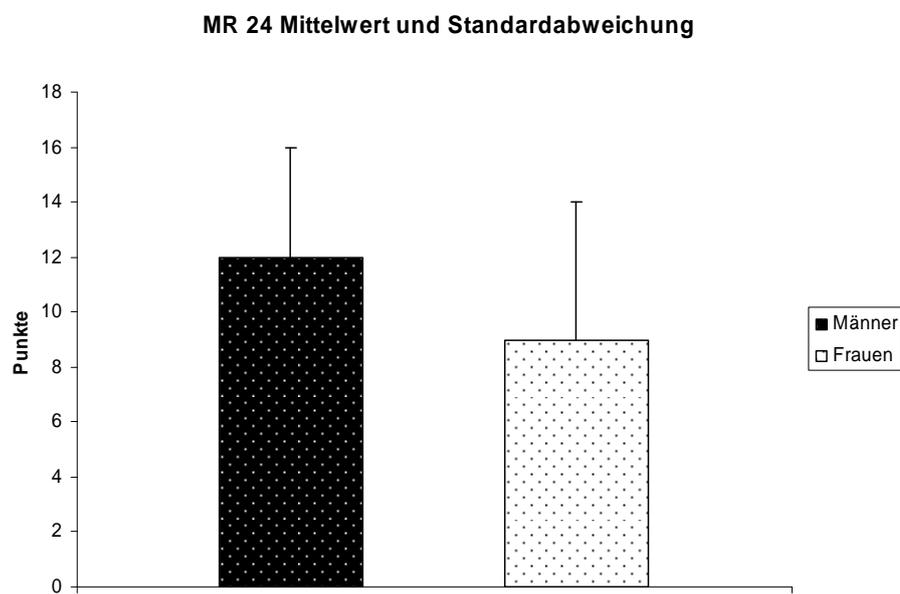
Das Alter, die Kurzmaße für Intelligenz, der BSI, der NEO-FFI, der SKID, die oben beschriebenen schriftlichen Ausführungen der Mentalen Rotation und der

Synonymaufgabe wurden durchgeführt sowie die sexuelle Orientierung der Probanden erfasst, um eine möglichst gesunde, homogene Probandenstichprobe bilden zu können. Die vorliegende Studie umfasst je zwölf Männer und Frauen, wobei die Frauen in der perimenstruellen Phase gemessen wurden. Der Mittelwert des Alters liegt bei den Männern bei circa 33 Jahren und bei den Frauen bei circa 30 Jahren, so dass kein signifikanter Unterschied in der Altersverteilung erkennbar ist ($t=-1,015$; $p=0,322$). Bei dem Kurzmaß für nonverbale Intelligenz CFT 20 liegt der Mittelwert für Frauen bei einem IQ von circa 118 und bei den Männern bei 124. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($t=-1,166$; $p=0,257$). Auch das Kurzmaß für verbale Intelligenz MWT-B mit den Mittelwerten 112 für Frauen und 117 für Männer zeigt keinen signifikanten Unterschied ($t=-0,959$; $p=0,348$). Sowohl der BSI als Maß für die Befindlichkeit als auch der NEO-FFI als Persönlichkeitsinventar zeigten keinerlei signifikante Auffälligkeiten. Ebenso ließen sich mit Hilfe des SKID psychiatrische Erkrankungen für die vorliegende Stichprobe ausschließen.

Bei der schriftlichen Form der Mentalen Rotation im Nachlauf wurde im 24-Punkte-Teil bei den Frauen ein mittlerer Punktwert von circa 9 und bei den Männern von circa 11 erreicht ($t=-1,387$; $p=0,181$).

Grafik 1 zeigt die Mittelwerte in Punkten mit der Standardabweichung für die Männer und die Frauen bei der Mentalen Rotation im 24-Punkte-Teil.

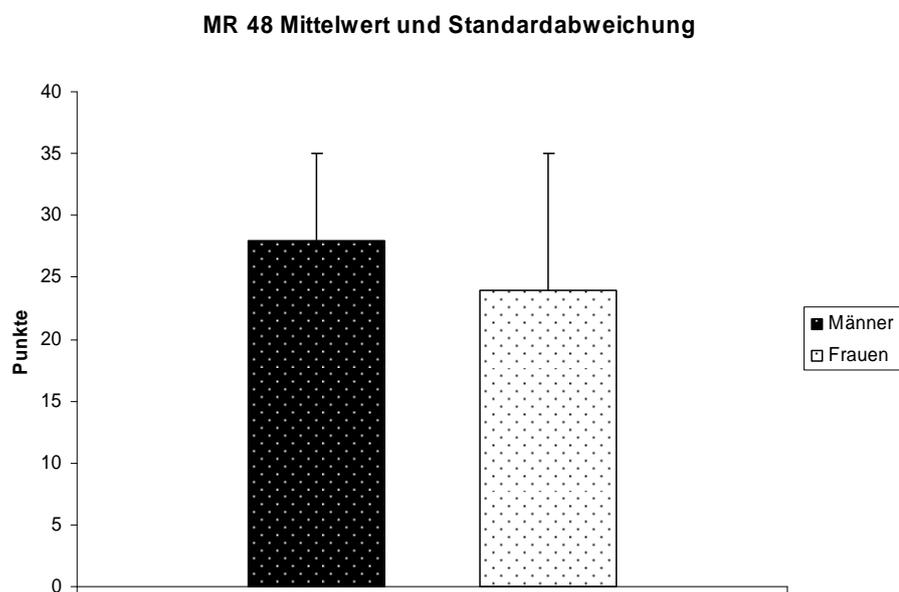
Grafik 1



Im 48-Punkte-Abschnitt lag der Mittelwert bei den Frauen bei circa 24 und bei den Männern bei 28 ($t=-1,281$; $p=0,216$).

Grafik 2 zeigt die Mittelwerte in Punkten mit der Standardabweichung für die Männer und die Frauen bei der Mentalen Rotation im 48-Punkte-Teil.

Grafik 2



In beiden Abschnitten der handschriftlichen Version der Mentalen Rotation bestanden keine signifikanten Unterschiede.

Die Ergebnisse des Fragebogens zur Erfassung der Strategie bei der Mentalen Rotation sind den beigefügten Diagrammen 1 bis 10 dem Anhang zu entnehmen. Sie zeigen auszugsweise die Ergebnisse der entscheidenden Frageblöcke des Fragebogens.

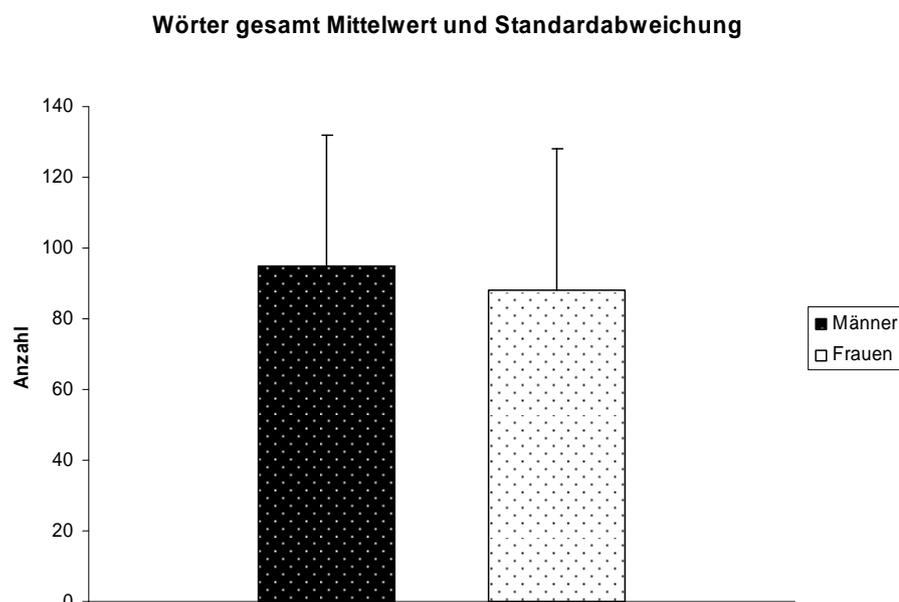
Weiterer Bestandteil des Nachlaufs war die Synonymaufgabe.

Hier wurden sowohl alle Wörter gezählt, die von den Probanden genannt wurden, als auch speziell die Wörter, die laut zweier voneinander unabhängiger Wörterbücher als Synonyme deklariert sind. Letztere Gruppe wurde in der „Kategorie 1“ zusammengefasst.

Bei der Wortzahl „recall“ liegen die Mittelwerte bei circa 48 für die Frauen und circa 51 für die Männer ($t=-0,349$; $p=0,730$). Im Abschnitt „syn“ erreichten die Frauen einen Mittelwert von circa 41 und die Männer von circa 45 ($t=-0,568$; $p=0,576$). Bei der Wortzahl „gesamt“ liegt der Mittelwert für die Frauen bei circa 88 und für die Männer bei circa 95 ($t=-0,459$; $p=0,651$). In allen drei Abschnitten liegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen vor.

Grafik 3 gibt die Mittelwerte sowie die Standardabweichung für die Wortzahl „gesamt“ für die Männer und die Frauen wieder.

Grafik 3

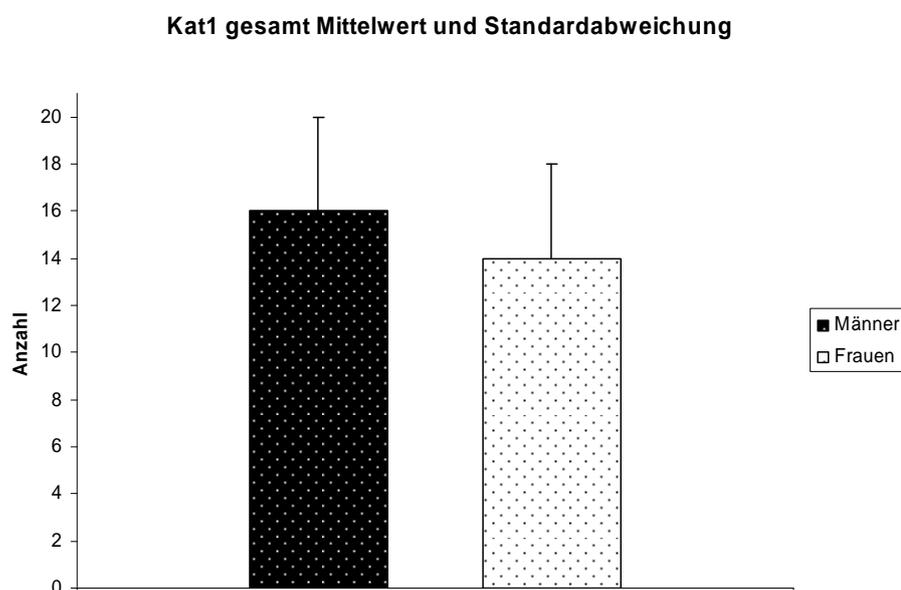


In der „Kategorie 1“ erhielten die Frauen im Abschnitt „recall“ einen Mittelwert von circa 9 und die Männer einen Mittelwert von circa 10 ($t=-0,648$; $p=0,524$). Im Abschnitt

„syn“ erreichten die Frauen einen Mittelwert von circa 4 und die Männer von circa 6 ($t=-1,801$; $p=0,087$). Im Abschnitt „gesamt“ liegen für die Frauen ein Mittelwert von circa 14 und bei den Männern ein Mittelwert von circa 16 vor ($t=-1,274$; $p=0,216$).

Grafik 4 zeigt die Mittelwerte und die Standardabweichung der Kategorie 1 „gesamt“ für die Männer und die Frauen.

Grafik 4



Demnach liegen in allen drei Abschnitten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen vor.

Die sexuelle Orientierung des Probanden wurde an Hand einer visuellen Analogskala ermittelt. Hierbei wurde ein t-Wert von $t=-0,740$ bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,475$ erhoben.

Die erhobenen Daten zeigen, dass in den oben beschriebenen Beobachtungen keine signifikanten Unterschiede vorliegen, so dass auf eine homogene Probandenstichprobe geschlossen werden kann.

Die Auswertung der Sexualhormone zeigt für alle Probanden, dass sich die einzelnen Hormone in ihren geschlechtsspezifischen Referenzbereichen befanden.

3.3 fMRT-DATEN

Für die Analyse der Gehirnmotivierung innerhalb jeder Gruppe wurde jeweils eine ANOVA gerechnet mit $p < 0,001$. Zwischen den Gruppen wurden Vergleiche jeweils mit einer ANOVA mit einem $p < 0,005$ gerechnet. Die p -Werte waren in allen Berechnungen unkorrigiert. Weiterhin wurden nur Aktivierungen mit einer Voxelzahl von mindestens $k=20$ berücksichtigt. Für die Lokalisation der Aktivierungen wurden die Koordinaten des Montreal Neurological Institute (MNI) verwendet.

3.3.1 Mentale Rotation

3.3.1.1 Männer

Die oben beschriebenen Berechnungen zeigten Ergebnisse, die im Folgenden aufgeführt werden. Zunächst werden die aktivierten Areale der Männer bei der Lösung der Mentalen Rotation aufgeführt.

Die Männer zeigten starke Aktivierungen in parietookzipitalen sowie in frontalen Bezirken. Parietookzipitale Aktivierungen fanden sich links im Lobulus parietalis inferior, Praecuneus, Lobulus parietalis superior sowie in den Gyri postcentralis, supramarginalis et occipitalis medius (Brodmann-Area [BA] 1-5, 7, 19, 39, 40; MNI: -40, -52, 56; Cluster size [CS]=4685; Z-Wert=5,51) sowie links im Gyrus fusiformis, occipitales medius et inferior und in der Declive (BA 18, 19, 20, 37; MNI: -38, -60, -20; CS=1776; Z-Wert=5,05). Rechtsseitig zeigten sich Aktivierungen im Bereich des Lobulus parietalis inferior, Praecuneus, Lobulus parietalis superior sowie in den Gyri supramarginalis, occipitales medius et superior und im Gyrus angularis (BA 1, 2, 3, 5,

7, 18, 19, 39, 40; MNI:32, -66, 60; CS=4082; Z- Wert=5,13). Eine weitere rechtsseitige parietookzipitale Aktivierung zeigte sich im Gyrus fusiformis und im Culmen (BA 19, 20, 37; MNI: 28, -66, -34; CS=715; Z-Wert=4,35).

Frontal zeigten sich aktiviert linksseitig die Gyri frontales inferior et medius (BA 6, 8, 9, 13, 44-47; MNI: -48, 10, 24; CS=2310; Z- Wert=4,71) sowie die Gyri frontales medius et superior (BA 6, 8, 24, 32; MNI: -22, -2, 60; CS =2193; Z-Wert=5,33). Eine weitere schwächere linksseitige Aktivierung ließ sich im Bereich des Gyrus frontalis medius nachweisen (BA 10, 46; MNI: -34, 58, 14; CS=91; Z-Wert=3,7).

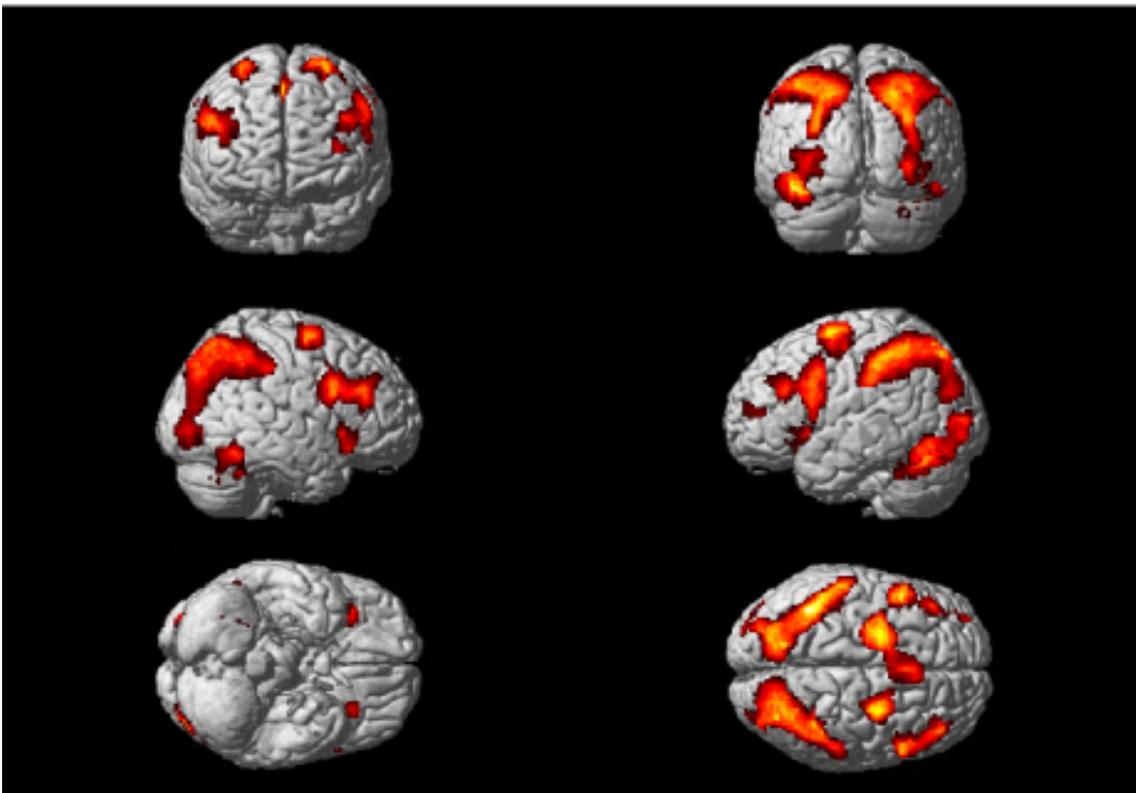
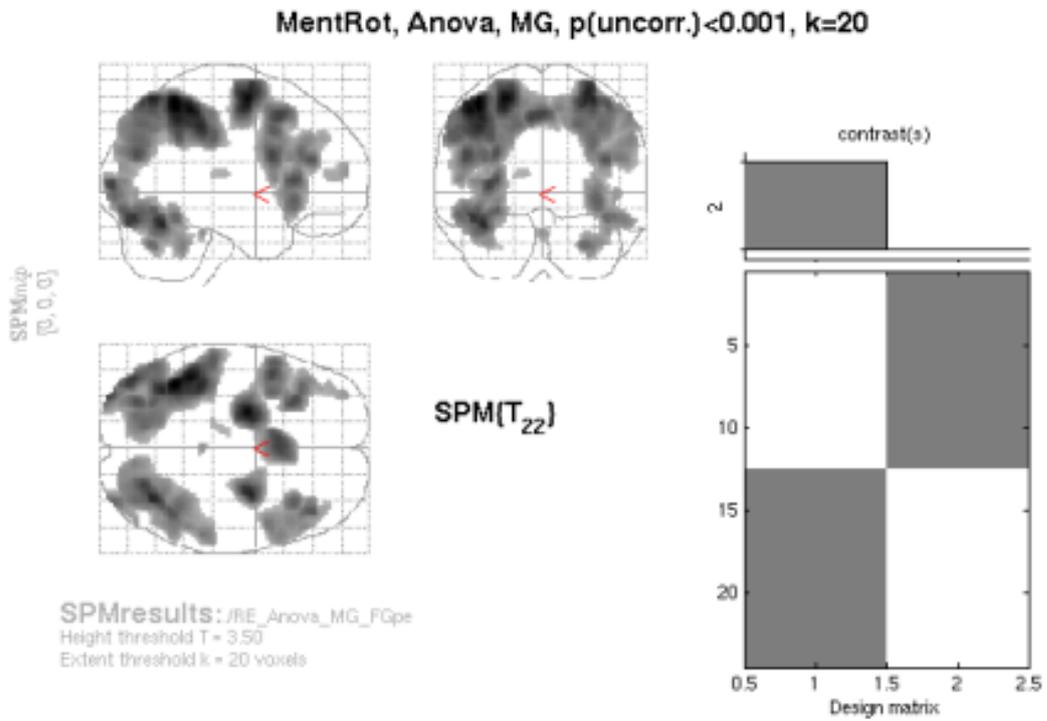
Rechtsfrontal waren aktiviert die Gyri frontales inferior et medius (BA 8-10, 44-46; MNI: 40, 34, 20; CS=1295; Z-Wert=4,57). Schwächere Aktivierungen rechts fanden sich im Gyrus frontalis medius (BA 6; MNI: 30, -4, 64; CS =726; Z-Wert=5,11) sowie im Gyrus frontalis inferior und der Insula (BA 13, 45, 47; MNI: 36, 24, -6; CS=420; Z-Wert=4,42).

Sehr schwache Aktivierungen ließen sich bei den Männern während der Mentalen Rotation im Bereich der Pons (MNI: 0, -34, -26; CS=22; Z- Wert=3,75) sowie links in den Kerngebieten Nuclei dorsales medialis et lateralis und im Pulvinar (MNI: -12, -20, 12; CS=28; Z-Wert=3,32) nachweisen.

Details über die aktivierten Areale mit Angabe der Brodmann Area, der MNI-Koordinaten, der Voxelzahl als „cluster size“ sowie des Z-Wertes sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Die vollständigen Tabellen finden sich im Anhang.

Die Aktivitätsmuster zeigt Abbildung 4.

Abbildung 4 Kortikale Aktivierungsmuster der Männer bei der MR



3.3.1.2 Frauen

Im Folgenden werden die aktivierten Areale der Frauen bei der Lösung der Mentalen Rotation aufgeführt.

Parietookzipital linksseitig zeigten sich Aktivierungen im Lobulus parietalis inferior, Praecuneus, Lobulus parietalis superior sowie in den Gyri supramarginalis, occipitales inferior et medius (BA 2, 7, 18, 19, 37, 40; MNI: -42, -84, -10; CS=2533; Z-Wert=4,45). Weiterhin konnte eine schwache linksseitige Aktivierung im Gyrus fusiformis und der Declive (BA 37; MNI: -36,-58,-22; CS=29; Z-Wert=3,62) nachgewiesen werden

Parietookzipital rechtsseitig fanden sich mittelstarke Aktivierungen im Bereich des Lobulus parietalis superior und Praecuneus (BA 7, 19, 39 ; MNI: 28, -60, 34; CS=738; Z-Wert=4,48) sowie im Bereich der Gyri occipitales inferior et medius (BA 18, 19; MNI: 26, -86, -2; CS=272; Z-Wert=3,95).

Linksfrontal fanden sich mittelstarke Aktivierungen in den Gyri frontales medius et inferior (BA 6, 9, 44, 45; MNI: -50, 10, 26; CS=640; Z-Wert=4,63) sowie im Gyrus frontalis inferior (BA 11, 13, 45, 47; MNI: -24, 28, -14; CS=246; Z-Wert=4,55). Als stark aktiviert zeigten sich links die Gyri frontales medius et superior (BA 6, 8, 9, 24, 32; MNI: 0, 18, 50; CS=1191; Z-Wert=4,26).

Rechtsfrontal fanden sich schwächer aktivierte Areale im Bereich des Gyrus frontalis inferior und des Gyrus praecentralis (BA 44, 45; MNI: 58, 12, 16; CS=223; Z-Wert=4,09), des Gyrus frontalis inferior (BA 47; MNI: 36, 22, -6; CS=116; Z-Wert=3,67), des Gyrus frontalis medius (BA 6; MNI: 30, -4, 62; CS=101; Z-Wert=3,71) sowie im Bereich der Gyri frontales inferior, medius et praecentralis (BA 6,9; MNI: 44, 2, 34; CS=95; Z-Wert=3,8).

Außerdem ließ sich eine temporale Aktivierung nachweisen im Gyrus fusiformis und Gyrus temporalis inferior rechts (BA 20, 37; MNI: 46, -56, -22; CS=138; Z-Wert=3,9).

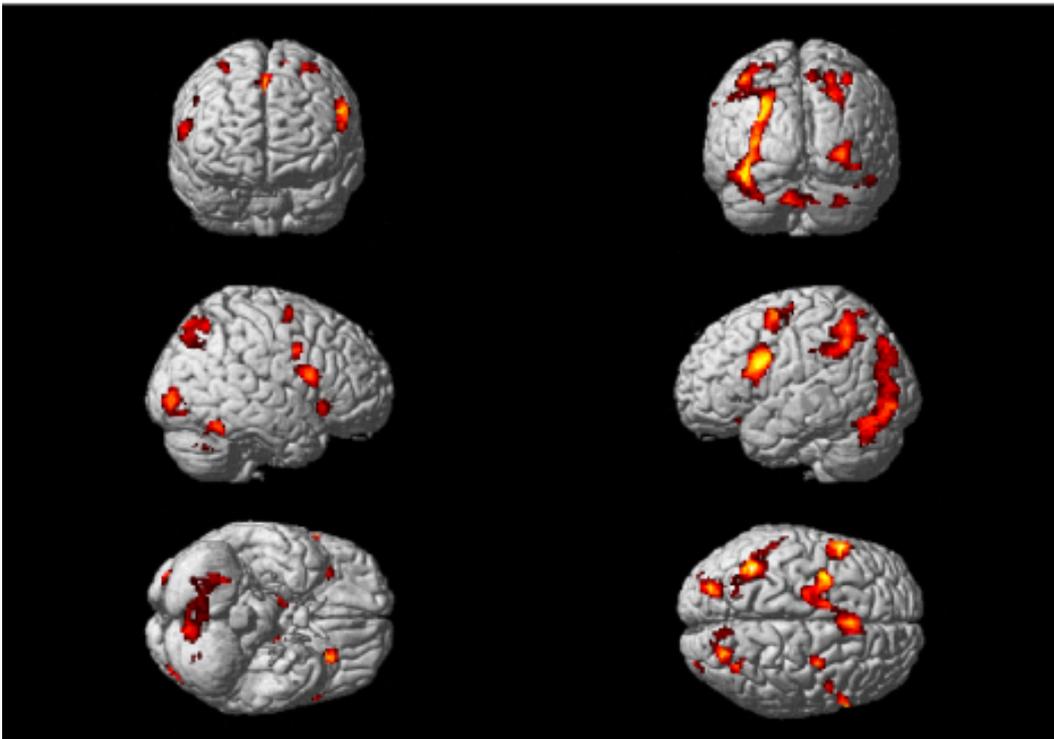
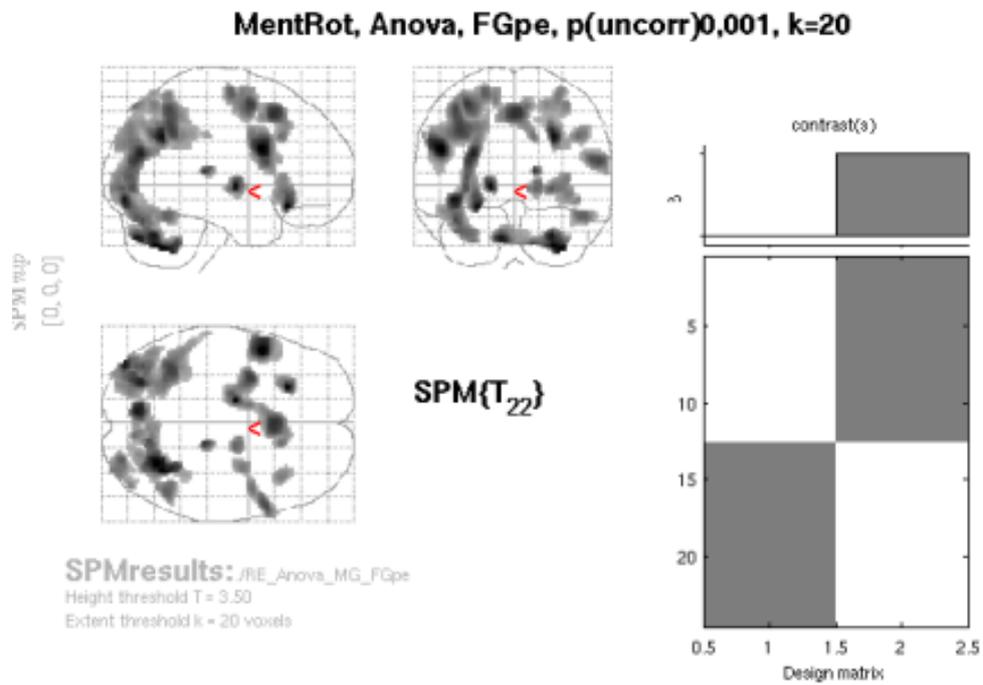
An zerebellären Strukturen waren Uvula vermis, Pyramis vermis, Tuber vermis und Tonsilla cerebelli (MNI: 28, -62, -42; CS=612; Z-Wert=4,61) aktiv.

Weiterhin konnten schwächere Aktivierungen im Bereich des Nucleus lentiformis links (MNI: -16, -8, 0; CS=103; Z-Wert=4,55), des Nucleus lentiformis rechts (MNI: 16, -8,

-2; CS=86; Z- Wert=3,86) sowie im Thal amus rechts (MNI: 14, -30, 10; CS=38; Z- Wert=4,21) nachgewiesen werden.

Tabelle 3 gibt die Details über die aktivierten Areale wieder, und die Aktivierungsmuster sind in Abbildung 5 dargestellt .

Abbildung 5 Kortikale Aktivierungsmuster der Frauen bei der MR



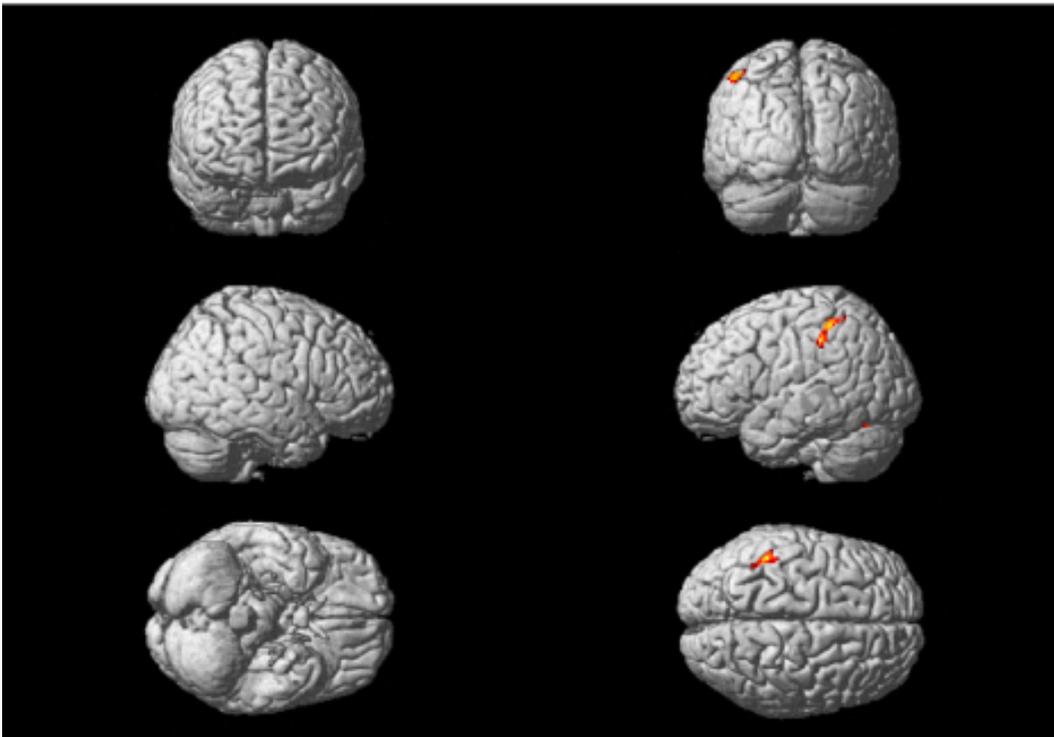
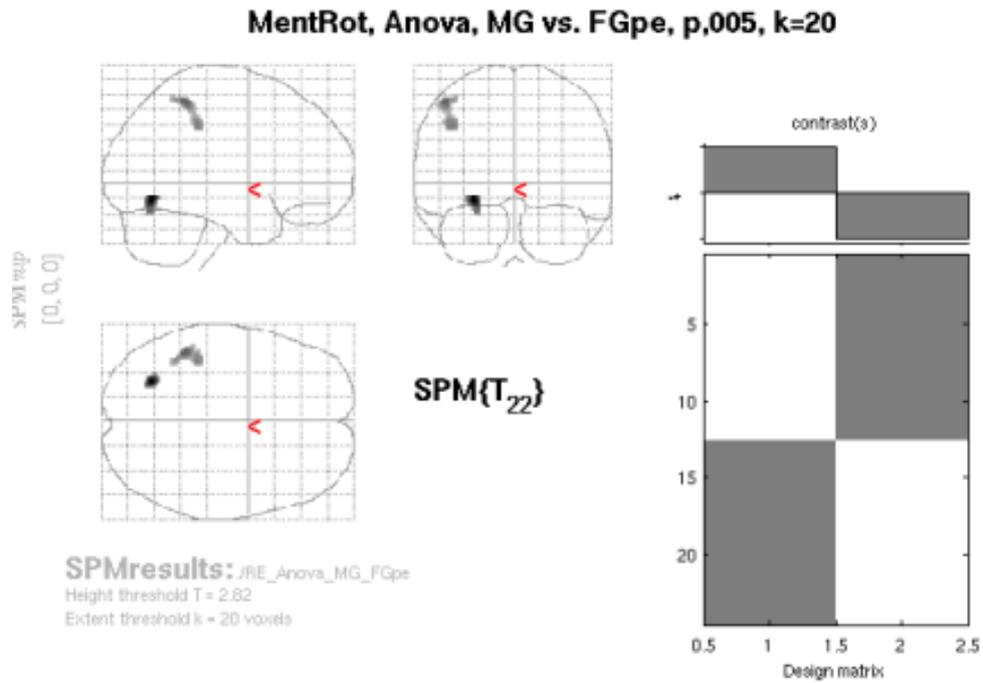
3.3.1.3 Männer versus Frauen bei der Mentalen Rotation

Der Gruppenvergleich Männer versus Frauen zeigt die Aktivierungen der Hirnareale der Männer bei der Mentalen Rotation im Kontrast zu denen der Frauen. Dadurch lassen sich die Areale darstellen, die bei den Männern zusätzlich aktiviert sind und bei den Frauen nicht vorhanden sind. Dies sind im Einzelnen subgyrale Anteile, der Gyrus fusiformis, der Gyrus lingualis und die Decliv e linksseitig (BA 19; MNI: -28, -66, -12; CS=56; z-Wert=3,38) sowie der Lobulus parietalis inferior links (BA 2, 40; MNI: -48, -42, 56; CS=103; z-Wert=2,97).

Tabelle 4 führt die Details der Aktivierungen auf.

Die statistische Subtraktionsanalyse zeigt die in der Abbildung 6 dargestellten Aktivierungsmuster.

Abbildung 6 Kortikale Aktivierungsmuster Männer versus Frauen bei der MR



3.3.1.4. Frauen versus Männer bei der Mentalen Rotation

Vergleicht man die aktivierten Hirnareale der Frauen in Kontrast zu denen der Männer, lassen sich folgende Unterschiede nachweisen:

Gyrus frontalis medialis rechts (BA 8; MNI: 40, 20, 50; CS=40; z-Wert=3,04); Gyri praecentralis et postcentralis links (BA 3, 4; MNI: -46, -16, 58; CS=24; z-Wert=2,99) und (BA 4; MNI: -30, -30, 70; CS=35; z-Wert=2,86); Tonsilla cerebelli links (MNI: -8, -52, -42; CS=25; z-Wert=3,37).

Die Details zu den aktivierten Arealen sind der Tabelle 5 zu entnehmen.

Die Aktivierungsmuster zeigt Abbildung 7.

3.3.2 Synonyme

3.3.2.1 Männer

Bei der Lösung der Synonym aufgabe ließen sich bei den Männern folgende Aktivierungen zeigen.

Linksfrontal ließen sich Aktivierungen in den Gyri frontales inferior et medius sowie im Claustrum und der Insula (BA 6, 8, 9, 11, 13, 22, 38, 44-47; MNI: -42, 30, 20; CS=5920; Z-Wert=5,7) nachweisen. Weitere Aktivierungen zeigten sich in den Gyri frontales superior et medius (BA10; MNI: -30, 50, 18; CS=117; Z-Wert=4,06).

Beidseitige frontale Aktivierungen ließen sich darstellen in den Gyri frontales superior et inferior sowie im Gyrus cinguli (BA 6, 8, 9, 24, 32; MNI: -2, 12, 52; CS=2229; Z-Wert=5,7).

Rechtsfrontal fanden sich Aktivierungen im Gyrus frontalis inferior und der Insula (BA 13, 22, 38, 44, 45, 47; MNI: 32, 22, -6; CS=1134; Z-Wert=5,79) sowie eine schwache Aktivierung in den Gyri frontalis medius et praecentralis (BA 6; MNI: 56, 2, 42; CS=34; Z-Wert=3,51).

Temporal zeigten sich Aktivierungen links im Gyrus temporalis medius (BA 21, 22; MNI: -58, -36, -6; CS=272; Z-Wert=4,06). Beidseitig temporal waren aktiviert der Gyrus lingualis sowie rechtsseitig die Declive (BA 17-19; MNI: 12, -82, -26; CS=1052; Z-Wert=4,73). Weiterhin fanden sich temporal rechtsseitig eine schwache Aktivierung im Gyrus lingualis und im Culmen (BA 18, 19; MNI: 12, -66, -6; CS=32; Z-Wert=3,29).

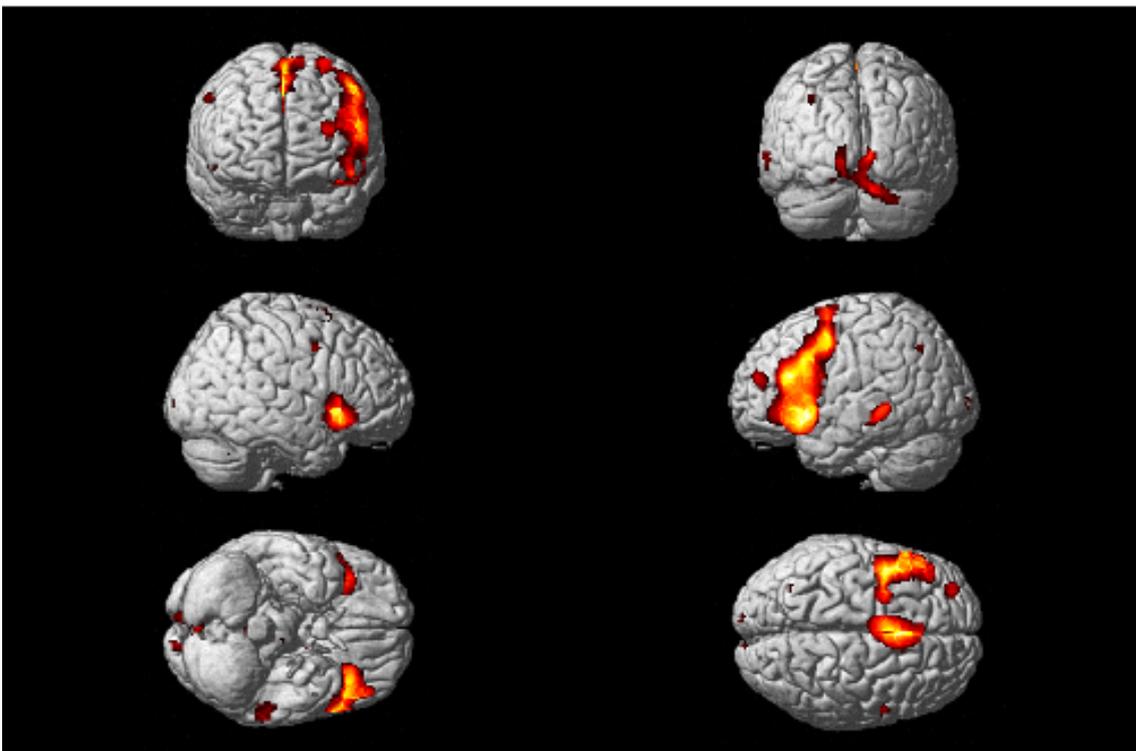
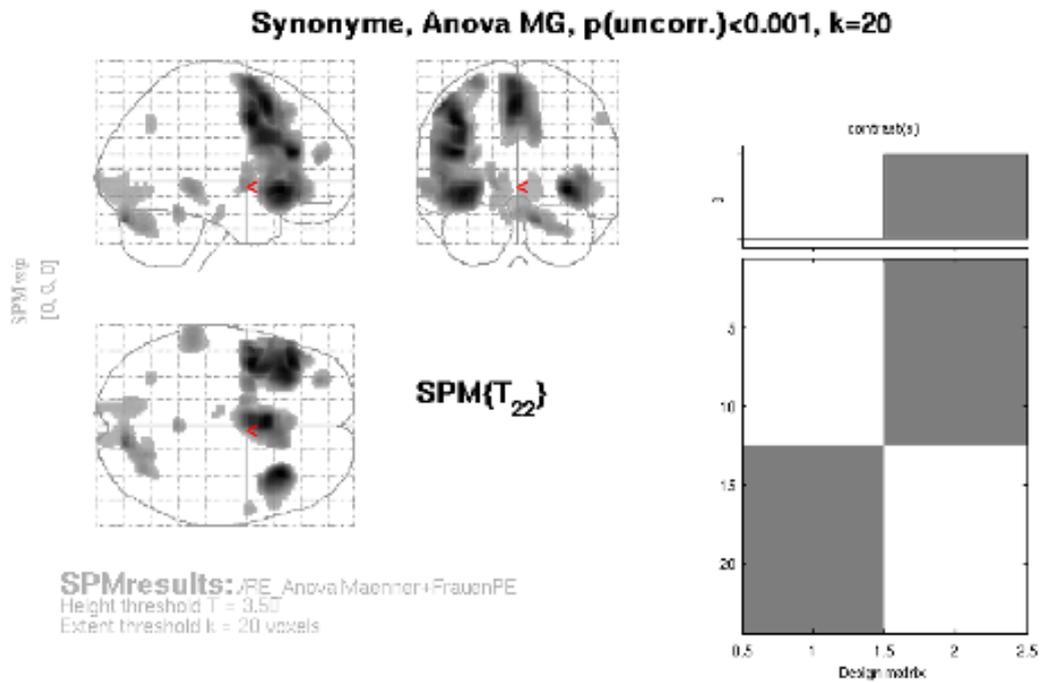
Parietookzipital zeigten sich linksseitig der Lobulus parietalis superior sowie der Praecuneus schwach aktiviert (BA 7, 19, 39; MNI: -32, -64, 42; CS=34; Z-Wert=3,37).

An zerebellären Strukturen ließen sich die Lingula cerebelli und Culmen darstellen (MNI: 0, -46, -20; CS=61; Z-Wert=3,95). Weitere schwache Aktivierungen fanden sich in der Pons und im Mittelhirn (MNI: -8, -20, -24; CS=30; Z-Wert=3,47) sowie links im Nucleus lentiformis (MNI: -16, 0, -2; CS=118; Z-Wert=4,03).

Die Details zu den Aktivierungen mit Angabe der Brodmann Area, den MNI-Koordinaten, der Voxelzahl und des Z-Wertes sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Die Aktivierungsmuster zeigt Abbildung 8.

Abbildung 8 Kortikale Aktivierungsmuster der Männer bei den Synonymen



3.3.2.2 Frauen

Die Aktivitätsmuster der Frauen während der Bearbeitung der Synonymaufgabe zeigten folgende Areale.

Linksfrontal aktivierten der Gyrus frontalis inferior (BA 6, 8, 9, 11, 13, 22, 44-47; MNI: -30, 28, -10; CS=2580; Z-Wert=4,7) sowie die Gyri frontales medius et superior und der Gyrus cinguli (BA 6, 8, 9, 32; MNI: -4, 10, 58; CS=1122; Z-Wert=4,61).

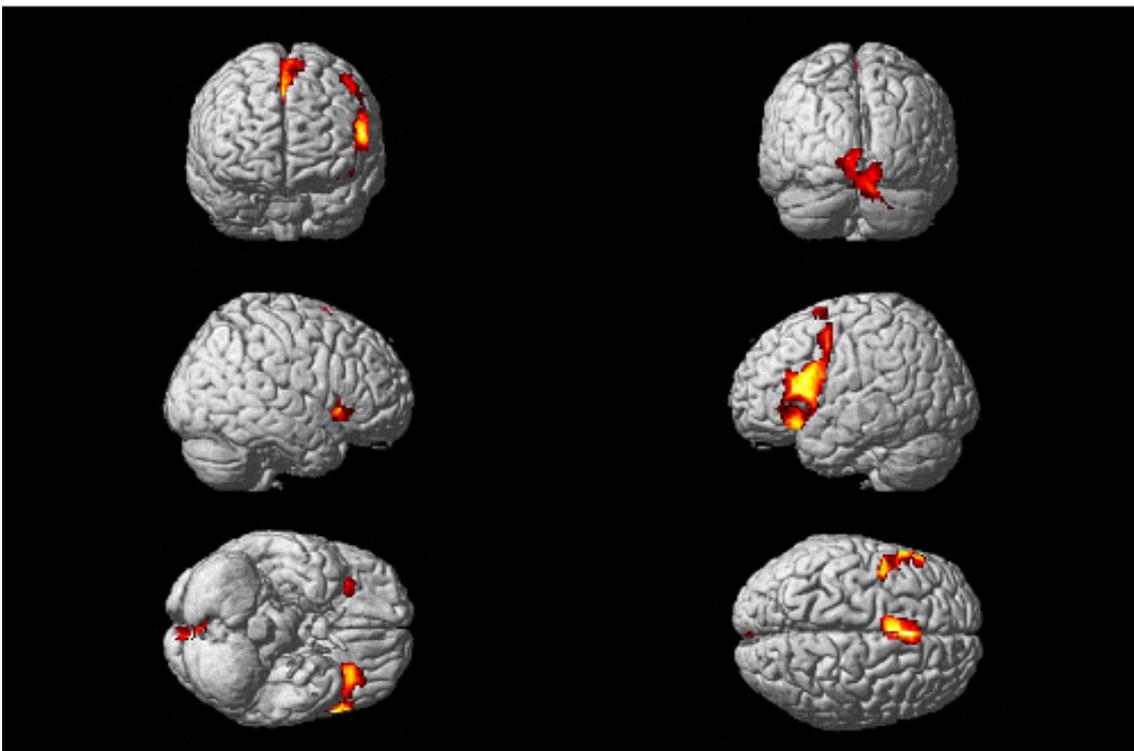
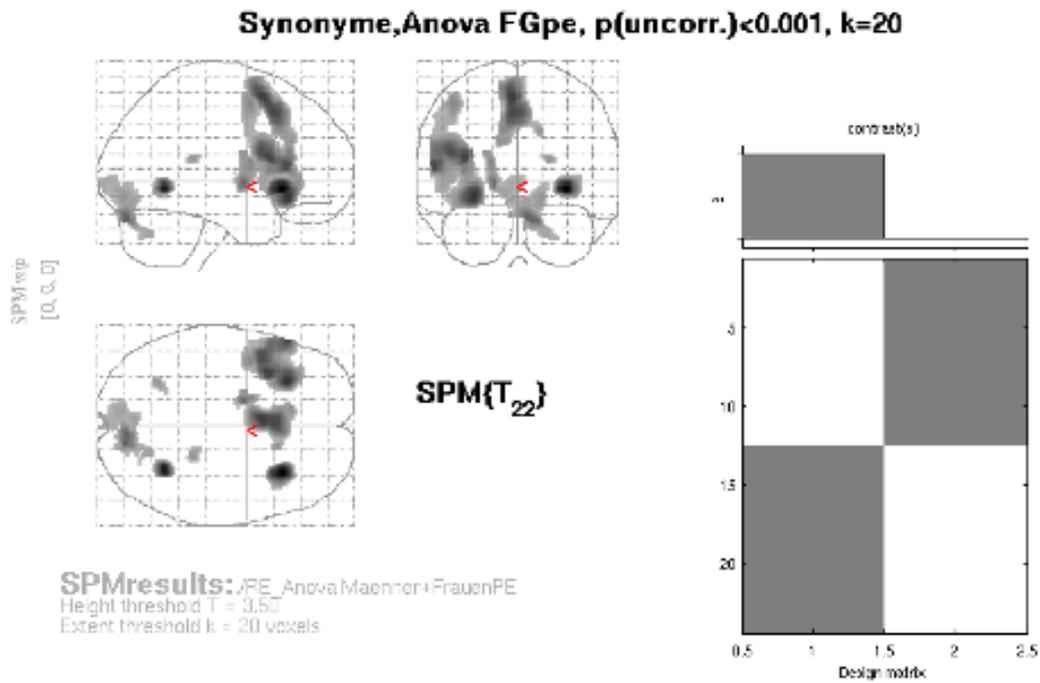
Rechtsfrontal ließen sich Aktivierungen im Gyrus frontalis inferior und in der Insula nachweisen (BA 13, 45, 47; MNI: 32, 24, -4; CS=344; Z-Wert=5,24).

Temporal zeigten sich Aktivierungen im Gyrus lingualis und in der Declive rechts (BA 17, 18; MNI: 12, -82, -26; CS=735; Z-Wert=4,21). Weiterhin zeigten sich Aktivierungen im Gyrus parahippocampalis links (BA 19; MNI: -30, -60, -6; CS=31; Z-Wert=3,62) sowie rechts (BA 19, 30; MNI: 30, -56, -4; CS=131; Z-Wert=4,94).

Die Betrachtung der Basalganglien zeigte Aktivierungen links im Nucleus lentiformis (MNI: -16, -2, 0; CS=181; Z-Wert=4,1) sowie rechts im Nucleus caudatus (MNI: 22, -36, 16; CS=31; Z-Wert=3,61).

Tabelle 7 gibt die Details zu den aktivierten Arealen wieder, und Abbildung 9 zeigt die Aktivierungsmuster der Frauen bei der Synonymaufgabe.

Abbildung 9 Kortikale Aktivierungsmuster der Frauen bei den Synonymen



3.3.2.3 Männer versus Frauen bei der Synonymaufgabe

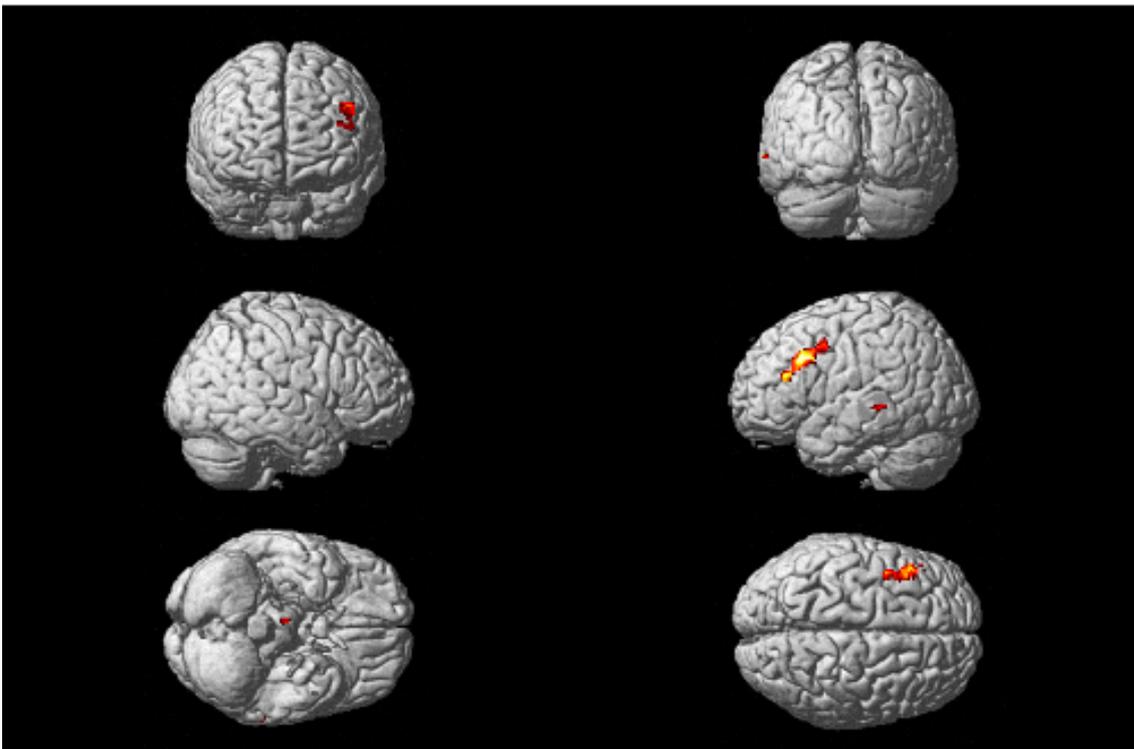
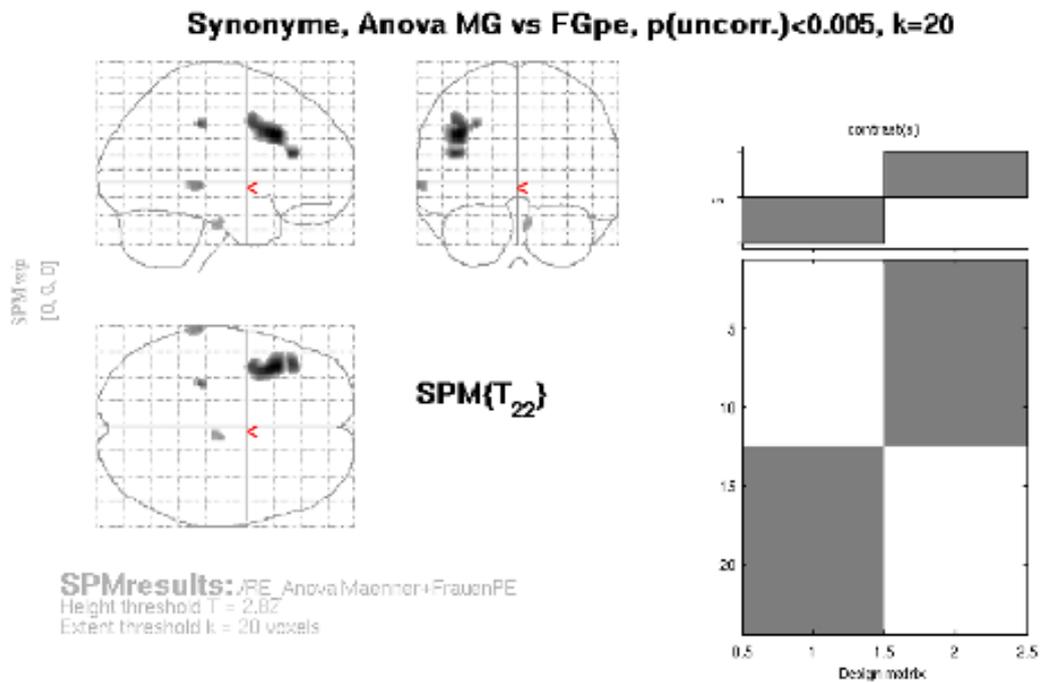
Der Vergleich der Gruppen zeigt hier die Areale der Männer, die bei der Synonymaufgabe aktiviert waren und sich bei den Frauen im Kontrast nicht darstellen ließen.

Dies sind linksfrontale Aktivierungen im Gyrus frontalis medius und im Gyrus praecentralis (BA 6, 8, 9, 46; MNI: -40, 18, 32; CS=471; Z-Wert=3,85), linkstemporal im Gyrus temporalis medius (BA 21; MNI: -66, -32, -2; CS=24; Z-Wert=3,04) sowie in der Pons (MNI: 6, -20, -28; CS=21; Z-Wert=2,83).

Tabelle 8 gibt die Details der aktivierten Areale wieder.

Die Aktivierungsmuster aus der statistischen Subtraktionsanalyse sind Abbildung 10 zu entnehmen.

Abbildung 10 Kortikale Aktivierungsmuster Männer versus Frauen bei den Synonymen



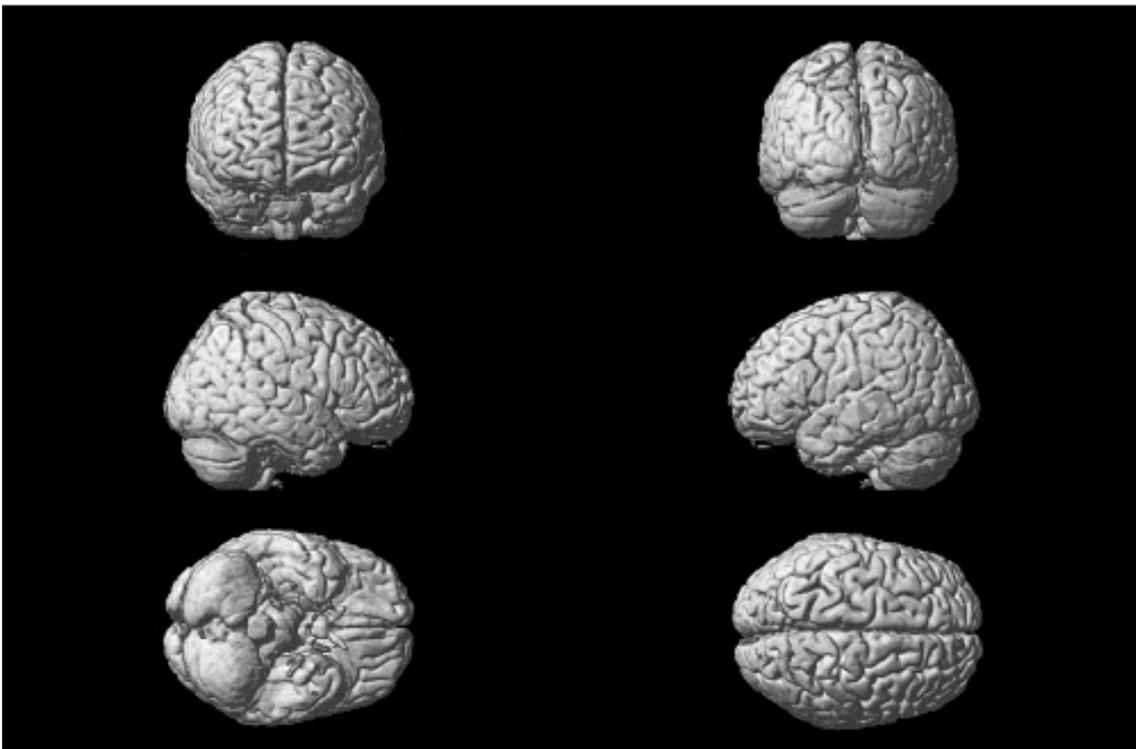
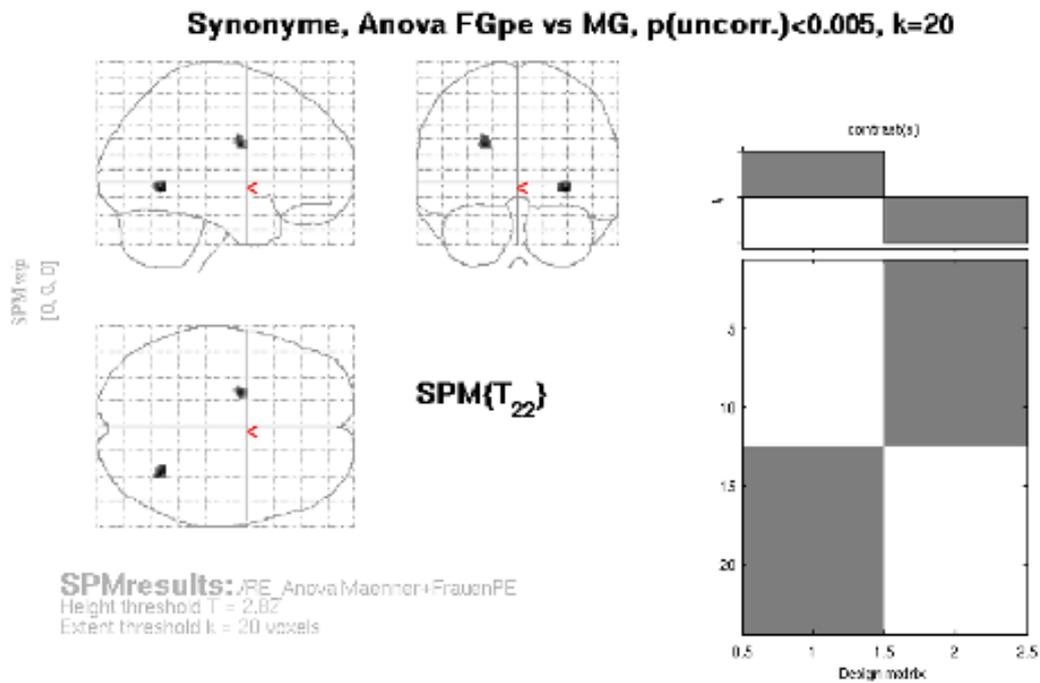
3.3.2.4 Frauen versus Männer bei der Synonymaufgabe

Dieser Gruppenvergleich zeigt die bei den Frauen aktivierten Areale bei der Synonymaufgabe, die sich in den Aktivitätsmustern der Männer im Kontrast nicht nachweisen ließen.

Bei diesem Vergleich ließen sich keine Aktivierungen darstellen, die zusätzlich bei den Frauen auftraten.

Abbildung 11 zeigt die Aktivierungsmuster für diese Berechnung.

Abbildung 11 Kortikale Aktivierungsmuster Frauen versus Männer bei den Synonymen



4 DISKUSSION

4.1 DEMOGRAPHISCHE TESTPSYCHOLOGISCHE DATEN

Die Papier-Bleistift-Version der Mentalen Rotation sowie die Synonymgenerierungsaufgabe sind Verfahren, mit denen neuropsychologisch Geschlechtsunterschiede in der Leistung von Männern und Frauen untersucht wurden. Die Mentale Rotation gilt unter den räumlichen Aufgaben als sensitiv dafür, geschlechtsspezifische Unterschiede in der Ausführung der Aufgabe und der erbrachten Leistung zwischen Männern und Frauen zu unterscheiden. Hierfür wird ein klarer Vorteil für die Männer postuliert (Voyer et al., 1995; Peters, 2005; Parsons et al., 2004; Astur et al., 2004; Kimura, 1996; Kimura, 2002; Rahman et al., 2003).

Unter den verbalen Aufgaben gilt die Synonymgenerierung als die Aufgabe, die die stärksten geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Ausführung und Leistung der beiden Geschlechter zeigt. Betrachtet man die Tatsache, dass sich verbale Fähigkeiten aus mehreren Komponenten zusammensetzen und hier genauer definiert werden müssen, so lässt sich doch eine Tendenz ausmachen, die auf einen Vorteil der Frauen im Bereich verbaler Fähigkeiten schließen lässt. (Rahman et al., 2003; Kimura, 2002).

Für die vorliegende Studie wurde vorausgesetzt, dass Männer und Frauen in der Papier-Bleistift-Version sowohl der Mentalen Rotation als auch der Synonymgenerierung in ihrer Ausführung der Aufgabe und der damit erbrachten Leistung nicht allzu stark voneinander abweichen. Damit sollte gewährleistet sein, dass die im fMRT ermittelten Bilddaten nicht in Abhängigkeit von der erbrachten Leistung der einzelnen Gruppen entstanden sind, sondern auf unterschiedliche Hirnaktivität in beiden Gruppen zurückzuführen sind.

Dies ist auch weitestgehend gelungen in dem Sinne, dass die T-Test-Berechnung sowohl für die Mentale Rotation als auch für die Synonymgenerierung keinen signifikanten Unterschied in den beiden Gruppen nachweisen konnte.

Betrachtet man allerdings die Rohdaten, lässt sich eine Tendenz erkennen, die mit den oben erwähnten Studien einhergehen und einen leichten Vorteil der Männer bei der

Mentalen Rotation und einen leichten Vorteil der Frauen bei der Synonymgenerierung andeuten.

4.2 fMRT-DATEN

4.2.1 Mentale Rotation

Die fMRT-Daten der Männer zeigten starke Aktivierungen in den Gyri occipitales medius et inferior, im Gyrus supramarginalis, Gyrus fusiformis, in den Gyri frontales inferior, medius et superior, in den Lobuli parietales inferior et superior, im Gyrus postcentralis und im Praecuneus links hemisphärisch sowie Aktivierung rechts hemisphärisch in den Gyri occipitales medius et superior, den Gyri frontales inferior et medius, im Gyrus angularis, Gyrus supramarginalis, im Gyrus fusiformis, in den Lobuli parietales inferior et superior und im Praecuneus. Außerdem zeigten sich Aktivierungen in der Pons, dem Zerebellum und in Kerngebieten.

Die Aktivierungen bei den Frauen sind ebenfalls bilateral zu finden, jedoch sind sie insgesamt nicht so stark ausgeprägt wie bei den Männern. Außerdem lässt sich bei den Frauen eine leichte Tendenz zur Linkslateralisierung ausmachen.

Linkshemisphärisch ließen sich Aktivierungen darstellen in den Gyri occipitales inferior et medius, im Gyrus supramarginalis, Gyrus fusiformis, in den Gyri frontales inferior et medius, in den Lobuli parietales inferior et superior und im Praecuneus. Rechtseitig aktiviert waren die Gyri occipitales inferior et medius, der Gyrus fusiformis, Gyrus temporalis inferior, die Gyri frontales inferior et medius, der Gyrus praecentralis, der Lobulus parietalis superior und der Praecuneus. Zusätzlich bei den Frauen zeigten sich Aktivierungen im Thalamus sowie im Zerebellum.

Betrachtet man die Areale, die bei den Frauen zusätzlich aktiviert waren, sich aber nicht so bei den Männern darstellen ließen, zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede in kleinen Anteilen des relevanten kortikalen Netzwerks. Dies sind im Einzelnen

rechtshemisphärisch der Gyrus frontalis medius und linkshemisphärisch die Gyri postcentralis et praecentralis sowie die Tonsilla cerebelli.

Umgekehrt zeigten sich bei den Männern zusätzlich mehr Aktivierungen im parietalen Kortex. Dies sind Aktivierungen in den Gyri fusiformis et lingualis, im Lobulus parietalis inferior sowie in der Declive links.

Die in der vorliegenden Studie nachgewiesenen kortikalen Areale sind Bestandteile des für die Mentale Rotation bekannten neuronalen Netzwerkes und können damit vorangegangene Studien bestätigen. Bedeutende Bestandteile dieses Netzwerkes sind vor allem der parietale Kortex, aber auch frontale sowie motorische und praemotorische Areale.

Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede zeigten für die Frauen zusätzliche frontale Aktivierungen im Bereich des Gyri frontalis medius. Es zeigten sich außerdem in beiden Gruppen bilaterale Aktivierungen.

Das Aktivierungsmuster bei Männern und Frauen bei der Mentalen Rotation ist in mehreren Studien zuvor untersucht worden.

Weiss et al. (2003) konnten Aktivierungen in den für die Mentale Rotation bekannten neuronalen Netzwerken nachweisen. Außerdem konnten Weiss et al. für Männer stärkere Aktivierungen im parietalen Kortex und für die Frauen zusätzliche Aktivierungen rechtshemisphärisch frontal nachweisen. Die Ergebnisse decken sich mit denen der vorliegenden Studie.

Weiss et al. schlussfolgerten daraus, dass Männer primär eine „Gesalt“ Strategie (Objektrotation/Wiedererkennung) zur Lösung der Mentalen Rotation anwenden, was sich in der Aktivierung parietaler Areale widerspiegelt, während Frauen eine eher analytische Strategie anwenden, was sich rechts frontal abspielt.

Jordan et al. (2002) konnten neben dem bekannten kortikalen Netzwerk geschlechtsspezifische Unterschiede nachweisen, die sich mit denen von Weiss et al. sowie mit der vorliegenden Studie decken.

Thomsen et al. zeigten für Männer signifikante Aktivierungen im rechten Lobulus parietalis superior und für die Frauen signifikante Aktivierungen im Gyrus frontalis inferior rechts.

Die Ergebnisse der statistischen Subtraktionsanalyse von Thomsen et al. decken sich teilweise mit denen, die in der vorliegenden Studie erhoben wurden. So konnten in der vorliegenden Studie für die Männer unter anderem Aktivierungsmuster im linken Lobulus parietalis inferior und für die Frauen unter anderem Aktivierungsmuster im Gyrus frontalis medius rechts nachgewiesen werden.

Die Befundlage zu dieser Thematik wird kontrovers diskutiert und zeigt auch durch verschiedene Studien uneinheitliche Ergebnisse. So wie die oben beschriebenen Forschungsgruppen in ihren Studien Geschlechtsunterschiede in den Aktivitätsmustern ihrer Probanden nachweisen konnten, und dies auch in Abhängigkeit vom Geschlecht, gibt es aber auch Studien, die keine Unterschiede ausmachen konnten.

Dietrich et al. (2001) konnten keine geschlechtsspezifischen Unterschiede in den Aktivitätsmustern ihrer beiden Gruppen nachweisen.

Anzumerken ist allerdings die relativ kleine Stichprobe von $n=6$, die für übertragbare Ergebnisse nicht aussagekräftig genug sein mag. Weiterhin wurden in den Berechnungen nur die Aktivierungen miteinbezogen, die einen z-Wert $>3,75$ ($p < 0,0001$) aufwiesen.

Auch Tagaris et al. (1996) konnten in ihrer fMRT-Studie keinen Geschlechtsunterschied festmachen. Sie betrachteten allerdings als „region of interest“ lediglich den Lobulus parietalis superior, der sich in beiden Gruppen aktiviert zeigte.

Unterrainer et al. (2000; 2005) konnten ebenfalls keinen Geschlechtsunterschied in den Aktivitätsmustern ihrer Probanden bei der Lösung einer räumlichen Aufgabe nachweisen. Sie untersuchten ihre Probanden allerdings mit einem SPECT unter Verwendung eines Subtests des Wechsler-Intelligenz-Tests als räumliche Aufgabe, sodass nur eingeschränkt Vergleiche gezogen werden können.

Die in der vorliegenden Studie hauptsächlich aktivierten Hirnareale der Probanden befanden sich unter anderem in parietalen Regionen.

Innerhalb dieser Regionen ist für die Mentale Rotation der Lobulus parietalis superior von besonderem Interesse (Dietrich et al., 2001; Tagaris et al., 1996; Cohen et al., 1996; Jordan et al., 2002; Barnes et al., 2000; Hallari et al., 2006; Vingerhoets et al., 2002; Weiss et al., 2003; Thomsen et al., 2000). Auch in der vorliegenden Studie konnte eine

Aktivierung des Lobulus parietalis superior in beiden Gruppen nachgewiesen werden, sodass eine Beteiligung dieses Gebietes bei der Mentalen Rotation bestätigt wird.

Der Lobulus parietalis superior scheint für die Rotation an sich eine entscheidende Rolle zu spielen. Außerdem ist er beteiligt bei der visuellen Verarbeitung und dem Ausmachen von Objekten im Raum (Halari et al., 2006; Barnes et al., 2000; Jordan et al., 2002; Tagaris et al., 1996; Haxby et al., 1991).

Dieses Areal zeigte ebenfalls eine Aktivierung bei Aufgaben, bei denen räumliche Aufmerksamkeit, Lokalisierung und visuell motorische Koordination eine Rolle spielen (Perenin et al., 1988; Tagaris et al., 1996; Patzwahl et al., 1994; de Jong et al., 1994).

Die Lobuli parietales superior et inferior sind als System bei höheren kognitiven Prozessen involviert wie bei der Identifikation und Kategorisierung von Objekten sowie räumlichem und Objekt bezogenem Gedächtnis. Zusätzlich spielen diese Regionen eine Rolle bei der Objekt bezogenen Aufmerksamkeit und räumlichen Analyse (Jordan et al., 2002; Cabeza et al., 2000).

Weiss et al. (2003) und Thomsen et al. (2000) interpretierten die Aktivierung des Lobulus parietalis superior hinsichtlich der bei der Bearbeitung der Mentalen Rotation verwendeten Strategie als dahingehend, dass sie für die Benutzung der „Gestalt“-Strategie (Objektrotation und Objektwiedererkennung) spricht.

Weiterhin erhält der Lobulus parietalis Informationen von anderen sensorischen Systemen, was impliziert, dass die Codierung von räumlichen Gebieten multimodal abläuft (Thomsen et al., 2000).

Ebenfalls eine Rolle bei der Bearbeitung der Mentalen Rotation spielt der Gyrus frontalis inferior. So konnte eine Aktivierung des Gyrus frontalis inferior bei der Mentalen Rotation in einigen fMRT-Studien nachgewiesen werden (Thomsen et al., 2000; Weiss et al., 2003). Vingerhoets et al. (2001) konnten in ihrer Studie über Mentale Rotation eine Aktivierung im Gyrus frontalis superior nachweisen. Sie verwendeten allerdings die im Vergleich zum fMRT weniger sensitive Bildgebung durch PET.

Der Gyrus frontalis inferior spielt eine Rolle bei der gedanklichen Flexibilität, der Vorbereitung von Handlungsabfolgen sowie bei Problemlösungsstrategien (Weiss et al., 2003). Als Teil des neuronalen Netzwerks, das aktiviert wird zur Bearbeitung der

Mentalen Rotation, wird der Gyrus frontalis inferior verantwortlich gemacht für die Identifikation des Stimulus, während der Lobulus parietalis eher für die eigentliche Rotation, die ausgeführt werden muss, zuständig ist (Thomsen et al., 2000).

Die Subtraktionsanalysen der vorliegenden Studie zeigen für die Männer eine zusätzliche Aktivierung im linken Lobulus parietalis inferior und für die Frauen eine zusätzliche Aktivierung im rechten Gyrus frontalis medius. Diese Ergebnisse unterstützen die Hypothese von Thomsen et al., dass Männer zur Lösung der Mentalen Rotation primär eine „Gestalt“-Strategie anwenden mit Betonung der eigentlichen Rotation an sich, was sich in der Aktivierung parietaler Areale niederschlägt, während die Frauen eine eher analytische, serielle Strategie anwenden, was sich in der zusätzlichen Aktivierung rechts frontaler Areale widerspiegelt (Thomsen et al., 2000; Weiss et al., 2003; Seurinck et al., 2004; Cabeza et al., 2000).

Die Mentale Rotation zeigt nicht nur in Abhängigkeit von der erbrachten Leistung unterschiedliche Aktivitätsmuster, sondern auch hinsichtlich der Art der Aufgabe der Mentalen Rotation. So konnten unterschiedliche Aktivitätsmuster gezeigt werden bei Probanden, die rotierte Hände und rotierte Werkzeuge als Stimuli angeboten bekamen (Seurinck et al., 2004).

Man unterscheidet hier nach der Art der Mentalen Rotation zwischen allozentrisch und egozentrisch. Egozentrisch beschreibt Körperbezogenheit. So geht man davon aus, dass rotierte Hände als Bestandteil des eigenen Körpers (egozentrisch) andere Hirnareale bei der Rotation aktivieren als um weltbezogene Gegenstände (allozentrisch) wie zum Beispiel Werkzeuge (Zacks et al., 1999; Seurinck et al., 2004; Grön et al., 2000; Tomasino und Rumiati, 2004).

Ein weiterer Faktor in Bezug auf die Aktivierungsmuster ist die Lateralisierung beziehungsweise bilaterale Aktivierung des neuronalen Netzwerkes. In der vorliegenden Studie war bei beiden Gruppen die bilaterale Aktivierung des neuronalen Netzwerkes bei der Bewältigung der Mentalen Rotation gemein. Die Aktivierungen waren jedoch bei den Männern stärker ausgeprägt.

Die Tatsache, dass sämtliche Probanden ihrer Studie bilaterale Aktivierungen zeigten, deuteten Weiss et al. als einen generellen Vorteil in der Aufgabenbewältigung, da all ihre Probanden hohe Ergebnislevel in der Ausführung erreichten.

Auch die Stichprobe der vorliegenden Studie zeichnet sich dadurch aus, dass die Probanden unabhängig vom Geschlecht gleich hohe Ergebnislevel in der Ausführung der Aufgabe zeigten.

Thomsen et al. (2000) konnten in ihrer fMRT-Studie bilaterale Aktivierungen im Lobulus parietalis superior mit einer leichten Tendenz zur rechten Hemisphäre nachweisen.

Die Lateralisierung bei der Mentalen Rotation wird kontrovers diskutiert und zeigt in der Befundlage uneinheitliche Ergebnisse.

Gur et al. (2000) konnten für die Mentale Rotation insgesamt eine rechtslateralisierte Aktivierung in ihrem Probandenpool nachweisen, wobei Frauen stärker lateralisierten als Männer. Sie deuteten dieses Ergebnis im Sinne eines Vorteils durch die bilaterale Aktivierung, was der allgemeinen Annahme, dass Männer bei der Mentalen Rotation die Leistung betreffend im Vorteil sind, entspricht. Allerdings wurde in ihrer Studie als räumliche Aufgabe nicht die klassische Mentale Rotation nach Shepard und Metzler (1971) verwendet, sondern der Judgement of Line Orientation Test.

Halari et al. (2006) deuteten die bilaterale Aktivierung der Frauen und die Lateralisierung der Männer in ihrer Studie als ein auf die steigenden Anforderungen der Aufgabe zurückzuführendes Ergebnis. In einem weiteren Teil ihrer Studie untersuchten sie verbale Fähigkeiten und deuteten die dort erworbenen Ergebnisse im Sinne von Gur et al.

Auch Vingerhoets et al. (2002) kamen in ihren Ergebnissen zu bilateralen Aktivierungen bei Männern, allerdings bestand der Probandenpool ausschließlich aus Männern, sodass der Vergleich innerhalb der Studie fehlt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterstützen die Hypothese, dass bilaterale Aktivierungen ein Vorteil bei der Aufgabenbewältigung bedeuten. Sie gehen einher mit der allgemeinen Auffassung, dass Männer bei der Bewältigung der Mentalen Rotation im Vorteil sind, und diese neuropsychologische Annahme lässt sich somit neurobiologisch bestätigen.

Es konnten in der vorliegenden Studie noch weitere aktivierte Areale als Bestandteil des neuronalen Netzwerkes nachgewiesen werden. Diese lagen im Bereich der Gyri temporales, der Gyri occipitales sowie des Gyrus fusiformis. Sie decken sich ebenfalls mit den Ergebnissen anderer Studien und scheinen in einem Zusammenhang mit der Mentalen Rotation zu stehen (Jordan et al., 2002; Gur et al., 2000; Seurinck et al., 2004; Carpenter et al., 1999; Vingerhoets et al., 2002).

Die Gyri temporalis inferior et occipitalis medius sind Bestandteile des Netzwerkes, das zusammen mit den Lobuli parietales bei höheren kognitiven Prozessen wie der Identifikation und Kategorisierung von Objekten, räumlichem Gedächtnis und räumlicher Analyse sowie Objektbezogener Aufmerksamkeit beteiligt ist (Jordan et al., 2002; Carpenter et al., 1999). Weiterhin werden links parietookzipitale Verbindungen aktiviert bei visueller Bewegung (Paradis et al., 2000) und Greifbewegung (Chapman et al., 2002).

Der Gyrus fusiformis als visuelle Area ist beteiligt beim Vorgang der Objektbewegung (Vingerhoets et al., 2002; Carpenter et al., 1999).

Die Subtraktionsanalysen der vorliegenden Studie zeigen für die Männer eine zusätzliche Aktivierung im Bereich des Gyrus fusiformis, was darauf schließen lässt, dass Männer bei der Bewältigung der Mentalen Rotation sich vermehrt der Objektbewegung bedienen als Frauen.

Sowohl für Männer als auch für Frauen konnte eine weitere Aktivierung im Bereich des Praecuneus nachgewiesen werden. Der Praecuneus steht in Zusammenhang mit dem episodischen Gedächtnis für visuelle Stimuli. Er wird aktiviert, wenn die Generierung eines mentalen Bildes auf einer erinnerten Wahrnehmung beruht (Barnes et al., 2000; Grön et al., 2000; Roland et al., 1995).

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass bei beiden Gruppen in der vorliegenden Studie das räumliche Gedächtnis bei der Bearbeitung der Mentalen Rotation eine Rolle gespielt hat. Das mag damit zusammenhängen, dass den Probanden im Vorlauf Beispiele für die Mentale Rotation zur Lösung angeboten wurden, auf die sie während der Lösung im fMRT zurückgreifen konnten. Hier konnte kein Unterschied zwischen Männern und Frauen nachgewiesen werden.

Interessanterweise konnte in der vorliegenden Studie eine Aktivierung in zerebellären Strukturen nachgewiesen werden.

Vingerhoets et al. (2002) konnten in ihrer fMRT-Studie ebenfalls zerebelläre Aktivierungen bei ihren Probanden feststellen. Die Aktivierung von zerebellären Strukturen wird in Zusammenhang mit der Planung und Ausführung von Bewegungen sowie mit der Wahrnehmung von Objekten gesehen (Bonda et al., 1995; Parsons et al., 1995; Grèzes und Decety, 2002). Dies entspricht der Aufgabenstellung und dem Design der vorliegenden Studie und erklärt die Aktivierungen im Zerebellum.

Ein weiterer Geschlechtsunterschied, der in der vorliegenden Studie ausgemacht werden konnte, ist die Aktivierung motorischer Kortexareale in den Aktivitätsmustern der Frauen, die sich durch die statistische Subtraktionsanalyse bestätigten.

Dies lässt sich dadurch erklären, dass sich die Probanden mit einer Aktivierung im motorischen Kortex bei der Bearbeitung der Mentalen Rotation aus der Eigenperspektive bei der Rotation betrachteten, während eine reine Objektrotation durch äußere Hand die motorischen Areale nicht aktiviert. Diese Geschlechtsunterschiede in den Aktivierungen der motorischen Areale impliziert eine unterschiedliche Art und Weise, in der motorische Systeme aktiviert werden, um räumliche Probleme zu lösen (Jordan et al., 2002; Kosslyn et al., 2001).

In der vorliegenden Studie zeigten sich zusätzlich bei den Männern Aktivierungen im Gyrus lingualis. Diese Hirnregion wird in der Regel in Zusammenhang gebracht mit semantischen Vorgängen (Bellgowan et al., 2003; Hinojosa et al., 2000). Dies deutet darauf hin, dass der Geschlechtsunterschied in Bezug auf diese Hirnregion eher grundlegender Natur ist (Seurinck et al., 2004).

Somit könnten für Männer frühe visuelle oder semantische Vorgänge für die Lösung der Mentalen Rotation von Bedeutung sein (Kaufmann et al., 2001).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit der vorliegenden Arbeit die für die Mentale Rotation typischerweise aktivierten Areale bestätigt werden konnten. Deutliche Geschlechtsunterschiede ließen sich zeigen durch den Aktivitätsgrad, der bei den

Männern stärker ausgeprägt war als bei den Frauen, was bedeutet, dass Männer bei der Aufgabenbewältigung im Vorteil sind, durch eine leichte Lateralisierung bei den Frauen und durch die Subtraktionsanalysen, die für die Frauen eine zusätzliche Aktivierung frontal und für die Männer eine zusätzliche Aktivierung parietal nachwies, was zeigt, dass geschlechtsspezifische Unterschiede im neuronalen Netzwerk für die Mentale Rotation bestehen. Dies impliziert, dass Frauen eher eine analytische, serielle Strategie bei der Bearbeitung der Mentalen Rotation verwenden, während Männer primär eine „Gestalt“-Strategie anwenden. Weiterhin konnten für beide Gruppen zusätzliche Bestandteile des neuronalen Netzwerkes nachgewiesen werden wie Areale im Bereich der Gyri temporales, occipitales sowie des Gyri fusiformis, die bei höheren kognitiven Prozessen beteiligt sind, im Bereich des Zerebellums, das ebenfalls bei der Bearbeitung räumlicher Probleme als motorisches System aktiviert wird, sowie des Praecuneus, der als Bestandteil des episodischen Gedächtnisses für visuelle Stimuli an der Bearbeitung der Mentalen Rotation beteiligt ist.

Weitere Studien sollten mit einer größeren Stichprobe die oben aufgeführten Ergebnisse durch eine höhere statistische Potenz untermauern, beziehungsweise weitere Erkenntnisse bezüglich des neuronalen Netzwerkes und der geschlechtsspezifischen Unterschiede liefern.

4.2.2 Synonyme

Die Aktivitätsmuster der Männer bei der Lösung der Synonymgenerierungsaufgabe zeigen aktivierte Hirnareale in beiden Hemisphären und in interhemisphärischen Bereichen.

Linkshemisphärisch stark aktiviert zeigten sich die Insula, die Gyri frontales inferior, medius et superior und das Claustrum. Weiterhin zeigte sich eine Aktivierung im linken Gyrus temporalis medius. Schwache Aktivierungen ließen sich im Praecuneus, Lobulus parietalis superior, Gyrus praecentralis und dem Nucleus lentiformis linkshemisphärisch darstellen.

Als starke Aktivierung in der rechten Hemisphäre zeigten sich die Insel und der Gyrus frontalis inferior. Schwach aktivierte Areale ließen sich rechtshemisphärisch im Gyrus lingualis und dem Culmen nachweisen.

Weitere stark aktivierte Areale zeigten sich im Gyrus lingualis bilateral, in der rechten Declive, im Gyrus cinguli bilateral und in den Gyri frontales superior et inferior bilateral mit Ausweitung der Aktivierung in den interhemisphärischen Bereich.

Schwach aktivierte nichtkorticale Areale waren im Bereich des Mittelhirns, des Poons, des rechten Culmen und der Lingula cerebelli nachweisbar.

Es zeigte sich für die Männer, dass sich die Aktivierungsmuster bilateral darstellten, jedoch zeigte sich eine starke Lateralisierung zur linken Hemisphäre.

Die Aktivierungsmuster der Frauen zeigten wie die der Männer bilaterale Aktivierungen, wobei sie nicht so stark ausgeprägt waren wie die der Männer. Auch bei den Frauen zeigte sich eine Lateralisierung zur linken Hemisphäre.

So zeigten sich linkshemisphärisch die Gyri frontales inferior, medius et superior stark aktiviert. Außerdem waren Aktivierungen im Nucleus lentiformis nachweisbar. Schwach aktiv zeigte sich links der Gyrus parahippocampalis.

Rechtshemisphärisch zeigten sich die Insula, der Gyrus frontalis inferior und der Gyrus parahippocampalis mittelstark aktiviert. Schwache Aktivierungen in der rechten Hemisphäre ließen sich im Nucleus caudatus und im Bereich des lateralen Ventrikels nachweisen.

Der Gyrus lingualis zeigte sich relativ stark aktiviert in beiden Hemisphären mit Ausweitung in interhemisphärische Bereiche. Außerdem konnte nichtkortikal eine Aktivierung in der rechten Declive nachgewiesen werden.

Die statistische Subtraktionsanalyse der fMRT-Daten für die Synonymaufgabe zeigte für die Männer als zusätzlich aktiviertes Areal eine Aktivierung im Gyrus praecentralis und Gyrus frontalis medius links sowie Aktivierungen im Gyrus temporalis medius links und der Pons.

Für die Frauen ergab die Berechnung keine zusätzlichen Aktivierungen, die nicht auch bei den Männern nachgewiesen werden konnten.

Beiden Gruppen gemeinsam waren Aktivierungen im frontalen (Gyri frontales, Gyrus cinguli) sowie im temporalen Kortex (Gyrus lingualis). An subkortikalen Arealen zeigten beide Gruppen Aktivierungen im Bereich der Basalganglien (Nucleus lentiformis).

Es konnten jedoch in der vorliegenden Arbeit auch Geschlechtsunterschiede in den Aktivierungsmustern der Probanden bei der Bearbeitung der Synonymaufgabe nachgewiesen werden. So zeigten sich für die Männer zusätzliche Aktivierungen frontal im Bereich des Gyrus praecentralis sowie temporal im Bereich des Gyrus temporalis medius.

Allgemein geht man davon aus, dass die Generierung von Sprache in frontalen und präfrontalen Arealen lokalisiert ist (FitzGerald et al., 1997; Klein et al., 1995; Lurito et al., 2000; Buckner et al., 1995; Schlösser et al., 1998; Weiss et al., 2003; Rosen et al., 2000). Genauere Betrachtungen in diesen Arealen machen deutlich, dass der Gyrus frontalis inferior eine bedeutende Rolle für die verbalen Fähigkeiten spielt (Binder et al., 1997; Pugh et al., 1996; Paulesu et al., 1997; Phelps et al., 1997; Vikingstad et al., 2000; Shaywitz et al., 1995; Abrahams et al., 2003; Yetkin et al., 1995).

Der Gyrus frontalis inferior ist bei der Bearbeitung von Sprache maßgeblich beteiligt. Anteilig ist er im anterioren Teil assoziiert mit semantischer Bearbeitung (Kapur et al., 1994; Tulving et al., 1994; Phelps et al., 1997). Dem posterioren Teil wird eher die

phonologische Bearbeitung zugesprochen (Weiss et al., 2003; Fiez, 1997; Shaywitz et al., 1995).

Außerdem spielt der Gyrus frontalis inferior eine Rolle bei der Wortfindung und Sprachproduktion (Paulesu et al., 1997; Smith et al., 1996).

Es wird ein Zusammenhang gesehen zwischen dem Gyrus frontalis inferior und dem verbalen Gedächtnis sowie Funktionen im Bereich verbaler Aufmerksamkeit und Sprachbildung, wobei der links anteriore Gyrus frontalis inferior und der posteriore Teil Bestandteile des semantischen ausführenden Systems sind, das sofortigen Zugang zu gespeichertem semantischem Wissen und Antwortauswahl hat (Weiss et al., 2003).

Die stärksten Aktivierungen in der vorliegenden Studie zeigten sich für beide Gruppen in frontalen Arealen, vor allem im Gyrus frontalis. Dies zeigt deutlich, dass Männer und Frauen grundsätzlich dasselbe neuronale Netzwerk bei der Bearbeitung dieser Sprachaufgabe benutzen.

Ein weiteres aktiviertes Areal in den Aktivitätsmustern beider Gruppen in der vorliegenden Studie lag im Bereich des Gyrus cinguli.

Der Gyrus cinguli ist sowohl bei verschiedenen Aufgaben aktiv, zum Beispiel selektiver Aufmerksamkeit, Fehlerwahrnehmung und Antwortselektierung, als auch bei Stress und Aufregung (Weiss et al., 2003; Cabeza et al., 2000). Die Aktivierung des Gyrus cinguli für eine erfolgreiche Durchführung einer verbalen Aufgabe bewirkt, dass nicht wiederholt dieselben Wörter produziert werden; dies impliziert eine Antwortauswahl, eine Beobachtung von Fehlern und ein zielgerichtetes Verhalten (Weiss et al., 2003). Beide Gruppen der vorliegenden Arbeit bedienen sich dieses Instruments, was impliziert, dass sich beide Gruppen bei der Bearbeitung der Sprachaufgabe der Selektierung bedienen. Dadurch wird nahe gelegt, dass eine effektive Aufgabenbearbeitung stattfindet.

Als deutlicher Geschlechtsunterschied konnten in der vorliegenden Studie durch die statistische Subtraktionsanalyse für die Männer als zusätzlich aktivierte Areale der Gyrus temporalis medius sowie der Gyrus praecentralis linkshemisphärisch ausgemacht werden. Diese Aktivierungen ließen sich für die Frauen nicht nachweisen.

Auch Wise et al. (1991) konnten in ihrer PET-Studie Aktivierungen in den Gyri temporales nachweisen. Die Aktivierungen in den Gyri temporales erklärten Wise et al. damit, dass in ihrem Studiendesign die Sprachaufgaben laut dargeboten wurden. Sie schlussfolgerten aus ihren Ergebnissen, dass möglicherweise die neuronalen Netzwerke, die in auditorisch-verbaler Aufmerksamkeit und Kurzzeitgedächtnis eine Rolle spielen, so eng miteinander vermischt sind mit den neuronalen Netzwerken, die bei semantischen Vorgängen aktiviert sind, dass es keine anatomische, sondern lediglich eine funktionelle Trennung dieser Netzwerke gibt.

Übertragen auf die Daten der Subtraktionsanalyse der vorliegenden Studie würde das bedeuten, dass Männer tatsächlich ein anderes neuronales Netzwerk verwenden als Frauen, wobei die Männer sich bei der Bearbeitung der Sprachaufgabe eines zusätzlichen Areals bedienen, das mit dem auditorischen Kortex verknüpft ist. Infolgedessen legen unsere Daten nahe, dass Männer bei der Bearbeitung der Synonymaufgabe zusätzlich Teile des auditorischen Kortex verwenden. Dass in der vorliegenden Arbeit für die Frauen keine Aktivierungen in diesem temporalen Bereich nachgewiesen werden konnten, zeigt, dass zwischen Männern und Frauen ein eindeutiger Geschlechtsunterschied im neuronalen Netzwerk bei der Bewältigung dieser Sprachaufgabe besteht.

Der Gyrus temporalis medius konnte unter anderem in Verbindung gebracht werden mit sprachlichen Vorgängen und wird als multimodal angesehen (Binder et al., 1996). Unsere Daten legen nahe, dass Männer zur Bewältigung der Synonymgenerierungsaufgabe dieses multimodale Gebiet zusätzlich aktivieren, um dieselbe Leistung zu erbringen wie die Frauen, die auf diese Art und Weise nicht zugreifen müssen.

Eine weitere Struktur, die für die Sprache eine Rolle spielt und die auch in der vorliegenden Studie in beiden Gruppen eine Aktivierung zeigte, ist das Zerebellum. Das Zerebellum ist involviert in einer Vielzahl von kognitiven Funktionen wie Gedächtnis, Sprache, Aufmerksamkeit, mentale Vorstellung und Problemlösung (Weiss et al., 2003; Rapoport et al., 2000). So konnte in vielen Studien, die sich mit dem Thema Sprache auseinandersetzten, eine Aktivierung in rechts zerebellären Strukturen

bei rechtshändigen Probanden nachgewiesen werden (Schlösser et al., 1998; Fu et al., 2002; Lurito et al., 2000).

Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass das Zerebellum bei der Kompensierung kognitiver Defizite in Form von auditorischen Ausfällen eine Rolle spielt (Engelien et al., 1995).

Hubrich-Ungureanu et al. (2002) untersuchten das Zerebellum in einer stillen Wortgenerierungsaufgabe in Abhängigkeit der Händigkeit der Probanden.

Die Ergebnisse werden durch die vorliegende Studie bestätigt, in der für beide Gruppen der Händigkeit entsprechend rechtshemisphärische Aktivierungen des Zerebellums dargestellt werden konnten.

Es gibt in der aktuellen Studienlage jedoch auch Beispiele im Bereich verbaler Aufgaben und Darstellung aktivierter Hirnregionen mit Bildgebung, die keine Geschlechtsunterschiede darstellen konnten.

Die Gruppe um Weiss et al. (2003) konnte für beide Gruppen signifikante Aktivierungen im linken und rechten präfrontalen Kortex, im Gyrus cinguli und im rechten Zerebellum nachweisen. Geschlechtsunterschiede konnten sie jedoch nicht feststellen. Sie schlussfolgerten daraus, dass aufgrund der Gleichheit der Gruppen in der erbrachten Leistung keine Unterschiede in der zerebralen Organisation der Sprache bestehen. Den allgemein anerkannten Vorteil der Frauen im Bereich verbaler Fähigkeiten sehen Weiss et al. eher in unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien als in geschlechtsspezifischen hemisphärischen Unterschieden.

Auch die in der vorliegenden Studie untersuchten Gruppen zeigten in der erbrachten Leistung keine signifikanten Unterschiede. Jedoch konnten signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede in den Aktivierungsmustern der Gruppen nachgewiesen werden, sodass wir einen deutlichen Geschlechtsunterschied sehen unabhängig von der erbrachten Leistung.

Auch Schlösser et al. (1998) konnten keine signifikanten Geschlechtsunterschiede feststellen. Sie schlussfolgerten, dass verbale Fähigkeiten als Werkzeug nicht gut geeignet seien, um Leistung, die auf dem Geschlecht basiert, zu unterscheiden. Auch dies deckt sich nicht mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit.

Buckner et al. (1995) konnte in einer PET- Studie keine Geschlechtsunterschiede hinsichtlich der Lokalisation der aktivierten Areale nachweisen, allerdings waren die Aktivierungen der Männer stärker ausgeprägt als die der Frauen. Aufgrund des stark unterschiedlichen Aufgabendesigns sowie der Verwendung eines PET als bildgebendes Verfahren sind Vergleiche nur schwer zu ziehen. Jedoch kann der fehlende Geschlechtsunterschied in der Studie von Buckner et al. nicht durch die vorliegende Arbeit bestätigt werden.

Eine allgemein anerkannte Hypothese, die die Organisation von Sprache im Gehirn betreffend, ist, dass bei Rechtshändern das Sprachzentrum linkshemisphärisch liegt. Es wird angenommen, dass Sprachfunktionen bei Männern eine starke Lateralisierung zeigen, während Sprachfunktionen bei Frauen in beiden Hemisphären repräsentiert sind (Dorion et al., 2000).

Allerdings ist die Befundlage trotz dieser allgemein anerkannten Hypothese uneinheitlich.

Kansaku et al. (2001) arbeiteten in ihrer Studie mit Sprachverarbeitung. Sie konnten für ihre Stichprobe eine Linkslateralisierung für Männer nachweisen, die bei den Frauen nicht nachweisbar war.

Auch Yetkin et al. (1995) konnten bei Wortgenerierungsaufgaben eine Linkslateralisierung in ihrer Studie zeigen.

Vikingstad et al. (2000) konnten mit ihrer fMRT-Studie mit Hilfe einer Bildbenennungsaufgabe eine Linkslateralisierung für Männer zeigen, während die Frauen zur einen Hälfte bilaterale und zur anderen Hälfte linkslateralisierte Aktivierungen zeigten. Weiterhin beschreiben sie eine starke individuelle Schwankung diesbezüglich.

Shaywitz et al. (1995) untersuchten in ihrer Studie Probanden daraufhin, ob sie bei bestimmten Sprachaufgaben eine Lateralisierung in bestimmte Hemisphären zeigen. Die Männer zeigten eine Lateralisierung in die linke Hemisphäre, während die Frauen bilateral aktivierten.

Pugh et al. (1996) bestärkten auf ein Neues die Hypothese der Linkslateralisierung der Sprachfunktionen bei den Männern im Gegensatz zu den Frauen.

Binder et al. (1996) konnten eine Lateralisierung der Sprache in bestimmten Hirnarealen unabhängig vom Geschlecht zeigen, und auch Frost et al. (1999) konnten die Hypothese nicht bestärken, da in ihrer Studie bei einer semantischen Aufgabe sowohl die Männer als auch die Frauen eine Lateralisierung zur linken Hemisphäre zeigten. Da Frost et al. ein relativ großes n von 100 Probanden hatten im Gegensatz zu den relativ kleineren Stichproben der anderen oben genannten Studien, erhält ihr Ergebnis bedeutend mehr statistische Potenz.

Schließlich konnten Sommer et al. (2004) mit ihrer Metaanalyse von insgesamt 14 verschiedenen Studien die oben genannte Hypothese nicht belegen. Sie konnten keinen signifikanten Unterschied in der Lateralisierung von Sprache bei Männern und Frauen feststellen. Allerdings räumten sie ein, dass aufgrund der Vielzahl und der Heterogenität der Aufgaben der in ihrer Metaanalyse eingeschlossenen Studien ein aufgabenabhängiger Geschlechtsunterschied in der Lateralisierung der Sprache nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Ergebnisse in der vorliegenden Studie zeigen bezüglich der Lateralisierung für beide Geschlechter eine Lateralisierung in die linke Hemisphäre, die bei den Männern aufgrund der stärker ausgeprägten Aktivierung insgesamt stärker ausfällt.

Die Probanden der vorliegenden Studie waren alle Rechtshänder und wiesen keine signifikanten Unterschiede in der Leistung der verbalen Fähigkeiten auf, was mit den Vor- und Nachtests untersucht wurde. Ein geschlechtsspezifischer Unterschied hinsichtlich der Lateralisierung konnte nicht bestätigt werden. Unsere Daten zeigen, dass rechtshändige Männer und rechtshändige Frauen die linke Hemisphäre bei der Bearbeitung verbaler Aufgaben benutzen.

Die Daten der vorliegenden Arbeit über die Aktivierungsmuster bei der Synonymaufgabe zeigen für die Männer generell ein stärkeres Aktivierungsmuster als für die Frauen. Da bei den Männern und Frauen in der Synonymaufgabe jedoch kein Unterschied in der erbrachten Leistung besteht, deutet das stärkere Aktivierungsmuster

der Männer darauf hin, dass sie das entsprechende Sprachnetzwerk stärker aktivieren mussten als die Frauen, um die gleiche Leistung zu erbringen.

So konnten Gur et al. (2000) zwar für ihre Sprachaufgabe zwischen Männern und Frauen bezüglich der Aktivierungsstärke keinen Unterschied feststellen. Sie konnten jedoch durch eine erschwerte Form der Sprachaufgabe stärkere Aktivierungsmuster in dem erwarteten neuronalen Netzwerk nachweisen. Weiss et al. (2003) konnten keinen geschlechtsspezifischen Unterschied in der Aktivierungsstärke bei Männern und Frauen bei verbalen Aufgaben nachweisen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die vorliegende Studie unter anderem die für verbale Funktionen typischerweise aktivierten Areale frontal, temporal sowie im Bereich des Zerebellums und Gyrus cinguli nachgewiesen werden konnten und somit die Befundlage bestätigen.

Ein Geschlechtsunterschied ließ sich in der Ausprägung der aktivierten Areale ausmachen, wobei die Männer generell stärkere Aktivierungen zeigten als die Frauen, was nahe legt, dass Männer zur Erlangung der gleichen Leistung wie die Frauen stärker aktivieren mussten. Ein weiterer Unterschied zeigte sich in der statistischen Subtraktionsanalyse, die zusätzliche Aktivierungen im Bereich des Gyrus temporalis medius, des Gyrus praecentralis und des Gyri frontalis medius links für die Männer nachwies, was darauf hinweist, dass Männer ein breiteres neuronales Netzwerk aktivieren (Halari et al., 2005). In diesem neuronalen Netzwerk verwendeten die Männer einen Teil des auditorischen Kortex zur Bewältigung der Synonymaufgabe sowie ein multimodales Gebiet (Gyrus temporalis medius). Diese Gebiete konnten für die Frauen nicht nachgewiesen werden.

Ein signifikanter Unterschied in der Lateralisierung zur linken Hemisphäre spezifisch für die Männer konnte nicht bestätigt werden.

4.3. LIMITATIONEN

In der vorliegenden Studie liegt eine Limitation darin, dass eine Vielfalt von verbalen Aufgaben und eine Heterogenität in dieser Aufgabengruppe bestehen. Eine Geschlechtsspezifität der Sprachaufgabe ist nicht gesichert. Daher wird es nur bedingt möglich sein, aus der vorliegenden Studie Schlussfolgerungen über geschlechtsspezifische Unterschiede bei der Bewältigung von verbalen Aufgaben zu ziehen und diese mit anderen Studien zu vergleichen.

Eine weitere Limitation besteht darin, dass ein Teil der Verhaltensdaten außerhalb des MRT gemessen wurden. Dadurch wurde verhindert, dass es durch Bewegungen der Probanden zu Artefakten in den MRT-Bildern kommt. Deswegen konnten die kognitiven Leistungen während der Erhebung der Verhaltensdaten nicht mittels fMRT gemessen werden.

Die in der vorliegenden Studie beobachteten Effekte sind nicht nur zu sehen im Rahmen eines unterschiedlichen neuronalen Netzwerkes bei Frauen und Männern. Es besteht außerdem die Möglichkeit, dass es sich bei den beobachteten Effekten um direkte vaskuläre Einflüsse der Geschlechtshormone handelt.

Weiterhin ist das in der vorliegenden Studie verwendete n zwar vergleichsweise groß, wenn man die Aufwendigkeit des Studiendesigns betrachtet und die vorliegende Studie mit anderen fMRT-Studien vergleicht. Eine größere Stichprobe würde allerdings eine größere statistische Potenz erreichen und somit eher Rückschlüsse auf die Gesamtbevölkerung zulassen.

5 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Studie konnte mit Hilfe eines 3 Tesla fMRT anhand von jeweils zwölf Männern und Frauen gezeigt werden, dass Männer und Frauen bei der Bearbeitung einer verbalen (Synonymaufgabe) und einer non-verbalen Aufgabe (Mentale Rotation) unterschiedliche neuronale Netzwerke verwenden.

Für die Synonymgenerierungsaufgabe konnte gezeigt werden, dass Männer und Frauen die typischen Bestandteile des neuronalen Netzwerkes für verbale Aufgaben benutzen (frontaler und temporaler Kortex, Zerebellum, Gyrus cinguli). Weiterhin ließen sich deutliche Geschlechtsunterschiede in den aktivierten Arealen nachweisen. So aktivierten die Männer zusätzlich temporale Areale (Gyrus temporalis medius), was nahe legt, dass sich die Männer bei der Bearbeitung der Synonymaufgabe im Gegensatz zu den Frauen des auditorischen Kortex bedienen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass Männer bei der Synonymaufgabe insgesamt stärker aktivierten, was darauf hindeutet, dass zur Erlangung der entsprechenden Leistung stärkere Aktivierungen nötig waren.

Für die Mentale Rotation konnte ebenfalls das typische neuronale Netzwerk nachgewiesen werden (Lobuli parietales und Gyrus frontalis inferior). Auch hier konnten deutliche geschlechtsspezifische Unterschiede nachgewiesen werden. So konnte für die Frauen eine zusätzliche Aktivierung frontal und für die Männer eine zusätzliche Aktivierung parietal nachgewiesen werden, was zeigt, dass geschlechtsspezifische Unterschiede im neuronalen Netzwerk für die Mentale Rotation bestehen. Frauen verwenden eher eine analytische, serielle Strategie bei der Bearbeitung der Mentalen Rotation, während Männer primär eine „Gestalt“ Strategie anwenden. Weiterhin konnten für beide Gruppen für die Mentale Rotation zusätzliche Bestandteile des neuronalen Netzwerkes nachgewiesen werden wie Areale im Bereich der Gyri temporales, occipitales sowie des Gyri fusiformis, die bei höheren kognitiven Prozessen beteiligt sind, im Bereich des Zerebellums sowie des Praecuneus.

fMRT ist eine geeignete Methode, um das Gehirn zu kartographieren und geschlechtsspezifische Unterschiede in den aktivierten Hirnarealen bei bestimmten kognitiven Funktionen mit Hilfe des BOLD-Effekts darzustellen.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- Abrahams, S., Goldstein, L. H., Simmons, A., Brammer, M. J., Williams, S. C., Giampietro, V. P., Andrew, C. M., and Leigh, P. N. Functional magnetic resonance imaging of verbal fluency and confrontation naming using compressed image acquisition to permit overt responses. *Hum. Brain Mapp.* 20[1], 29-40. 2003.
- Astur, R. S., Tropp, J., Sava, S., Constable, R. T., and Markus, E. J. Sex differences and correlations in a virtual Morris water task, a virtual radial arm maze, and mental rotation. *Behav. Brain Res.* 151[1-2], 103-115. 5-5-2004.
- Barnes, J., Howard, R. J., Senior, C., Brammer, M., Bullmore, E. T., Simmons, A., Woodruff, P., and David, A. S. Cortical activity during rotational and linear transformations. *Neuropsychologia* 38[8], 1148-1156. 2000.
- Bellgowan, P. S., Saad, Z. S., and Bandettini, P. A. Understanding neural system dynamics through task modulation and measurement of functional MRI amplitude, latency, and width. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 100[3], 1415-1419. 4-2-2003.
- Binder, J. R., Frost, J. A., Hammeke, T. A., Rao, S. M., and Cox, R. W. Function of the left planum temporale in auditory and linguistic processing. *Brain* 119 (Pt 4), 1239-1247. 1996.
- Binder, J. R., Frost, J. A., Hammeke, T. A., Cox, R. W., Rao, S. M., and Prieto, T. Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging. *J. Neurosci.* 17[1], 353-362. 1-1-1997.
- Bonda, E., Petrides, M., Frey, S., and Evans, A. Neural correlates of mental transformations of the body-in-space. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 92[24], 11180-11184. 21-11-1995.
- Borkenau, P. and Ostendorf, F. NEO-Fünf-Faktoren-Inventar (NEO-FFI). Hogrefe. 1993.

- Buckner, R. L., Raichle, M. E., and Petersen, S. E. Dissociation of human prefrontal cortical areas across different speech production tasks and gender groups. *J.Neurophysiol.* 74[5], 2163-2173. 1995.
- Cabeza, R. and Nyberg, L. Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *J.Cogn Neurosci.* 12[1], 1-47. 2000.
- Carpenter, P. A., Just, M. A., Keller, T. A., Eddy, W., and Thulborn, K. Graded functional activation in the visuospatial system with the amount of task demand. *J.Cogn Neurosci.* 11[1], 9-24. 1999.
- Chapman, H., Gavrilescu, M., Wang, H., Keenan, M., Egan, G., and Castiello, U. Posterior parietal cortex control of reach-to-grasp movements in humans. *Eur.J.Neurosci.* 15[12], 2037-2042. 2002.
- Cohen, M. S., Kosslyn, S. M., Breiter, H. C., DiGirolamo, G. J., Thompson, W. L., Anderson, A. K., Brookheimer, S. Y., Rosen, B. R., and Belliveau, J. W. Changes in cortical activity during mental rotation. A mapping study using functional MRI. *Brain* 119 (Pt 1), 89-100. 1996.
- de Jong, B. M., Shipp, S., Skidmore, B., Frackowiak, R. S., and Zeki, S. The cerebral activity related to the visual perception of forward motion in depth. *Brain* 117 (Pt 5), 1039-1054. 1994.
- Dietrich, T., Krings, T., Neulen, J., Willmes, K., Erberich, S., Thron, A., and Sturm, W. Effects of blood estrogen level on cortical activation patterns during cognitive activation as measured by functional MRI. *Neuroimage.* 13[3], 425-432. 2001.
- Dorion, A. A., Chantome, M., Hasboun, D., Zouaoui, A., Marsault, C., Capron, C., and Duyme, M. Hemispheric asymmetry and corpus callosum morphology: a magnetic resonance imaging study. *Neurosci.Res.* 36[1], 9-13. 2000.
- Engelien, A., Silbersweig, D., Stern, E., Huber, W., Doring, W., Frith, C., and Frackowiak, R. S. The functional anatomy of recovery from auditory agnosia. A PET study of sound categorization in a neurological patient and normal controls. *Brain* 118 (Pt 6), 1395-1409. 1995.

- Fiez, J. A. Phonology, semantics, and the role of the left inferior prefrontal cortex. *Hum. Brain Mapp.* 5[2], 79-83. 1997.
- FitzGerald, D. B., Cosgrove, G. R., Ronner, S., Jiang, H., Buchbinder, B. R., Belliveau, J. W., Rosen, B. R., and Benson, R. R. Location of language in the cortex: a comparison between functional MR imaging and electrocortical stimulation. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 18[8], 1529-1539. 1997.
- Franke, G. H. Brief Symptom Inventory von L.R. Derogatis (BSI). Beltz Test. 2000.
- Frost, J. A., Binder, J. R., Springer, J. A., Hammeke, T. A., Bellgowan, P. S., Rao, S. M., and Cox, R. W. Language processing is strongly left lateralized in both sexes. Evidence from functional MRI. *Brain* 122 (Pt 2), 199-208. 1999.
- Fu, C. H., Morgan, K., Suckling, J., Williams, S. C., Andrew, C., Vythelingum, G. N., and McGuire, P. K. A functional magnetic resonance imaging study of overt letter verbal fluency using a clustered acquisition sequence: greater anterior cingulate activation with increased task demand. *Neuroimage.* 17[2], 871-879. 2002.
- Grezes, J. and Decety, J. Does visual perception of object afford action? Evidence from a neuroimaging study. *Neuropsychologia* 40[2], 212-222. 2002.
- Gron, G., Wunderlich, A. P., Spitzer, M., Tomczak, R., and Riepe, M. W. Brain activation during human navigation: gender-different neural networks as substrate of performance. *Nat. Neurosci.* 3[4], 404-408. 2000.
- Gur, R. C., Alsop, D., Glahn, D., Petty, R., Swanson, C. L., Maldjian, J. A., Turetsky, B. I., Detre, J. A., Gee, J., and Gur, R. E. An fMRI study of sex differences in regional activation to a verbal and a spatial task. *Brain Lang* 74[2], 157-170. 2000.
- Halari, R., Hines, M., Kumari, V., Mehrotra, R., Wheeler, M., Ng, V., and Sharma, T. Sex differences and individual differences in cognitive performance and their relationship to endogenous gonadal hormones and gonadotropins. *Behav. Neurosci.* 119[1], 104-117. 2005.

- Halari, R., Sharma, T., Hines, M., Andrews, C., Simmons, A., and Kumari, V. Comparable fMRI activity with differential behavioural performance on mental rotation and overt verbal fluency tasks in healthy men and women. *Exp. Brain Res.* 169[1], 1-14. 2006.
- Hausmann, M. and Gunturkun, O. Steroid fluctuations modify functional cerebral asymmetries: the hypothesis of progesterone-mediated interhemispheric decoupling. *Neuropsychologia* 38[10], 1362-1374. 2000.
- Haxby, J. V., Grady, C. L., Ungerleider, L. G., and Horwitz, B. Mapping the functional neuroanatomy of the intact human brain with brain work imaging. *Neuropsychologia* 29[6], 539-555. 1991.
- Hinojosa, J. A., Martin-Loeches, M., Gomez-jarabo, G., and Rubia, F. J. Common basal extrastriate areas for the semantic processing of words and pictures. *Clin. Neurophysiol.* 111[3], 552-560. 2000.
- Hubrich-Ungureanu, P., Kammmerer, N., Henn, F. A., and Braus, D. F. Lateralized organization of the cerebellum in a silent verbal fluency task: a functional magnetic resonance imaging study in healthy volunteers. *Neurosci. Lett.* 319[2], 91-94. 15-2-2002.
- Hyde, J. S. and Linn, M. C. Gender Differences in Verbal Abilities: A Meta-Analysis. *Psychol. Bull.* 104, 53-69. 1988.
- Jordan, K., Wustenberg, T., Heinze, H. J., Peters, M., and Jancke, L. Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. *Neuropsychologia* 40[13], 2397-2408. 2002.
- Kansaku, K. and Kitazawa, S. Imaging studies on sex differences in the lateralization of language. *Neurosci. Res.* 41[4], 333-337. 2001.
- Kapur, S., Rose, R., Liddle, P. F., Zipursky, R. B., Brown, G. M., Stuss, D., Houle, S., and Tulving, E. The role of the left prefrontal cortex in verbal processing: semantic processing or retrieval? *Neuroreport* 5[16], 2193-2196. 27-10-1994.

- Kaufmann, C., Elbel, G. K., Gossel, C., Putz, B., and Auer, D. P. Frequency dependence and gender effects in visual cortical regions involved in temporal frequency dependent pattern processing. *Hum. Brain Mapp.* 14[1], 28-38. 2001.
- Kimura, D. Sex, sexual orientation and sex hormones influence human cognitive function. *Curr. Opin. Neurobiol.* 6[2], 259-263. 1996.
- Kimura, D. Sex hormones influence human cognitive pattern. *Neuro. Endocrinol. Lett.* 23 Suppl 4, 67-77. 2002.
- Klein, D., Milner, B., Zatorre, R. J., Meyer, E., and Evans, A. C. The neural substrates underlying word generation: a bilingual functional-imaging study. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 92[7], 2899-2903. 28-3-1995.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Wraga, M., and Alpert, N. M. Imagining rotation by endogenous versus exogenous forces: distinct neural mechanisms. *Neuroreport* 12[11], 2519-2525. 8-8-2001.
- Lehrl, S., Triebig, G., and Fischer, B. Multiple choice vocabulary test MWT as a valid and short test to estimate premorbid intelligence. *Acta Neurol. Scand.* 91[5], 335-345. 1995.
- Lurito, J. T., Kareken, D. A., Lowe, M. J., Chen, S. H., and Mathews, V. P. Comparison of rhyming and word generation with fMRI. *Hum. Brain Mapp.* 10[3], 99-106. 2000.
- Meinschaefter, J., Hausmann, M., and Gunturkun, O. Laterality effects in the processing of syllable structure. *Brain Lang* 70[2], 287-293. 1999.
- Müller, W. *Der Duden, Bd. 8 Synonymwörterbuch der deutschen Sprache.* Duden Verlag, Mannheim. 1997.
- Oldfield, R. C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9[1], 97-113. 1971.

- Paradis, A. L., Cornilleau-Peres, V., Droulez, J., Van De Moortele, P. F., Lobel, E., Berthoz, A., Le Bihan, D., and Poline, J. B. Visual perception of motion and 3-D structure from motion: an fMRI study. *Cereb.Cortex* 10[8], 772-783. 2000.
- Parsons, L. M., Fox, P. T., Downs, J. H., Glass, T., Hirsch, T. B., Martin, C. C., Jerabek, P. A., and Lancaster, J. L. Use of implicit motor imagery for visual shape discrimination as revealed by PET. *Nature* 375[6526], 54-58. 4-5-1995.
- Parsons, T. D., Larson, P., Kratz, K., Thiebaut, M., Bluestein, B., Buckwalter, J. G., and Rizzo, A. A. Sex differences in mental rotation and spatial rotation in a virtual environment. *Neuropsychologia* 42[4], 555-562. 2004.
- Patzwahl, D. R., Zanker, J. M., and Altenmüller, E. O. Cortical potentials reflecting motion processing in humans. *Vis.Neurosci.* 11[6], 1135-1147. 1994.
- Paulesu, E., Goldacre, B., Scifo, P., Cappa, S. F., Gilardi, M. C., Castiglioni, I., Perani, D., and Fazio, F. Functional heterogeneity of left inferior frontal cortex as revealed by fMRI. *Neuroreport* 8[8], 2011-2017. 27-5-1997.
- Perenin, M. T. and Vighetto, A. Optic ataxia: a specific disruption in visuomotor mechanisms. I. Different aspects of the deficit in reaching for objects. *Brain* 111 (Pt 3), 643-674. 1988.
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., and Richardson, C. A redrawn Vandenberg and Kuse mental rotations test: different versions and factors that affect performance. *Brain Cogn* 28[1], 39-58. 1995.
- Peters, M. Sex differences and the factor of time in solving Vandenberg and Kuse mental rotation problems. *Brain Cogn* 57[2], 176-184. 2005.
- Phelps, E. A., Hyder, F., Blamire, A. M., and Shulman, R. G. fMRI of the prefrontal cortex during overt verbal fluency. *Neuroreport* 8[2], 561-565. 20-1-1997.
- Pugh, K. R., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., Bronen, R. A., Shankweiler, D. P., Katz, L., Fletcher, J. M.,

- and Gore, J. C. Cerebral organization of component processes in reading. *Brain* 119 (Pt 4), 1221-1238. 1996.
- Rahman, Q., Abrahams, S., and Wilson, G. D. Sexual-orientation-related differences in verbal fluency. *Neuropsychology*. 17[2], 240-246. 2003.
- Rahman, Q. and Wilson, G. D. Large sexual-orientation-related differences in performance on mental rotation and judgment of line orientation tasks. *Neuropsychology*. 17[1], 25-31. 2003.
- Rapoport, M., van Reekum, R., and Mayberg, H. The role of the cerebellum in cognition and behavior: a selective review. *J.Neuropsychiatry Clin.Neurosci.* 12[2], 193-198. 2000.
- Rode, C., Wagner, M., and Gunturkun, O. Menstrual cycle affects functional cerebral asymmetries. *Neuropsychologia* 33[7], 855-865. 1995.
- Roland, P. E. and Gulyas, B. Visual memory, visual imagery, and visual recognition of large field patterns by the human brain: functional anatomy by positron emission tomography. *Cereb.Cortex* 5[1], 79-93. 1995.
- Rosen, H. J., Ojemann, J. G., Ollinger, J. M., and Petersen, S. E. Comparison of brain activation during word retrieval done silently and aloud using fMRI. *Brain Cogn* 42[2], 201-217. 2000.
- Schlosser, R., Hutchinson, M., Joseffer, S., Rusinek, H., Saarimaki, A., Stevenson, J., Dewey, S. L., and Brodie, J. D. Functional magnetic resonance imaging of human brain activity in a verbal fluency task. *J.Neurol.Neurosurg.Psychiatry* 64[4], 492-498. 1998.
- Seurinck, R., Vingerhoets, G., de Lange, F. P., and Achten, E. Does egocentric mental rotation elicit sex differences? *Neuroimage*. 23[4], 1440-1449. 2004.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., Bronen, R. A., Fletcher, J. M., Shankweiler, D. P., Katz, L.,

- and . Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature* 373[6515], 607-609. 16-2-1995.
- Smith, C. D., Andersen, A. H., Chen, Q., Blonder, L. X., Kirsch, J. E., and Avison, M. J. Cortical activation in confrontation naming. *Neuroreport* 7[3], 781-785. 29-2-1996.
- Sommer, I. E., Aleman, A., Bouma, A., and Kahn, R. S. Do women really have more bilateral language representation than men? A meta-analysis of functional imaging studies. *Brain* 127[Pt 8], 1845-1852. 2004.
- Tagaris, G. A., Kim, S. G., Strupp, J. P., Andersen, P., Ugurbil, K., and Georgopoulos, A. P. Quantitative relations between parietal activation and performance in mental rotation. *Neuroreport* 7[3], 773-776. 29-2-1996.
- Thomsen, T., Hugdahl, K., Ersland, L., Barndton, R., Lundervold, A., Smievoll, A. I., Roscher, B. E., and Sundberg, H. Functional magnetic resonance imaging (fMRI) study of sex differences in a mental rotation task. *Med Sci Monit* 6[6], 1186-1196. 2000.
- Tomasino, B. and Rumiani, R. I. Effects of strategies on mental rotation and hemispheric lateralization: neuropsychological evidence. *J.Cogn Neurosci.* 16[5], 878-888. 2004.
- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F. I., Moscovitch, M., and Houle, S. Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: positron emission tomography findings. *Proc.Natl.Acad.Sci U.S.A* 91[6], 2016-2020. 15-3-1994.
- Unterrainer, J., Wraneck, U., Staffen, W., Gruber, T., and Ladurner, G. Lateralized cognitive visuospatial processing: is it primarily gender-related or due to quality of performance? A HMPAO-SPECT study. *Neuropsychobiology* 41[2], 95-101. 2000.
- Unterrainer, J. M., Ruff, C. C., Rahm, B., Kaller, C. P., Spreer, J., Schwarzwald, R., and Halsband, U. The influence of sex differences and individual task performance on brain activation during planning. *Neuroimage.* 24[2], 586-590. 15-1-2005.

- Vikingstad, E. M., George, K. P., Johnson, A. F., and Cao, Y. Cortical language lateralization in right handed normal subjects using functional magnetic resonance imaging. *J.Neurol.Sci* 175[1], 17-27. 1-4-2000.
- Vingerhoets, G., Santens, P., Van Laere, K., Lahorte, P., Dierckx, R. A., and De Reuck, J. Regional brain activity during different paradigms of mental rotation in healthy volunteers: a positron emission tomography study. *Neuroimage*. 13[2], 381-391. 2001.
- Vingerhoets, G., de Lange, F. P., Vandemaele, P., Deblaere, K., and Achten, E. Motor imagery in mental rotation: an fMRI study. *Neuroimage*. 17[3], 1623-1633. 2002.
- Voyer, D., Voyer, S., and Bryden, M. P. Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychol.Bull.* 117[2], 250-270. 1995.
- Wahrig, G. *Deutsches Wörterbuch*. Bertelsmann Lexika Verlag, Gütersloh. 2002.
- Weiss, E., Siedentopf, C. M., Hofer, A., Deisenhammer, E. A., Hoptman, M. J., Kremser, C., Golaszewski, S., Felber, S., Fleischhacker, W. W., and Delazer, M. Sex differences in brain activation pattern during a visuospatial cognitive task: a functional magnetic resonance imaging study in healthy volunteers. *Neurosci.Lett.* 344[3], 169-172. 3-7-2003.
- Weiss, E. M., Siedentopf, C., Hofer, A., Deisenhammer, E. A., Hoptman, M. J., Kremser, C., Golaszewski, S., Felber, S., Fleischhacker, W. W., and Delazer, M. Brain activation pattern during a verbal fluency test in healthy male and female volunteers: a functional magnetic resonance imaging study. *Neurosci.Lett.* 352[3], 191-194. 11-12-2003.
- Weiß, R. H. *Grundintelligenztest Skala 2 (CFT 20) mit Wortschatztest (W S) und Zahlenfolgentest (ZF)*. Hogrefe. 1998.

- Wise, R., Chollet, F., Hadar, U., Friston, K., Hoffner, E., and Frackowiak, R. Distribution of cortical neural networks involved in word comprehension and word retrieval. *Brain* 114 (Pt 4), 1803-1817. 1991.
- Wittchen, H.-U., Zaudig, M., and Fydrich, T. *Strukturiertes Klinisches Interview für DSM-IV (SKID)*. Hogrefe. 1997.
- Yetkin, F. Z., Hammel, T. A., Swanson, S. J., Morris, G. L., Mueller, W. M., McAuliffe, T. L., and Haughton, V. M. A comparison of functional MR activation patterns during silent and audible language tasks. *AJNR Am.J.Neuroradiol.* 16[5], 1087-1092. 1995.
- Zacks, J., Rymer, B., Gabrieli, J. D., Tversky, B., and Glover, G. H. Imagined transformations of bodies: an fMRI investigation. *Neuropsychologia* 37[9], 1029-1040. 1999.

7 DANKSAGUNG

Zunächst möchte ich mich ganz besonders bei Herrn Prof. Dr. med. Volker Arolt für die Vergabe des Themas bedanken mit der Möglichkeit, eine Doktorarbeit in seinem Institut zu verfassen, bei der ich sowohl klinisch als auch experimentell unter Berücksichtigung meiner Interessen selbständig arbeiten konnte.

Weiterhin bedanke ich mich bei Frau Dr. med. Almut Engelen für die Betreuung und die Unterstützung bei der Durchführung meiner Doktorarbeit.

Ebenfalls großer Dank gebührt der IZKF-Gruppe, deren Mitglieder mich sehr herzlich und positiv aufgenommen haben und ein überaus nettes und qualifiziertes Team gebildet haben.

Ich danke also Sonja Schöning, Sebastian Schäfer und Carsten Konrad, die weder Zeit noch Mühen gescheut haben und immer beratend zur Seite standen.

Eva Pletzig, in einer „Doktorsehwester“, gilt ebenfalls großer Dank für ihren Teamgeist, Einsatz und gute Motivationsfähigkeit trotz des einen oder anderen Rückschlages.

Meinen Eltern möchte ich an dieser Stelle danken, weil ich es viel zu selten getan habe, weil sie mich immer in allem unterstützt haben und nie auch nur den geringsten Zweifel daran hatten, dass ich es schaffen werde. Vielen Dank.

9 ANHANG

Diagramm 1

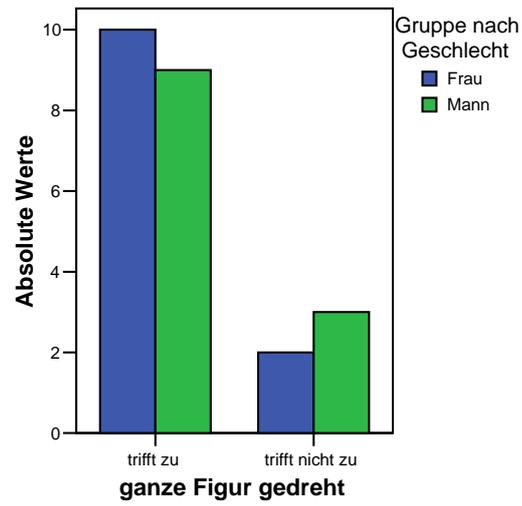


Diagramm 2

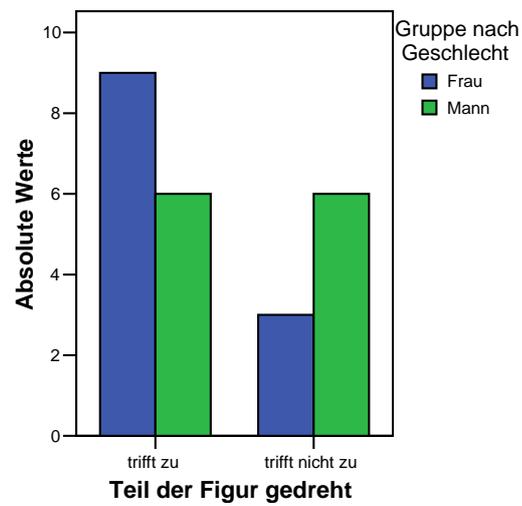


Diagramm 3

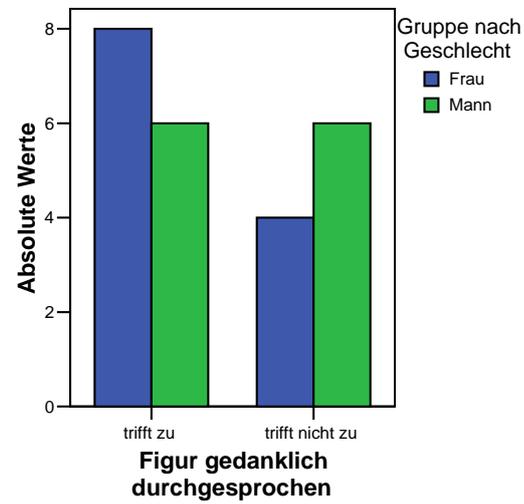


Diagramm 4

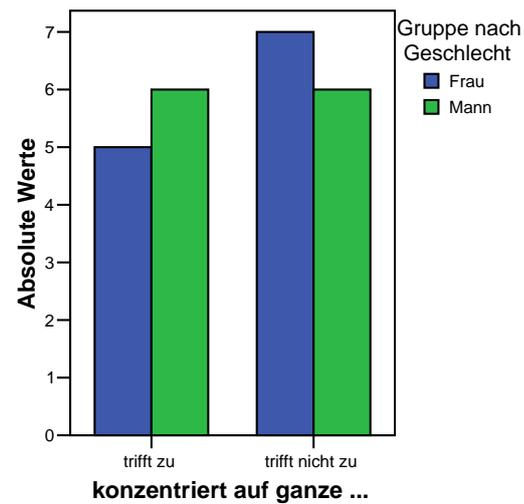


Diagramm 4 zeigt an, wie viele Probanden sich auf die ganze Figur konzentriert haben.

Diagramm 5

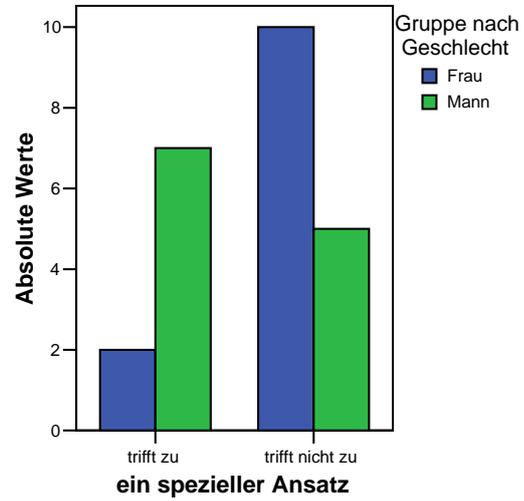


Diagramm 6

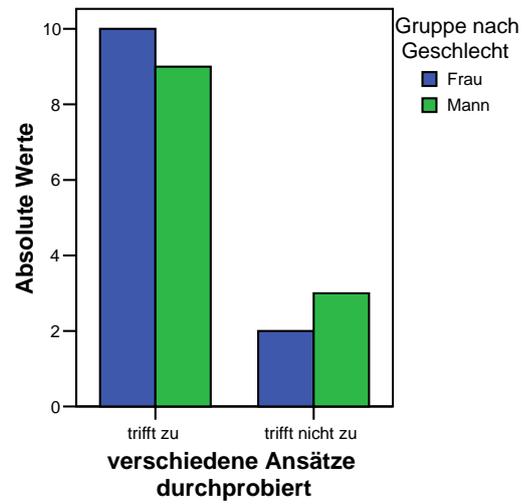


Diagramm 7

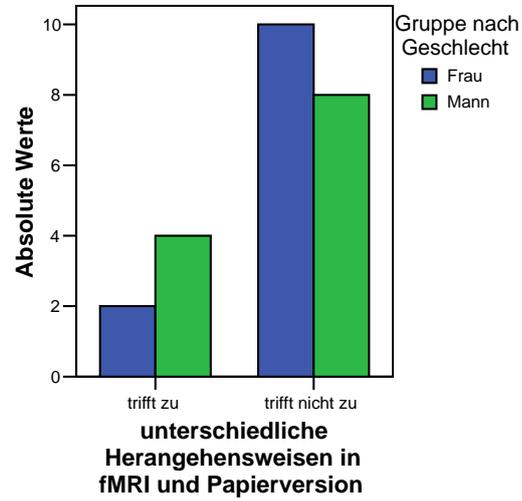


Diagramm 8

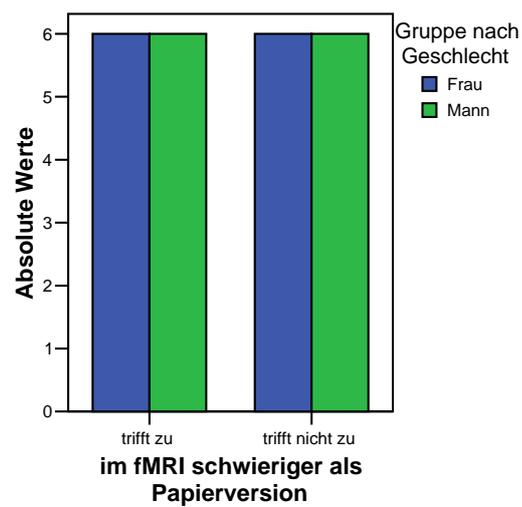


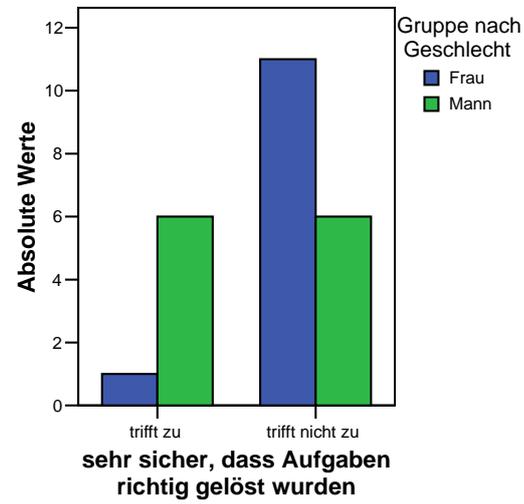
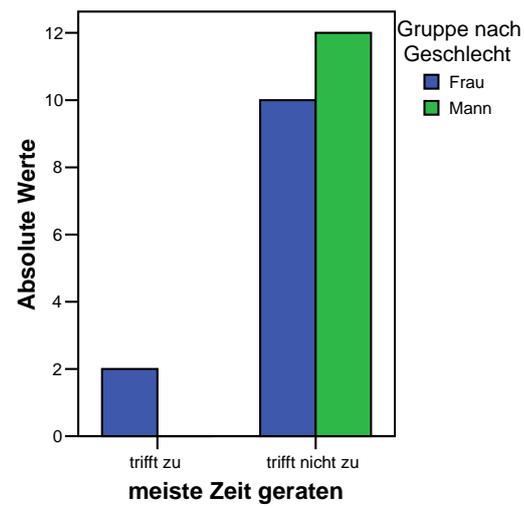
Diagramm 9**Diagramm 10**

Tabelle 2: MR, Männer, Anova, p(uncorr.)<0,001, k=20		Brodman area		MNI Coordinates			Cluster size	Z score
Region				X	Y	Z		
Parietookzipital								
Lobulus parietalis inferior (l), Praecuneus (l), Lobulus parietalis superior (l), Gyrus postcentralis (l), Gyrus supramarginalis (l), Gyrus occipitalis medius (l)	1-5, 7, 19, 39, 40	-40	-52	56			4685	5,51
		-46	-42	54				5,35
		-38	-50	48				5,17
Gyrus fusiformis (l), Gyrus occipitalis medius (l), Gyrus occipitalis inferior (l) Declive (l)	18, 19, 20, 37	-38	-60	-20			1776	5,05
		-44	-78	-16				4,93
		-34	-92	6				4,78
Lobulus parietalis inferior (r), Praecuneus (r), Lobulus parietalis superior (r), Gyrus supramarginalis (r), Gyrus occipitalis medius (r), Gyrus occipitalis superior (r), Gyrus angularis (r)	1, 2, 3, 5, 7, 18, 19, 39, 40	32	-66	60			4082	5,13
		24	-72	58				4,79
		40	-56	58				4,6
Gyrus fusiformis (r), Culmen (r)	19, 20, 37	28	-66	-34			715	4,35
		40	-52	-16				4,32
		52	-52	-18				4,07
Frontal								
Gyrus frontalis inferior (l), Gyrus frontalis medius (l)	6, 8, 9, 13, 44-47	-48	10	24			2310	4,71
		-30	24	8				4,68
		-54	12	40				4,49
Gyrus frontalis medius (l), Gyrus frontalis superior (l)	6, 8, 24, 32	-22	-6	60			2193	5,33
		0	14	50				4,79
		-10	6	60				3,78
Gyrus frontalis medius (l)	10, 46	-34	58	14			91	3,7
		-38	48	10				3,49
Gyrus frontalis inferior (r), Gyrus frontalis medius (r)	8-10, 44-46	40	34	20			1295	4,57
		50	8	22				4,14
		56	16	34				3,98
Gyrus frontalis medius (r)	6	30	-4	64			726	5,11
Gyrus frontalis inferior (r), Insula (r)	13, 45, 47	36	24	-6			420	4,42
Pons (l, r, c)		0	-34	-26			22	3,75
Kerngebiete								
Nucleus dorsalis medialis (l), Nucleus dorsalis lateralis (l), Pulvinar (l)		-12	-20	12			28	3,32
		-16	-28	10				3,2

Tabelle 3: MR, Frauen, Anova, p (uncorr.)<0,001, k=20						
Region	Brodmann area	MNI Coordinates			Cluster size	Z score
		X	Y	Z		
Parietookzipital						
Lobulus parietalis inferior (l), Praecuneus (l), Lobulus parietalis superior (l), Gyrus supramarginalis (l), Gyrus occipitalis inferior (l), Gyrus occipitalis medius (l)	2, 7, 18, 19, 37, 40	-42 -28 -38	-84 -74 -52	-10 22 38	2533	4,45 4,37 4,13
Lobulus parietalis superior (r), Praecuneus (r)	7, 19, 39	28 8 34	-60 -78 -64	34 54 56	738	4,48 3,8 3,66
Gyrus fusiformis (l), Declive (l)	37	-36 -40	-58 -50	-22 -22	29	3,62 3,21
Gyrus occipitalis inferior (r), Gyrus occipitalis medius (r)	18, 19	26 44 32	-86 -80 -78	-2 -10 -4	272	3,95 3,58 3,2
Frontal						
Gyrus frontalis inferior (l), Gyrus frontalis medius (l)	6, 9, 44, 45	-50 -46	10 20	26 18	640	4,63 3,36
Gyrus frontalis inferior (l)	11, 13, 45, 47	-24 -30	28 24	-14 4	246	4,55 3,6
Gyrus frontalis medius (l, r), Gyrus frontalis superior (c)	6, 8, 9, 24, 32	0 -32 -20	18 2 -12	50 56 64	1191	4,26 4,2 3,92
Gyrus frontalis inferior (r), Gyrus praecentralis (r)	44, 45	58	12	16	223	4,09
Gyrus frontalis inferior (r)	47	36	22	-6	116	3,67
Gyrus frontalis medius (r)	6	30	-4	62	101	3,71
Gyrus frontalis inferior (r), Gyrus frontalis medius (r), Gyrus praecentralis (r)	6, 9	44	2	34	95	3,8
Temporal						
Gyrus fusiformis (r), Gyrus temporalis inferior (r)	20, 37	46	-56	-22	138	3,9
Zerebellum						
Uvula vermis (c, r), Pyramis vermis (l, c, r), Tuber vermis (c, r), Tonsilla cerebelli (r)		28 -8 26	-62 -76 -64	-42 -36 -34	612	4,61 4,43 4,43
Basalganglien						
Nucleus lentiformis (l)		-16	-8	0	103	4,55
Nucleus lentiformis (r)		16	-8	-2	86	3,86
Thalamus (r)		14	-30	10	38	4,21

Tabelle 4: MR, Männer vs. Frauen, Anova, p (uncorr.)<0,005, k=20		Brodman area			MNI Coordinates			Cluster size	Z score
Region			X	Y	Z				
Gyrus fusiformis (l), Gyrus lingualis (l), Declive (l)		19	-28	-66	-12		56	3,38	
Lobulus parietalis inferior (l)		2, 40	-48	-42	56		103	2,97	
			-42	-34	40				
			-42	-50	58				

Tabelle 5: MR, Frauen vs. Männer, Anova, p (uncorr.)<0,005, k=20		Brodman area			MNI Coordinates			Cluster size	Z score
Region			X	Y	Z				
Gyrus frontalis medius (r)		8	40	20	50		40	3,04	
Gyrus praecentralis (l), Gyrus postcentralis (l)		3, 4	-46	-16	58		24	2,99	
Gyrus praecentralis (l), Gyrus postcentralis (l)		4	-30	-30	70		35	2,86	
Tonsilla cerebelli (l)			-8	-52	-42		25	3,37	

Tabelle 6: Synonyme, Männer, Anova, p (uncorr.)<0,001, k=20		Brodman area		MNI Coordinates			Cluster size	Z score
Region				X	Y	Z		
Frontal								
Gyrus frontalis inferior (l), Gyrus frontalis medius (l), Insula (l), Claustrum (l)	6, 8, 9, 11, 13, 22, 38, 44-47	-42	30	20	5920	5,7		
		-42	4	42		5,7		
		-36	24	-8		5,6		
Gyrus frontalis medius (l), Gyrus frontalis superior (l)	10	-30	50	18	117	4,06		
Gyrus frontalis superior (l, c, r), Gyrus frontalis inferior (l, c, r), Gyrus cinguli (l, r)	6, 8, 9, 24, 32	-2	12	52	2229	5,7		
		-4	4	64		5,27		
		-4	28	28		3,56		
Gyrus frontalis inferior (r), Insula (r)	13, 22, 38, 44, 45, 47	32	22	-6	1134	5,79		
		42	16	2		4,57		
Gyrus frontalis medius (r), Gyrus praecentralis (r)	6	56	2	42	34	3,51		
Temporal								
Gyrus lingualis (l, r), Declive (r)	17-19	12	-82	-26	1052	4,73		
		30	-70	-32		3,93		
		20	-68	-30		3,92		
Gyrus temporalis medius (l)	21, 22	-58	-36	-6	272	4,06		
Gyrus lingualis (r), Culmen (r)	18, 19	12	-66	-6	32	3,29		
Parietookzipital								
Lobulus parietalis superior (l), Praecuneus (l)	7, 19, 39	-32	-64	42	34	3,37		
Zerebellum								
Culmen (r), Lingula cerebelli (l, c, r)		0	-46	-20	61	3,95		
Pons, Mittelhirn								
		-8	-20	-24	30	3,47		
		-10	-16	-16		3,25		
Basalganglien								
Nucleus lentiformis (l)		-16	0	-2	118	4,03		
		-18	0	8		3,67		

Tabelle 7: Synonyme, Frauen, Anova, p (uncorr.)<0,001, k=20		Brodman area	MNI Coordinates			Cluster size	Z score
Region			X	Y	Z		
Frontal							
Gyrus frontalis inferior (l)	6, 8, 9, 11, 13, 22, 44-47	-30 -34 -56	28 14 26	-10 18 10	2580	4,7 4,57 4,49	
Gyrus frontalis superior (l, c), Gyrus frontalis medius (l), Gyrus cinguli (l)	6, 8, 9, 32	-4 -2 -12	10 18 30	58 48 28	1122	4,61 4,5 3,63	
Gyrus frontalis inferior (r), Insula (r)	13, 45, 47	32	24	-4	344	5,24	
Temporal							
Gyrus lingualis (l, c, r), Declive (r)	17, 18	12 16 8	-82 -84 -76	-26 -10 -30	735	4,21 3,56 3,51	
Gyrus parahippocampalis (l)	19	-30	-60	-6	31	3,62	
Gyrus parahippocampalis (r)	19, 30	30	-56	-4	131	4,94	
Basalganglien							
Nucleus lentiformis (l)		-16 -18	-2 2	0 14	181	4,1 3,8	
Nucleus caudatus (r)		22	-36	16	31	3,61	

Tabelle 8: Synonyme, Männer vs. Frauen, Anova, p (uncorr.)<0,005, k=20		Brodman area	MNI Coordinates			Cluster size	Z score
Region			X	Y	Z		
Frontal							
Gyrus frontalis medius (l), Gyrus praecentralis (l)	6, 8, 9, 46	-40 -42 -40	18 30 4	32 20 40	471	3,85 3,47 3,39	
Temporal							
Gyrus temporalis medius (l)	21	-66	-32	-2	24	3,04	
Pons							
		6	-20	-28	21	2,83	

Fragebogen zur Erfassung von Strategien bei mentaler Rotation

Liebe Probandin, lieber Proband,

nach einigen Durchgängen „mentaler Rotation“ sind Sie wahrscheinlich nach einer oder auch mehreren Strategien vorgegangen. Vielleicht haben Sie auch gar keine Strategie verfolgt. Wir möchten gerne mehr über Ihr Vorgehen erfahren und bitten Sie deshalb diesen Fragebogen auszufüllen. Diese Fragen beziehen sich sowohl auf die Aufgaben, die Sie gerade durchgeführt haben als auch auf die Aufgaben während der MR-Untersuchung.

A)

1. Beim Vergleich der Figuren rotierte ich gedanklich die ganze Figur.

trifft zu trifft nicht zu

2. Beim Vergleich rotierte ich gedanklich einen Teil der Figur.

trifft zu trifft nicht zu

3. Ich bin mir nicht sicher, wie ich genau vorging.

trifft zu trifft nicht zu

Ich tat folgendes:

B)

4. Ich sprach die Figur gedanklich durch (z.B. „zwei Blöcke nach rechts, drei Blöcke nach unten, usw.“)

trifft zu trifft nicht zu

5. Ich konzentrierte mich hauptsächlich auf das ganze Bild der Figur und sprach die Figur gedanklich nicht durch.

trifft zu trifft nicht zu

6. Ich bin mir nicht sicher.

trifft zu trifft nicht zu

C)

7. Ich entwickelte einen speziellen Ansatz, um die Aufgaben zu lösen.

trifft zu trifft nicht zu

8. Ich probierte verschiedene Ansätze aus, um die Aufgaben zu lösen.

trifft zu trifft nicht zu

9. Ich hatte keinen speziellen Ansatz.

trifft zu trifft nicht zu

D)

10. Ich hatte während der MR-Untersuchung eine andere Vorgehensweise bei der Lösung der Aufgaben als bei der Papier-Bleistift-Version.

trifft zu trifft nicht zu

11. Ich empfand die Aufgabe im Messgerät schwieriger als die Papier-Bleistift-Version.

trifft zu trifft nicht zu

12. Ich empfand die Aufgabe im Messgerät gleich schwer oder leichter als die Papier-Bleistift-Version.

trifft zu trifft nicht zu

13. Bei der Papier-Version nahm ich im Gegensatz zur Aufgabe im Messgerät meine Finger, die Hand und / oder einen Stift zur Hilfe, um die Aufgaben zu lösen.

trifft zu trifft nicht zu

14. Die Papier-Bleistift-Version war leichter, weil ich mich an die Aufgabe schon vorher gewöhnt hatte.

trifft zu trifft nicht zu

15. Die Papier-Bleistift-Version war schwieriger, weil ich immer an das Zeitlimit denken musste.

trifft zu trifft nicht zu

Andere Gründe, warum die beiden Aufgaben unterschiedlich schwer waren:

16. Ich kann gar nicht genau sagen, ob eine der Versionen durchgehend schwerer oder leichter war.

trifft zu trifft nicht zu

E)

17. Ich war mir sehr sicher, dass meine Antwort richtig war als ich die nächste Aufgabe bearbeitet habe.

trifft zu trifft nicht zu

18. Ich habe die meiste Zeit geraten.

trifft zu trifft nicht zu

Vielen Dank!!!

Fragebogen – Gewohnheiten

1. Welche Hobbys haben Sie?

2. Wie viel lesen Sie?

- nie
- selten (maximal 1x pro Woche)
- regelmäßig (2-6 x pro Woche)
- sehr viel (jeden Tag für längere Zeit, z.B. eine Stunde)

3. Für wie gesprächig würden Sie sich beschreiben?

- sehr gesprächig
- durchschnittlich
- eher still

4. Hatten Sie ein Lieblingsspielzeug?

- nein
- ja

Falls ja, welches:

5. Wie viele Geschwister haben Sie?

- keine
- 1
- 2
- 3 oder mehr

6. Leben Sie in einer festen Partnerschaft?

- ja
- nein

7. Viele Menschen fühlen sich – wenn auch in unterschiedlichen Ausmaßen - von beiden Geschlechtern sexuell angezogen. Wir bitten Sie dies mit einem Kreuz auf folgender Skala für Sie anzuzeigen. Wenn Sie sich zu eher zu Frauen sexuell angezogen fühlen, setzen Sie das Kreuz weiter nach links, wenn Sie sich zu Männer hingezogen fühlen

weiter nach rechts. Wenn sowohl Männer als auch Frauen eine sexuelle Anziehung auf Sie ausüben, setzen sie das Kreuz weiter in die Mitte.

Ich fühle mich sexuell hingezogen zu

Frauen



Männern

8. Welchen Schulabschluss haben Sie gemacht?

- Abitur
- Realschulabschluss
- Hauptschulabschluss
- Volksschule
- Keinen

9. Welche Fächer haben Sie in der Schule bevorzugt?

- naturwissenschaftliche Fächer
- sprachliche Fächer
- keine dieser Fächer

10. Welchen Beruf üben Sie aus?

11. Welchen Beruf haben Ihre Eltern?

12. Welchen Schulabschluss haben Ihre Eltern?

- Abitur
- Realschulabschluss
- Hauptschulabschluss
- Volksschule
- Keinen

Protokollbogen Synonyme

ID:

Wort (1. exp)	
stark	
glücklich	
dunkel	
kalt	
schlau	
dünn	
leise	
ärgerlich	
zweifelhaft	
richtig	
Wort (1. syn)	
sauber	
fassungslos	
brav	
altmodisch	
wichtig	
eigensinnig	
nützlich	

ID:

Wort (2. exp)	
klar	
hübsch	
scharf	
lustig	
dick	
warm	
ängstlich	
dumm	
langweilig	
einfach	
Wort (2. syn)	
furchtbar	
defekt	
mutig	
durcheinander	
sicher	
eingebildet	
glatt	