

**Zwei Wege zur Paritätsentscheidung: Eine fMRT-Studie zur Notations-/
Modalitätsspezifität in der Zahlenverarbeitung**

Von der Medizinischen Fakultät
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Medizin genehmigte
Dissertation

vorgelegt von

Hans Hartmut Becher

aus Leverkusen

Berichter: Herr Universitätsprofessor
Dr.rer.nat. Klaus Willmes-von Hinckeldey

Herr Universitätsprofessor
Dr.phil. Dipl.-Psych. Siegfried Gauggel

Tag der mündlichen Prüfung: 2. Mai 2007

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
2. Theoretischer Hintergrund.....	7
2.1. Modelle der mentalen Zahlenverarbeitung.....	7
2.1.1. Das Triple-Code Modell von Dehaene (1992)	8
2.1.2. "Die 3 parietalen Kreise" von Dehaene 2003	10
2.2. Interne Größenrepresentation	11
2.2.1. Automatizität	11
2.2.2. Räumliche Ausrichtung: Der SNARC-Effekt	12
2.2.3. Paritätsrepresentation und linguistische Markiertheit	15
2.3. Funktionelle Anatomie der Zahlenverarbeitung.....	18
2.3.1. Funktionen des Parietallappens	18
2.3.2. Der inferiore occipito-temporale Übergang	26
2.3.3. Perisylvische Areale und auditive Wortverarbeitung.....	27
3. Fragestellung/Hypothesen	30
3.1. Notations-/Modalitätsspezifität	30
3.2. Aufgabenspezifität.....	32
3.2.1. Größenvergleichsaufgabe	32
3.2.2. Paritätsaufgabe	33
3.3. Antwort-assozierte / räumliche Effekte.....	33
4. Material und Methoden	35
4.1. Probanden	35
4.2. Design/ Stimuli/ Versuchsablauf.....	35
4.3. Versuchsdurchführung	42
4.4. Datenanalyse.....	43
4.5. Statistische Auswertung	45
5. Ergebnisse.....	47
5.1. Fragebögen	47
5.2. fMRT Ergebnisse.....	51
5.2.1. Einflüsse von Notation, Modalität und Aufgabenstellung	51
5.2.2. Aufgabenspezifische Effekte.....	69
5.2.3. Antwort-assozierte / räumliche Effekte.....	73
6. Diskussion	78

6.1. Einflüsse von Notation, Modalität und Aufgabenstellung	78
6.1.1. Notations- und modalitätsspezifische Effekte in der Größenvergleichsaufgabe.....	78
6.1.2. Notations- und modalitätsspezifische Effekte in der Paritätsaufgabe	82
6.1.3. Aufgabenübergreifende Diskussion	85
6.2. Einflüsse der Aufgabenstellung innerhalb einer Notation und Modalität.....	87
6.2.1. Größenvergleichsaufgabe	87
6.2.2. Paritätsaufgabe	88
6.2.3. Aufgabenübergreifende Diskussion	89
6.3. Antworttasten-assoziierte / räumliche Effekte	91
6.4. Evaluierung der aktuellen Zahlenverarbeitungsmodelle	93
7. Zusammenfassung	95
7.1. Zusammenfassung	95
7.2. Summary.....	97
8. Literaturangaben.....	99
9. Anhang	108
9.1. Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung:	108
9.2. Fragebogen	112
9.3. Vektordaten für die SPM2-Auswertung.....	114
9.4. SPM-Ergebnisdrucke	118
10. Dank	171
11. Lebenslauf	172

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Versuchsablauf 1. Durchgang.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabelle 2: Versuchsablauf 2. Durchgang.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 3: Fragebogensauswertung.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabelle 4: Talairach-Koordinaten, t-Werte der Clustermaxima & Nebenmaxima der funktionellen Aktivierungen: Vergleich der zwei Durchgänge (mit und ohne Antworttasten)</i>	<i>54</i>
<i>Tabelle 5: Talairach-Koordinaten, t-Werte der Clustermaxima & Nebenmaxima der funktionellen Aktivierungen: Notationsspezifische Kontraste.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabelle 6: Talairach-Koordinaten, t-Werte der Clustermaxima & Nebenmaxima der funktionellen Aktivierungen: Modalitätsspezifische Kontraste in der Größenvergleichsaufgabe.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabelle 7: Talairach-Koordinaten, t-Werte der Clustermaxima & Nebenmaxima der funktionellen Aktivierungen: Modalitätsspezifische Kontraste in der Paritätsaufgabe... </i>	<i>66</i>
<i>Tabelle 8: Talairach-Koordinaten, t-Werte der Clustermaxima & Nebenmaxima der funktionellen Aktivierungen: Aufgabenspezifische Kontraste</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle 9: Talairach-Koordinaten, t-Werte der Clustermaxima & Nebenmaxima der funktionellen Aktivierungen: Antwort-assoziierte Kontraste</i>	<i>77</i>

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Vergleich beider Durchgänge</i>	52
<i>Abbildung 2: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Notationsspezifische Effekte in der Größenvergleichsaufgabe)</i>	59
<i>Abbildung 3: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Modalitätsspezifische Effekte in der Größenvergleichsaufgabe</i>	59
<i>Abbildung 4: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Modalitätsspezifische Effekte in der Größenvergleichsaufgabe (bei erniedrigtem Schwellenwert)</i>	59
<i>Abbildung 5: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Notationsspezifische Effekte in der Paritätsaufgabe</i>	61
<i>Abbildung 6: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Modalitätsspezifische Effekte in der Paritätsaufgabe</i>	64
<i>Abbildung 7: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Aufgabenspezifische Effekte der verschiedenen Notationen und Modalitäten</i>	72
<i>Abbildung 8: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Hypothetisch SNARC-assoziierte Effekte</i>	74
<i>Abbildung 9: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Hypothetisch MARC-assoziierte Effekte</i>	75

1. Einleitung

Die wissenschaftliche Untersuchung und Forschung über Zahlen und deren Verarbeitung ist ein eigenständiges Gebiet der kognitiven Neurowissenschaften. Wie in anderen Bereichen der kognitiven Psychologie auch, die sich hauptsächlich auf Reaktionszeitexperimente und neuropsychologische Untersuchungen an Patienten stützen, wurde diese Forschungstradition in den letzten 15 Jahren durch bildgebende Verfahren, welche aus dem medizinischen Fachbereich der Neuroradiologie stammen, ergänzt. Diese können mit zunehmend präziserer räumlicher und/oder zeitlicher Auflösung die Aktivität von Neuronenverbänden aufzeigen. Als nicht-invasives Verfahren stellt die funktionelle Magnet-Resonanztomographie (fMRT) hierbei eine besondere und in den letzten Jahren immer häufiger verwendete Methode zur Untersuchung kognitiver Verarbeitungsprozesse dar. Im Vergleich mit der Positronen-Emissions-Tomographie (PET), einem weiteren bildgebenden Verfahren, welches jedoch die Applikation eines radioaktiven Kontrastmittels verlangt, zeigen sich bei der fMRT-Untersuchung niedrigere Signalintensitäten aber eine deutlich höhere räumliche und zeitliche Auflösung. Trotz vieler Studien, die in den letzten Jahren in der wissenschaftlichen Literatur zum Thema der kognitiven Zahlenverarbeitung erschienen sind, werden viele Modelle und Hypothesen in diesem Bereich weiterhin kontrovers diskutiert. Insbesondere ist die Rolle der Paritätsinformation einer Zahl, also die Entscheidung, ob eine Zahl gerade oder ungerade ist, hierbei weiterhin unklar. Eine im Vorfeld innerhalb unserer Arbeitsgruppe durchgeführte Untersuchung zur Parität bot uns die Möglichkeit durch eine fMRT-Folgestudie weitere Erkenntnisse zu diesem Thema zu erlangen.

In dem nun folgenden Kapitel "Theoretischer Hintergrund" werden zunächst einige Grundlagen der Zahlenverarbeitung zusammengefasst bevor ein Teil der gewonnenen Erkenntnisse bildgebender fMRT-Studien dargestellt wird, um die Ergebnisse der eigenen Studie in den bisherigen Kenntnisstand eingliedern zu können.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1. Modelle der mentalen Zahlenverarbeitung

1985 präsentierten McCloskey, Caramazza und Basili von der Johns Hopkins Universität in Baltimore einen kognitiv-neuropsychologischen Ansatz zur Zahlenverarbeitung. Sie versuchten, die verschiedenen Störungsmuster bei der Verarbeitung von Zahlen und beim Rechnen bei Patienten mit cerebralen Läsionen in einem Modell der normalen Zahlenverarbeitung und des Rechnens zu erklären. Das Hauptcharakteristikum dieses Modells ist die Annahme einer zentralen Verarbeitungskomponente zur internen semantischen Representation von Zahlen, in welche jedes Zahleneingangsformat überführt werden muss, und auf das die nachfolgenden Rechenmechanismen, Abruf von Rechenfakten oder erlernte Rechenprozeduren, und die Zahlenproduktion zugreifen müssen. Die Eingangs- und Produktionsmodule werden zudem in lexikalische und syntaktische Teilkomponenten untergliedert. Die Transkodierung einer gelesenen arabischen Zahl, z.B. „34“ in das entsprechende gesprochene Zahlwort („vierunddreißig“) könnte man sich demnach anhand des Modells wie folgt vorstellen. Die Enkodierungskomponente für die arabischen Zahlen erkennt die lexikalischen Elemente (Ziffern) „3“ und „4“. Deren syntaktische Beziehung im Platz-mal-Wert System der arabischen Zahlen wird in der syntaktischen Verarbeitungskomponente erkannt. Diese Informationen werden nun zusammen für den Aufbau der internen semantischen Representation der zweistelligen Zahlengröße registriert. Von dort werden die Module zur Produktion gesprochener Zahlwörter angestoßen, in denen die semantische Representation der Zahl zunächst ihren syntaktischen Rahmen und im Folgenden die lexikalischen Bestandteile mit phonologischen Prozessen für das gesprochene Zahlwort erhält. Für die zentrale semantische Representation wird in diesem Modell angenommen, dass die Größe einer Zahl in abstrakter Form als symbolische Quantität in Kombination mit ihrem Stellenwert zur Zehnerbasis spezifiziert wird.

Diese Annahme einer abstrakten zentralen Größenrepresentation hat die größte Kritik an diesem Modell auf sich gezogen. Wie bei einem Flaschenhals muss alle Information stets semantisch verarbeitet werden. Eine asemantische Überführung einer Zahlennotation in eine andere ist nicht vorgesehen. So ließ sich z. B. das Leistungs- und Fehlermuster des Patienten S.A.M., der starke Schwierigkeiten beim Transkodieren von Zahlen, nicht aber bei Rechenprozessen hatte, nicht durch McCloskeys Modell erklären, und veranlasste Cipolotti

und Butterworth (1995) zur Vorstellung eines Mehrrouen-Modells der Zahlenverarbeitung. In diesem Modell werden getrennte semantische und asemantische Transkodierungswege postuliert, die in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung eingeschlagen werden und sich gegenseitig hemmen. McCloskeys Modell wurde auf diese Weise um vier direkte asemantische Verarbeitungswege ergänzt, die die Überführung von geschriebenen und gesprochenen Zahlwörtern zur Produktion von arabischen Zahlen als auch von Zahlwörtern und arabischen Zahlen in das Output-Modul der gesprochenen Zahlen ohne Umweg über die semantische Representation ermöglichen.

Campbell und Clark (1988) sowie Campbell (1999) bezweifelten, dass der Abruf von Rechenprozeduren nach der Enkodierung aus dem Eingangsformat unabhängig von diesem vollzogen wird. Basierend auf Reaktionszeitmessungen an Studenten bei einfachen Additionsaufgaben präsentierten sie ein Modell, in dem alle Formate direkt asemantisch ineinander überführt werden können und Rechenprozesse in Abhängigkeit von der Eingangsnotation durchgeführt werden. Dieses so genannte „encoding-complex“ Modell beinhaltet keine zentrale abstrakte interne Representation für Zahlen. Auch Noel und Seron (1993) gehen in ihrer „preferred entry code“ Hypothese von asemantischen Verarbeitungswegen aus. Sie postulieren jedoch individuelle Unterschiede für die semantische Representation der Zahlen, auf welche zentral jedoch nicht amodal zugegriffen werden kann. So wird nach ihrem Modell das Eingangsformat einer Zahl in das individuell bevorzugte Format überführt, bevor ein mentaler Rechenprozess durchgeführt werden kann.

Fias, Brysbaert und d' Ydewalle (1996) versuchten in ihrem Vorschlag, semantische und asemantische Verarbeitungsvorgänge für arabische Zahlen und geschriebene Zahlwörter getrennt zu betrachten. Aus den Resultaten ihrer Reaktionszeitexperimente schlossen sie, dass arabische Zahlen aufgabenunabhängig nur semantisch verarbeitet werden können, während geschriebene Zahlwörter je nach Aufgabenstellung semantisch, z. B. beim numerischen Größenvergleich oder bei Paritätsentscheidungen, oder asemantisch z. B. beim Phonem-Monitoring, verarbeitet werden.

2.1.1. Das Triple-Code Modell von Dehaene (1992)

Das Triple-Code Modell von Dehaene ist wie der Ansatz von Cipolotti und Butterworth (1995) sowie das „hybrid-model“ von Fias et al. (1996) den „Multiple Route“ Modellen zuzuordnen. Aufgrund seines bedeutenden Stellenwertes und häufigen Erwähnung in der

Literatur möchte ich es hier als eigenen Gliederungspunkt aufführen und besonders detailliert beschreiben.

In diesem Modell, welches sowohl auf Reaktionszeitexperimenten als auch auf neuropsychologischen Erkenntnissen über Patienten mit Hirnläsionen beruht, werden drei verschiedene Zahlenrepräsentationen, „Codes“, angenommen. Diese sind wechselseitig ineinander überführbar und an unterschiedliche Verarbeitungsprozesse gekoppelt. Zwei von ihnen sind ferner an spezifische In- und Outputformate gebunden.

Ein auditiv-verbaler Code repräsentiert die lexikalischen und syntaktischen Verarbeitungskomponenten zum Verständnis und zur Produktion von Zahlwörtern ohne semantische Bedeutung. Arithmetisches Faktenwissen sowie das fortlaufende Zählen sind an diesen Code gebunden.

Zur Transkodierung arabischer Zahlen wird der visuell-arabische Code benötigt. Der Zugriff auf diese Representation geschieht nach Dehaene und Cohen (1995) außerdem bei Rechenaufgaben mit mehrstelligen Zahlen sowie bei der Paritätsentscheidung.

Der semantische Wert der Zahlen wird auf einem von links nach rechts orientierten logarithmisch komprimierten Zahlenstrahl repräsentiert. Auf diesen quantitativen Größencode wird bei approximativem Rechnen, dem Schätzen sowie dem Größenvergleich zugegriffen.

Auf der Basis dieser drei Representationen wird sowohl eine direkte asemantische wie auch semantische Verbindung, mit dem Umweg über den Größencode, zwischen den arabischen Zahlen und den Zahlwörtern sowie umgekehrt ermöglicht.

1995 veröffentlichten Dehaene und Cohen eine Erweiterung des Triple-Code Modells, indem eine anatomische Einbettung der verschiedenen Representationen vorgestellt wird (Dehaene & Cohen, 1995).

Zunächst wird postuliert, dass der visuell-arabische Code (visuelle Zahlenform) in beiden Hemisphären im Bereich des occipito-temporalen Übergangs lokalisiert ist. Hierbei wird der linken Seite die Representation von Zahlwörtern und arabischen Zahlen zugeordnet, während die rechte Seite auf die Representation von arabischen Zahlen beschränkt ist. Beide Areale stehen untereinander direkt über das Corpus callosum in Verbindung. Ebenfalls bilateral wird die Größenrepräsentation angenommen. Diese ist im Bereich des parieto-occipito-temporalen Zusammenschlusses implementiert. Auch diese Bereiche sind direkt interhemisphärisch über

das Corpus callosum miteinander verbunden. Nur linkshemisphärisch hingegen wird der auditiv-verbale Code verarbeitet. Anatomisch ist diese Representation in den klassischen perisylvischen Spracharealen des unteren frontalen, des mittleren und oberen temporalen Gyrus sowie der Basalganglien und des Thalamus eingebettet.

2.1.2. "Die 3 parietalen Kreise" von Dehaene 2003

Eine weitere Spezifizierung der anatomischen Implementierung des Triple-Code Modells veröffentlichten Dehaene, Piazza, Pinel und Cohen (2003) mit einer Unterscheidung von drei verschiedenen parietalen Funktionskreisen, die an der Zahlenverarbeitung beteiligt sind. Sowohl durch neuropsychologische Untersuchungen als auch durch den Vergleich verschiedener bildgebender Studien wurde die Rolle des parietalen Kortex in der Zahlenverarbeitung weiter spezifiziert.

Dem horizontalen intraparietalen Sulcus (hIPS) beider Hemisphären wird hierbei die zahlenspezifische Funktion eines analogen Größencodes zugewiesen. Dieser ist grundsätzlich aktiviert, wenn Zahlen verarbeitet werden, unabhängig von ihrer Notation, aber verstärkt bei Aufgaben, deren Bearbeitung sich auf eine numerische Größenrepresentation stützt. Unterstützung findet diese Hypothese durch den Vorschlag von Eger, Sterzer, Russ und Kleinschmidt (2003) über ein „supramodales“ Areal im bilateralen, horizontalen, intraparietalen Sulcus, welches notations-, aufgaben- und modalitätsunabhängig in ihren Experimenten aktiviert war. In einem erst kürzlich veröffentlichten Übersichtsartikel von Hubbard, Piazza, Pinel und Dehaene (2005) wird die Idee eines ausschließlich zahlenspezifischen Teils des intraparietalen Sulcus jedoch wiederum verlassen. Stattdessen postulieren die Autoren einen gemeinsamen parietalen Funktionskreis für räumliche Aufmerksamkeit und interne Größenrepresentation, der Größe nicht nur für Zahlen sondern auch Raum, Zeit und Objekte kodiert.

Ferner postulieren Dehaene et al. (2003) ein Areal im Bereich des linksseitigen Gyrus angularis, welches aufgabenabhängig in direkter Verbindung mit den linkshemisphärischen perisylvischen Arealen der Sprachverarbeitung steht. Dieses Areal soll beim Zugriff auf arithmetisches Faktenwissen sowie der Multiplikation aktiviert sein.

Letztlich wird eine Region beschrieben, welche bilateral im posterioren, superior parietalen Lobulus liegt und nach medial bis zum Precuneus reicht. Sie ist in verschiedenen Aufgaben wie dem numerischen Größenvergleich, dem approximativen Rechnen, der Subtraktion von

zweistelligen Zahlen und dem fortlaufenden Zählen, aber auch bei visuo-spatialen Aufgaben wie dem Greifen, Augenfolgebewegungen und dem räumlichen Arbeitsgedächtnis aktiviert. Somit wird postuliert, dass diese Region nicht nur bei der räumlichen Ausrichtung der Aufmerksamkeit sondern auch bei der räumlichen Orientierung auf dem Zahlenstrahl und somit beispielsweise dem Größenvergleich aktiviert ist.

2.2. Interne Größenrepresentation

2.2.1. Automatizität

Auch wenn die verschiedenen Zahlenverarbeitungsmodelle in der Literatur weiter diskutiert werden, so wird eine automatische Aktivierung einer Größenrepresentation, auch wenn semantische Informationen zur Bearbeitung einer Aufgabe nicht erforderlich ist, heute kaum mehr in Frage gestellt (Brysbaert, 1995; Dehaene, Bossini & Giraux, 1993; Dehaene & Akhavein, 1995; Eger et al., 2003; Moyer & Landauer, 1967). Zwei Effekte haben hierbei einen besonderen Stellenwert:

Der Distanzeffekt

Der klassische Indikator für eine interne Größenrepresentation ist der Distanz Effekt: Der Größenvergleich zweier Zahlen erfolgt umso schneller und weniger mit Fehlern behaftet, je größer die Distanz zwischen den beiden Zahlen ist (Moyer und Landauer, 1967). So wird auf die Presentation der Zahlen „9“ und „5“ in einer Größenvergleichsaufgabe schneller reagiert als auf die Presentation der Zahl „6“ und „5“ . Dies ließ sich nicht nur für arabische Zahlen sondern auch für Punktmengen (Buckley & Gillman, 1974) und geschriebene Zahlen (Foltz, Poltrock & Potts, 1984) experimentell belegen. Auch bei sechsjährigen Kindern und sogar Tieren konnte ein Distanzeffekt nachgewiesen werden (Butterworth, 1999). Dehaene, Dupoux und Mehler (1990) konnten darstellen, dass der Distanzeffekt auch bei zweistelligen Zahlen, selbst wenn die Konzentration auf die Dekade der Zahl zur Entscheidungsfindung ausreicht, auftritt. Duncan und McFarland (1980) demonstrierten, dass der Distanzeffekt nicht auf den numerischen Größenvergleich beschränkt ist. Auch bei der Entscheidung, ob zwei arabische Zahlen identisch oder nicht sind, fanden sich schnellere Reaktionszeiten, wenn die Distanz zwischen zwei präsentierten Zahlen zunimmt. Ähnliche Ergebnisse fanden sich auch bei dem Vergleich arabischer Zahlen mit Zahlwörtern (Dehaene & Akhavein, 1995) hinsichtlich der physikalischen Identität zweier Stimuli (1-eins). Da sich auch in diesem Experiment ein

deutlicher Distanzeffekt ergab, scheint es nicht möglich zu sein, eine Zahl oder ein Zahlwort nur physikalisch wahrzunehmen, ohne eine semantische Representation zu aktivieren. Die Reaktionszeiten änderten sich in den Experimenten proportional zum Logarithmus der Distanz der presentierten Zahlen (Dehaene, 1989). Somit ist der Distanzeffekt weder notations- noch aufgabenspezifisch und liefert einen wichtigen Hinweis zur Natur der internen Größenrepresentation: ein automatisch aktivierter, analoger Zahlenstrahl mit logarithmisch komprimierter Representation der Zahlen.

Der Problemgrößeneffekt

Dieser ebenfalls sehr gut erforschte Effekt beschreibt das Phänomen, dass die Entscheidungsfindung in einer Aufgabe um so länger dauert, je numerisch größer die bei der Aufgabe beteiligten Zahlen sind. Somit benötigt ein Proband z. B. für den Größenvergleich des Zahlenpaares „9 > 8“ mehr Zeit als für „1 > 2“. Dieser Effekt wurde sowohl für arabische Zahlen und Punktmengen (Buckley & Gillman, 1974), als auch für Zahlwörter beschrieben (Foltz, Poltrock & Potts, 1984). Wie der Distanzeffekt ist auch der Größeneffekt bei asemantischen Aufgaben, wie dem Behalten und Benennen von Zahlen, nachweisbar (Brysbaert 1995). Besonders ausgeprägt stellt sich der Effekt bei der exakten Addition dar (Stanescu-Cosson, Pinel, van De Moortele & Le Bihan, 2000). Graham und Campbell (1992) vermuteten, dass der Problemgrößeneffekt ein Häufigkeitseffekt ist, denn kleine Zahlen und Rechnungen mit kleinen Zahlen werden in der Schulbildung frühzeitiger gelernt und häufiger geübt. Penner-Wilger, Leth-Steensen und LeFevre (2002) wiesen daraufhin, dass bei Rechenaufgaben mit relativ größeren Zahlen kein einfacher Faktenabruf erfolgt sondern häufig aufwändigere Strategien verwendet werden. Z. B. lösen einige Menschen die Aufgabe „6 x 7“ durch die Umformung zu „6 x 6 + 6“. Zuletzt kann aber auch der Problemgrößeneffekt als Hinweis auf die Beschaffenheit der internen, semantischen Zahlenrepresentation gesehen werden (Dehaene 1989). Durch eine logarithmische Komprimierung des Zahlenstrahls sind größere Zahlen schwerer voneinander zu diskriminieren als kleinere. Die hierdurch bedingten Überlappungen treten vor allem beim exakten Rechnen auf (Stanescu-Cosson et al., 2000).

2.2.2. Räumliche Ausrichtung: Der SNARC-Effekt

In verschiedenen Reaktionszeitexperimenten machten Dehaene, Bossini und Giraux (1993) eine interessante Entdeckung: Bei einer Paritätsentscheidung wurde für größere Zahlen von

den Probanden schneller mit der rechten Hand entschieden während auf die Presentation kleinerer Zahlen schneller mit der linken Hand reagiert wurde. Hierbei schien der absolute Zahlenwert weniger eine Rolle zu spielen als der relative Wert innerhalb eines vorgegebenen Zahlenbereiches. Trägt man hierbei die Reaktionszeitdifferenz zwischen den beiden Händen gegen den Stimulus auf, lassen sich diese Differenzwerte gut durch eine (Regressions-) Gerade mit einer negativen Steigung, welche die Stärke des Effektes ausdrückt, approximieren. Der Effekt wurde als automatische, interne räumliche Größenrepräsentation interpretiert und erhielt den Namen Spatial Numerical Association of Response Codes (SNARC) - Effekt.

Am Eindeutigsten zeigte sich dieser Effekt zunächst bei der visuellen Presentation einstelliger arabischer Zahlen. Aber auch im Zahlenraum von 0 bis 99 (Graf, Nuerk und Willmes, 2003) sowie für Zahlwörter und römische Zahlen konnte der Effekt nachgewiesen werden. In einer erst kürzlich veröffentlichten Studie von Nuerk, Wood und Willmes (2005) wurde in einem Reaktionszeitexperiment die Modalitäts- und Notationsabhängigkeit des SNARC-Effektes erneut untersucht. Hier zeigten sich im Vergleich arabischer Zahlen, geschriebener und vorgesprochener Zahlwörter sowie Punktmuster ähnliche Steigungen der SNARC-Geraden und somit keine Unterscheidung der Stärke des Effektes.

Dehaene gelang es initial nicht, ein ähnliches Reaktionsverhalten für Buchstaben des französischen Alphabets darzustellen. In neueren Experimenten konnten Gevers, Reynvoet und Fias (2003 und 2004) jedoch einen SNARC-Effekt nicht nur für Buchstaben sondern auch für die Monate im Jahr sowie die Wochentage nachweisen. Weitere Hinweise für die Automatisiertheit der Größenrepräsentation liefern ferner die Untersuchungen von Fias, Brysbaert, Geypens und d'Ydewalle (1996), in denen der SNARC-Effekt auch beim Phonem-Monitoring bezüglich des zu einer arabischen Zahlen gehörenden Zahlworts dargestellt werden konnte, einer Aufgabe, bei der die numerische Größe ebenso wie bei der Paritätsaufgabe keinerlei Rolle spielt.

Somit scheint der SNARC-Effekt ein genereller Index für den automatischen Zugang zu einer zentralen, abstrakt-quantitativen semantischen Größenrepräsentation zu sein, welcher unabhängig von Modalität, Notation und Aufgabestellung nachweisbar ist.

Ob es sich beim SNARC-Effekt um eine Assoziation zwischen Zahlengröße und rechter/linker Hand oder dem gesamten räumlichen Umfeld handelt, konnte in weiteren

Studien geklärt werden. Bereits bei den Experimenten von Dehaene et al. 1993 konnte gezeigt werden, dass bei gekreuzten Armen der gleiche Effekt entsteht: Die Probanden reagierten auf größere Zahlen schneller mit der auf der rechten Seite gelegenen Taste und auf kleinere schneller mit der auf der linken Seite gelegenen Taste, egal von welcher Hand die jeweilige Taste gehalten wurde. Einen weiteren Hinweis für die Hypothese, dass sich der SNARC-Effekt auf den gesamten den Körper umgebenden Raum bezieht, fand sich bei der Untersuchung iranischer Probanden, die seit einer bestimmten Zeit in Frankreich lebten. Deren Sprache Farsi wird von rechts nach links geschrieben. Hier zeigte sich eine Abnahme der (umgekehrten) Steigung der SNARC-Geraden in Abhängigkeit von der Zeit, die die Probanden bereits in Frankreich verweilten. Somit kann argumentiert werden, dass die räumliche Kodierung der numerischen Information kulturelle Hintergründe im Sinne der individuellen Schreibrichtung hat. Diese Meinung wurde unterstützt durch die Experimente von Berch, Foley, Hill und Ryan (1999), in denen sich zeigte, dass sich der SNARC-Effekt erst mit dem 9. Lebensjahr, einem Alter, in dem das Lesen und Schreiben eine zunehmend größere Rolle spielt, manifestiert. Ein interessantes Experiment von Maass und Russo (2003) unterstrich die dominante Position der erlernten Schreibrichtung: Italienische und arabische Probanden zeichneten ein Bild zu dem Titel „the girl pushes the boy“, mit dem Resultat, dass italienische Studienteilnehmer das Mädchen links positionierten während die arabischen Probanden die rechte Seite wählten. Bächtold, Baumüller und Brugger (1998) fanden jedoch heraus, dass sich auch in Kulturkreisen, in den von links nach rechts geschrieben wird, eine Umkehrung des SNARC-Effektes erreichen lässt, indem sich die Probanden die präsentierten Zahlen als Uhrzeiten auf einem Zifferblatt vorgestellten, auf welchem sich die kleineren Zahlen bekanntlich auf der rechten Seite befinden. Somit schien sich die Richtung des SNARC-Effektes durch eine Verschiebung der Aufmerksamkeit beeinflussen zu lassen. Den umgekehrten Effekt, dass sich durch die Präsentation von Zahlen die Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Seite verschieben lässt, konnte Fischer (2001) darstellen, indem er Probanden aus Zahlen bestehende Linien halbieren ließ. Bei kleinen Zahlen (1 und 2) wurde der Mittelpunkt der Linie links von der Mitte gezeichnet, während er bei größeren Zahlen (8 und 9) auf die rechte Seite positioniert wurde. Sollen aufleuchtende Punkte durch Tastendruck einer jeweiligen Seite zugeordnet werden, kann die Reaktionsgeschwindigkeit für die linke Seite durch die vorherige Präsentation von kleineren Zahlen und für die rechte Seite durch die Präsentation von größeren Zahlen gesteigert werden (Fischer 2003).

Kontrovers diskutiert werden die Experimente hinsichtlich eines SNARC-Effektes bei negativen Zahlen. Unterschiedliche Ergebnisse in verschiedenen Studien brachten bisher keine Klarheit darüber, ob die mentale Zahlenreihe als Verlängerung in den negativen Bereich verläuft oder ob negative Zahlen wie positive Zahlen mit umgekehrten Vorzeichen verarbeitet werden (Nuerk, Iversen und Willmes, 2004; Fischer und Rottmann, 2005).

2.2.3. Paritätsrepresentation und linguistische Markiertheit

Während die meisten Zahlenverarbeitungsmodelle die Rolle der Größenrepresentation ausführlich beschreiben, wird die Paritätsrepresentation einer Zahl kontrovers diskutiert.

McCloskeys Modell favorisiert eine zentrale, abstrakte Größenrepresentation. Auch wenn McCloskey sich hierzu nicht explizit äußert, so ist davon auszugehen, dass diese zentrale Einheit auch die Paritätseigenschaft einer Zahl speichert bzw. vor dem Zugriff auf die Paritätsinformation aktiviert werden muss. Das gleiche gilt auch für das „Hybrid Model“ von Fias et al.. Auch hier wird die abstrakte Größenrepresentation bei semantischen Aufgaben wie der Paritätsaufgabe für alle Notationen gleichermaßen aktiviert. Differentielle Paritätseffekte sollten sich somit beim Vergleich der verschiedenen Notationen nicht feststellen lassen.

Dehaene et al. (1993) verknüpften in ihrem Triple-Code Modell den visuellen arabischen Code mit der Paritätsentscheidung zu einer gemeinsamen Representation, da der bei der Paritätsaufgabe entdeckte SNARC-Effekt bei arabischen Zahlen stärker ausgeprägt war als bei Zahlwörtern. Dies sollte zur Folge haben, dass Zahlwörter und gesprochene Zahlen zunächst in den arabischen Code umgewandelt werden müssten, bevor auf die Paritätsinformation zugegriffen werden kann. Die Reaktionszeiten sollten hiermit für arabische Zahlen kürzer als für Zahlwörter sein.

Einzig das „encoding complex model“ von Campbell und Clark (1988) bietet eine Vielzahl von Argumentationsmöglichkeiten bezüglich der Parität. Denn dadurch, dass asemantische Verbindungen zwischen allen Formaten ohne zentrale Rolle einer semantischen Größenrepresentation postuliert werden, ließen sich sowohl Paritäts- wie auch Notationseffekte verschiedener Art begründen.

Zwei Phänomene wurden in Experimenten zur Paritätsentscheidung untersucht, die ggf. beide auf die Kongruenz ihrer linguistischen Markiertheit zurückzuführen sind:

Der Odd-Effekt

In den meisten romanischen Sprachen gibt es Paare von gegensätzlichen Adjektiven wie „gerade - ungerade“. Hierbei wird durch Hinzunehmen des Präfixes „un-“, das Adjektiv markiert. Neben dieser formalen linguistischen Markiertheit beschreibt Lyons (1969) auch eine semantische Markiertheit, z. B. „rechts (unmarkiert) – links (markiert)“.

Hines nutzte 1990 diesen sprachlichen Zusammenhang zur Erklärung eines vor ihm entdeckten Phänomens, den Odd-Effekt: Bei der Paritätsaufgabe reagierten die Probanden schneller auf die Frage nach geraden als nach ungeraden Zahlen. Dies zeigte sich vor allem bei den Zahlwörtern, während sich der Effekt bei den arabischen Zahlen nur in der Fehleranalyse bestätigte. Nachdem Sherman (1976) bereits zeigen konnte, dass markierte Adjektive zu einer verlängerten Satzverständniszeit führten, wurde dieses Argument auch für den Odd-Effekt postuliert: Auf nicht markierte Objekte kann kognitiv schneller zugegriffen werden.

Ein weiterer Hinweis auf den verbal-linguistischen Hintergrund des Odd-Effektes fand sich bei den Experimenten von Dehaene et al. (1993) die zwar zunächst ebenfalls keinen Odd-Effekt für arabische Zahlen darstellen konnten, wohl aber in einer separaten Analyse der Literaturstudenten und für arabische Zahlen und Zahlwörter zusammen.

Einen alternativen Erklärungsversuch findet man in einer Veröffentlichung von Lochy, Seron, Delazer und Butterworth (2000). Lochy et al. schreiben den Odd-Effekt einer höheren Vertrautheit mit geraden Zahlen zu, da dreiviertel aller Produkte gerade Zahlen ergeben.

Eine weitere Auffälligkeit in Hines Experimenten konnte allerdings weder durch letztere noch durch die Hypothese der linguistischen Markiertheit hinreichend geklärt werden: Bei der Entscheidung, ob zwei präsentierte Stimuli eine gleiche oder verschiedene Parität besitzen, zeigte sich, dass die Kombination von zwei geraden Zahlen und der Antwort „gleich“ deutlich schnellere Reaktionszeiten erbrachte als der Odd-Effekt bei der Paritätsentscheidung einzelner Zahlen erwarten lassen würde. Dies veranlasste Willmes und Iversen (1995) zu der Vermutung, dass die Reaktionszeit nicht nur von der Markiertheit des Stimulus, sondern auch von der Markiertheit der Antwort beeinflusst wird. Die Kongruenz beider Einflussmöglichkeiten ist für die Reaktionsgeschwindigkeit in Hines Experiment verantwortlich. Zur Belegung dieser These untersuchten Willmes und Iversen (1995) abermals die Paritätsaufgabe und konnten die Hinweise für die Korrektheit ihrer Hypothese

dokumentieren: Bei Zahlwörtern wurde die Entscheidung „gerade“ (unmarkiert) schneller mit der rechten (unmarkierten), die Entscheidung „ungerade“ (markiert) schneller mit der linken (markierten) Reaktionstaste beantwortet. Dies wurde in Analogie zum SNARC-Effekt Markedness Association of Response Codes (MARC) Effekt getauft.

Der MARC-Effekt

Ebenso wie der SNARC-Effekt so scheint sich auch der MARC-Effekt erst während der Vorschulzeit zu entwickeln (Berch et al. 1999). Der MARC-Effekt konnte hierbei etwas später als der SNARC-Effekt nachgewiesen werden, was darauf zurückzuführen sein könnte, dass zu seiner Ausprägung ein fortgeschritteneres Sprachverständnis vorliegen muss.

Eine interessante Entdeckung machten Graf, Nuerk und Willmes (2003): Welche Reaktionshand schneller auf die geraden bzw. ungeraden Zahlen reagiert, scheint abhängig von der Händigkeit der Probanden zu sein. So entscheiden Linkshänder auf gerade Zahlen schneller mit der in der linken Hand liegenden Reaktionstaste. Hiermit unterscheidet sich der MARC-Effekt vom SNARC-Effekt hinsichtlich seiner räumlichen Ausrichtung. Während sich die räumliche Komponente des SNARC-Effektes auf den gesamten umliegenden Raum bezieht, so ist der MARC-Effekt am Körper orientiert. Hierdurch könnten sich auch die Ergebnisse von Iversen, Nuerk und Willmes (2004) erklären. Diese fanden heraus, dass sich der MARC-Effekt bei Probanden, die von Geburt an taub sind, umkehrt. In der Gebärdensprache wird „rechts“ durch eine Bewegung der linken Hand auf den rechten Arm ausgedrückt. Somit könnte im Sinne der linguistischen Markiertheit die unmarkierte Antwort „rechts“ mit einer motorischen Reaktion des linken Armes verknüpft sein.

Zusammenfassend können wir sagen, dass das dem MARC-Effekt zugrunde liegende linguistische Konzept der Markiertheit verbale Notationen stärker beeinflusst als arabische. Dies ist mit dem Triple-Code Model von Dehaene et al. nicht zu vereinbaren. Auch durch die Zahlenverarbeitungsmodelle von McCloskey und Fias et al. mit ihren Hypothesen einer zentralen Größenrepräsentation lässt sich der MARC-Effekt nicht erklären. Nach der „encoding complex“ Hypothese von Campbell und Clark, 1988, könnte die Paritätsinformation einer Zahl formatspezifisch für bestimmte Aufgaben benutzt werden. Hierdurch ließe sich die Notationsabhängigkeit des MARC-Effektes erklären, nicht aber, warum der Effekt bei sprachlich Begabten modalitätsübergreifend auch bei arabischen Zahlen nachzuweisen ist. Aus diesem Grund postulierte Nuerk in persönlicher Kommunikation, dass

zwei funktionelle Areale die Paritätsinformation beinhalten könnten: Auf der einen Seite eine verbal-lexikalische Representation, deren Zugang über das Format der Zahlwörter oder indirekt durch Verbalisierung ermöglicht wird. Auf der anderen Seite eine durch arabische Zahlen getriggerte Representation, welche abseits verbaler Konzepte ähnlich der abstrakten semantischen Größenrepresentation aktiviert wird.

2.3. Funktionelle Anatomie der Zahlenverarbeitung

Für den kognitiven Neurowissenschaftler ist die Information über die Lokalisation der Funktionen der Zahlenverarbeitung eigentlich von untergeordnetem Interesse. Allerdings tragen funktionell bildgebende Verfahren, wie beispielsweise die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) oder die Positron-Emissions-Tomographie (PET), zu einem erweiterten Verständnis über die Organisation kognitiver Prozesse bei. Durch die Untersuchung der Fragen, welche Parameter bestimmte Aktivierungen verstärken oder abschwächen, lassen sich wiederum Rückschlüsse auf die postulierten Verarbeitungsmodelle ziehen.

Durch die anatomische Implementation des Triple-Code Models von Dehaene und Cohen (1995) wurde dem Parietallappen, wie oben bereits vorgestellt, die wichtige Rolle der semantischen Representation von Zahlen zugewiesen. Dies konnte in diversen Studien belegt werden. Darüber hinaus scheinen dieser Region aber auch andere Teilbereiche der Zahlenverarbeitung zuzufallen. Somit möchte ich an dieser Stelle zunächst ausführlicher auf die Ergebnisse verschiedener Studien eingehen, in denen Erkenntnisse über die Funktionen des Parietallappens beschrieben werden. Anschließend werde ich einen Überblick über weitere Areale darlegen, die in der Zahlenverarbeitung offensichtlich eine Rolle spielen.

2.3.1. Funktionen des Parietallappens

Größenrepresentation

Bereits in einer Untersuchung regionaler cerebraler Blutflussraten konnten Roland und Friberg (1985) in einer seriellen Subtraktionsaufgabe einen erhöhten O₂-Bedarf bilateral inferior-parietal messen. In vielen fMRT-Studien konnten die Ergebnisse von Roland und Friberg bestätigt werden (Burbaud, Camus, Guehl, Bioulac, Caillé und Allard, 1999; Rickard, Romero, Basso, Wharton, Flitman und Grafman, 2000; Pinel, Dehaene, Rivière und LeBihan, 2001), wobei eine modalitätsabhängige und aufgabenabhängige Lateralisation zunächst viel

diskutiert wurde. So zeigte sich in den Ableitungen ereigniskorrelierter EEG-Potentiale (EKP) in einer Studie von Dehaene (1996), dass die gemessene elektrische Aktivität über inferior-parietalen Regionen platzierter Elektroden in einer Größenvergleichsaufgabe in Abhängigkeit der Notation variierte. Dieser Notationseffekt ist nach der Meinung des Autors jedoch nicht auf eine Aktivierung der abstrakten Größenrepräsentation zurückzuführen, sondern auf den Verarbeitungsprozess im Bereich der visuellen Zahlenform, welche eigentlich im Bereich des occipito-parietalen Übergangs lokalisiert ist. Übereinstimmend mit dem Triple-Code Modell wurden Zahlwörter unilateral linkshemisphärisch und arabische Zahlen bilateral verarbeitet. In einer EKP-Folgestudie von Kiefer und Dehaene (1997) zeigten sich nun aufgabenabhängige Aktivierungsunterschiede. Während die Modalität, visuell oder auditiv, keinen Effekt auf die abgeleiteten Potentiale hatte, ließ sich bei einer Multiplikationsaufgabe eine Lateralisierung nach links und beim Größenvergleich eine Lateralisierung nach rechts feststellen. Ähnliche Ergebnisse brachte auch die folgende fMRT-Studie von Chochon, Cohen, van de Moortele und Dehaene (1999), in der bilaterale Aktivierungen im Bereich des intraparietalen Sulcus dargestellt werden konnten, welche ebenfalls bei der Multiplikation nach links und beim Größenvergleich nach rechts lateralisiert waren. In der Subtraktionsaufgabe fanden sich hingegen bilateral gleichstarke und im Vergleich zur Multiplikation stärkere Aktivierungen. Auch diese Ergebnisse ließen sich mit dem Triple-code Modell erklären, in welchem bei Multiplikationsaufgaben eine Aktivierung des linksseitigen verbalen Codes postuliert wurde. Auch Lee (2000) konnte in einem fMRT Experiment bilaterale Aktivierungen bei arithmetischen Aufgaben feststellen. Für die Multiplikation einstelliger arabischer Zahlen fanden sich ebenfalls bilaterale intraparietale Aktivierungen. Die Subtraktionsaufgabe aktivierte allerdings stärker die rechte Hemisphäre. Auch die Ergebnisse einer PET-Studie von Pesenti, Thioux, Seron und De Volder (2000) widersprachen den o. g. Aktivierungsmustern. Zwar zeigte sich auch bei Pesenti et al. eine aufgabenabhängige Aktivierungsverteilung, jedoch stellte sich hierbei eine Rechtslateralisierung für einfache Orientierungsaufgaben und eine Linkslateralisierung bei der Größenvergleichs- und Additionsaufgabe. Stanescu-Cosson, Pinel, van de Moortele und Le Bihan veröffentlichten 2000 eine kombinierte Studie aus fMRT und EKP Experimenten. Sie unterschieden zwischen exaktem und approximativem Rechnen mit kleinen und großen Zahlen. Während sich in allen Aufgaben bilaterale intraparietale Aktivierungen fanden, welche sowohl beim exakten also auch approximativen Rechnen mit größeren Zahlen zunahmen, so zeigt sich eine Linkslateralisierung dieser Areale beim Rechnen mit kleinen Zahlen. Hier kann wiederum eine Erklärung durch das Triple-Code Modell gefunden werden.

Denn das Rechnen mit kleinen Zahlen ist nach Dehaene und Cohen mit dem Abruf arithmetischen Faktenwissens aus dem verbalen Code assoziiert. Der Zusammenhang einer Zunahme der Aktivierungsstärke im Parietallappen durch komplexere Arithmetik konnte durch Menon, Rivera, White, Glover und Reiss (2000) festgestellt werden. Wurde die Komplexität der von den Autoren eingesetzten Richtig/Falsch Additionsaufgaben durch das Hinzufügen eines Operanden erhöht, kam es in beiden Hemisphären zu einer Signalverstärkung, während sich durch die Erhöhung der Aufgabenfrequenz nur verstärkt präfrontale Aktivierungen darstellten. Pinel, Dehaene, Rivière und LeBihan (2001) konnten in einer Größenvergleichsaufgabe zweistelliger Zahlen mit arabischen Zahlen und geschriebenen Zahlwörtern notationsunabhängige bilaterale Aktivierungen des intraparietalen Sulcus und des Präcuneus feststellen. Le Clec'H, Dehaene, Cohen, Mehler, Dupoux, Poline, Lehericy, van de Moortele und LeBihan (2000) fanden ähnliche Aktivierungsmuster unabhängig davon, ob visuelle oder auditive Stimuli in französischer oder englischer Sprache verwendet wurden. Zusammenfassend scheint in den verschiedenen Studien eine modalitäts- und notationsunabhängige inferio-parietale Aktivierung beider Hemisphären vorzuliegen, welche mit der von Dehaene und Cohen (1995) postulierten abstrakt-semantischen Zahlenrepräsentation vereinbar ist.

Zahlenspezifität

Die bei den Experimenten zur Zahlenverarbeitung zur Verwendung kommenden Aufgaben beinhalten eine Reihe von kognitiven Prozessen, die von unspezifischen Funktionen wie Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis, visuo-spatialen Prozessen, visueller und auditiver Verarbeitung sowie motorischer Planung und Ausführung bis hin zu spezifischen mathematischen Prozessen reichen. Diese sind unweigerlich schwer voneinander zu differenzieren. Zur genaueren Unterscheidung verschiedener parietaler Prozesse, führten Simon, Mangin, Cohen, LeBihan und Dehaene (2002) eine fMRT-Studie durch, in welcher die Probanden sechs Aufgaben präsentiert bekamen, bei denen allesamt parietale Aktivierungen erwartet wurden: Greifen, Zeigen, Augenfolgebewegungen, visuelle Aufmerksamkeit, Subtraktion und Phonem Detektion. Hierbei fand sich der bilaterale intraparietale Sulcus (IPS) als einziges Areal, welches ausschließlich bei der Verarbeitung von Zahlen aktiviert wurde. Ein Versuch von Fulbright, Manson, Skudlarski, Lacadie und Gore (2003), in welchem eine quantitative Bestimmung von Buchstaben, Zahlen und Formen vollzogen werden musste, bestätigte die Vermutung von Simon und Mitarbeitern: Der

intraparietale Sulcus war bei allen Stimuli bilateral aktiviert. Fias, Lammertyn, Reynvoet, Dupont und Orban (2003) verglichen die Aktivierungen, welche bei der Größenentscheidung von visuell präsentierten Winkeln, Linien und zweistelligen Zahlen entstehen. Auch in diesem Experiment fanden sich bilaterale Aktivierungen im Bereich des intraparietalen Sulcus. Der Verarbeitungsprozess symbolischer und nicht-symbolischer Größen schien sich somit nicht zu unterscheiden. Eger, Sterzer, Russ & Giraud (2003) versuchten, durch konsequenten Einsatz von Kontrollreizen viele Einflussfaktoren derart zu eliminieren, dass sich innerhalb der semantischen Representation des intraparietalen Sulcus eine Zahlenspezifität erkennen ließe. Hierbei zeigte sich in einer nicht-semantischen Stimulus-Detektionsaufgabe im Vergleich von Zahlen mit Buchstaben und Farben eine bilaterale Aktivierung des hIPS. Diese „supramodale“ Zahlenrepresentation fand sich sowohl bei visuell dargebotenen arabischen Zahlen als auch bei vorgesprochenen, auditiven Stimuli. In einer erst kürzlich veröffentlichten PET-Studie von Thioux, Pesenti, Costes, De Volder und Seron (2005) konnte eine Kategoriespezifität für Zahlen unterstrichen werden. Zahlen und Tiere wurden in einer semantischen (größer/kleiner 5 bzw. schneller/langsamer als ein Hund) und einer kategorischen (gerade/ungerade bzw. Säugetier oder nicht) Aufgabe präsentiert. Hierbei zeigten sich aufgabenunabhängige Aktivierungen im bilateralen intraparietalen Sulcus für Zahlen und inferior-temporale Aktivierungen für Tiere. Ein zahlenspezifisches Areal im Bereich des horizontalen parietalen Sulcus wurde somit von verschiedenen Autoren angenommen. Konträr hierzu beschreiben Hubbard et al. (2005) in einem Review-Artikel einen Zusammenhang der internen Zahlenverarbeitung und der räumlichen Aufmerksamkeit auch für die Areale des horizontalen Anteil des intraparietalen Sulcus. Mit Bezug auf die Resultate elektrophysiologischer und bildgebender Untersuchungen beim Affen konnten Vorschläge für homologe Bereiche beim Menschen gemacht werden. Hiernach lässt sich der intraparietale Sulcus in einen lateralen (LIP), ventralen (VIP), anterioren (AIP), kaudalen (CIP) und medialen (MIP) Part unterteilen. Für alle Bereiche finden sich Hinweise für räumliche Effekte, sodass die Idee eines zahlenspezifischen Teils des intraparietalen Sulcus hierdurch wiederum verlassen wurde.

Automatizität

Wie bereits oben erwähnt wird der Distanzeffekt als Zeichen der Automatizität der abstrakten Größenrepresentation interpretiert. Somit sollten auch in bildgebenden Studien Aktivierungsunterschiede durch die Verarbeitung von näher oder ferner gelegenen Stimuli zu

erwarten sein. Dies konnte auch in verschiedenen Studien belegt werden. So fanden sich bei entfernten Zahlen im Größenvergleich rechtsbetont stärkere Aktivierungen im inferior-parietalen Bereich (Dehaene, 1996). Eine bilaterale Zunahme der Aktivierungsstärke im Bereich des intraparietalen Sulcus konnte Pinel et al. (2001) durch die Vergrößerung der Distanz der in einer Größenvergleichsaufgabe beteiligten Zahlen feststellen. Eger et al. (2003) zeigten nicht nur für arabische Zahlen einen Distanzeffekt im horizontalen intraparietalen Sulcus sondern auch für Buchstaben und Farben. Ein weiterer Effekt, der die Automatisierung der semantischen Zahlenrepräsentation unterstreicht, ist das neuropsychologische Phänomen der „repetition suppression“ (Naccache und Dehaene, 2001). Unbemerkt wird den Probanden hierbei ein subliminaler Stimulus (Prime) kurz vor dem eigentlichen zweiten Reiz (Target) präsentiert. Bei gleichem Prime und Target kommt es zu einer Abnahme der Aktivierung. Naccache und Dehaene fanden ein Areal im intraparietalen Sulcus, welches notationsabhängig einen solchen „repetition suppression“-Effekt zeigte.

Verbal-linguistische Representation

Wie u.a. die Experimente zum MARC-Effekt belegen konnten, sind verschiedene Teilprozesse der Zahlenverarbeitung eng an linguistische Konzepte gebunden (Willmes und Iversen, 1995). Dehaene und Cohen (1995) wiesen dieser verbal-auditiven Verarbeitungskomponente eine anatomische Lokalisierung in den linkshemisphärischen perisylvischen Spracharealen des unteren frontalen, des mittleren und oberen temporalen Gyrus sowie der Basalganglien und des Thalamus zu. Verschiedene bereits oben beschriebene Studien konnten diese These unterstützen und perisylvische Aktivierungen in bildgebenden Verfahren nachweisen (Dehaene, 1996; Rickard et al., 2000). Nach Dehaene, Piazza, Pinel und Cohen (2003) erstrecken sich diese Aktivierungen bis zum Gyrus angularis des Parietallappens. Diesem scheint in diesem Kontext eine besondere Rolle zuzukommen.

Simon et al. (2002) konnten in ihrer Studie zur Differenzierung parietaler Prozesse feststellen, dass von den sechs unterschiedlichen Aufgaben nur die Arithmetik- und die Phonem-Detektionsaufgabe eine Aktivierung im Bereich des Gyrus angularis bewirken. Bei Dehaene und Cohen (1999) zeigte sich, dass der Gyrus angularis bei exaktem Rechnen mit kleinen Zahlen stärker aktiviert ist als beim approximativen Rechnen. Gehen wir davon aus, dass wir beim exakten Rechnen auf ein in irgendeiner Art und Weise erlerntes sprachliches Faktenwissen zurückgreifen, während uns beim Schätzen vor allen Dingen der komprimierte Zahlenstrahl zu Hilfe kommt, so kann vermutet werden, dass die Art der Zahlenverarbeitung

nicht nur von dem erlernten Faktenwissen sondern auch von der Sprache, in der die Aufgabe gestellt wird, abhängig ist. Dies konnte durch Spelke und Tsivkin (2001) unterstrichen werden. In ihrem Reaktionszeitexperiment verglichen sie die sprachliche Abhängigkeit der Zahlenverarbeitung bei russisch-englisch bilingualen Studenten. Hier zeigte sich, dass exakte arithmetische Fakten an die jeweilige zum Erlernen verwendete Sprache gebunden waren, während approximatives Rechnen unabhängig von sprachlichen Einflüssen verarbeitet wurde und den Distanzeffekt als klassisches Phänomen der Größenrepräsentation darstellte. Zu ähnlichen Schlüssen kamen auch Delazer, Domahs, Bartha, Lochy, Trieb und Benke (2003). Sie verglichen die Aktivierungen bei der Präsentation trainierter und untrainierter Multiplikationsaufgaben. Stärkere Aktivierungen fanden sich für die trainierten Aufgaben im Bereich des Gyrus angularis, während sich für die untrainierten Aufgaben Aktivierungen im Bereich des intraparietalen Sulcus zeigten. Auch die Ergebnisse der Studien von Chochon et al. (1999), Stanescu-Cosson et al. (2000) und Lee (2000) unterstreichen die Plausibilität der Hypothese einer verbal-linguistischen Repräsentation. Bei Lee (2000) finden sich nicht nur die oben erwähnten bilateralen intraparietalen Aktivierungen, welche eine Rechtslateralisierung in der Subtraktionsaufgabe zeigen, sondern sowohl eine Linkslateralisierung der intraparietalen Aktivierungen als auch eine Verschiebung der Aktivierungsmaxima vom intraparietalen Sulcus rechts zum Gyrus angularis links in der Multiplikationsaufgabe. Der Vermutung, dass es sich bei der linkshemisphärischen Aktivierung um zwei getrennte Aktivierungsfoci aufgrund unterschiedlicher Teilprozesse handelt, kann aufgrund der noch eingeschränkten Auflösung der bildgebenden Technik nicht genauer nachgegangen werden. Bei Stanescu-Cosson et al. (2000) fanden sich auch rechtshemisphärische Aktivierungen des Gyrus angularis. Jedoch standen auch in diesem Experiment die Aktivierungen der linken Hemisphäre sowie die Linksverschiebung beim exakten Rechnen im Vordergrund der Resultate. Hinsichtlich der Lateralisierung zeigten sich ähnliche Ergebnisse bei Chochon et al. (1999). Explizite Aktivierungsmaxima im Bereich des Gyrus angularis werden jedoch nicht erwähnt.

Paritätsaufgabe

Sollte der Gyrus angularis die Repräsentation der an linguistische Konzepte gekoppelten Prozesse darstellen, so sollten sich nach Nuerk et al. (2003) auch Effekte bei der Paritätsaufgabe erkennen lassen. Diese sollten nach Dehaene und Cohen (1995) jedoch an die visuelle Zahlenform im Bereich des occipito-temporalen Übergangs gebunden sein. Leider

gibt es im Vergleich zur Größenvergleichsaufgabe bisher wenige Studien, die die Paritätsaufgabe daraufhin untersucht haben. In einer PET-Untersuchung beschrieb Thioux et al. (2005) die bereits oben erwähnte Studie, in welcher die Paritätsentscheidung der Kategorisierung von Tieren als Säugetiere oder Nicht-Säugetiere gegenübergestellt wurden. Ferner wurde die Größenvergleichsaufgabe von Zahlen mit der Geschwindigkeitseinstufung von Tieren gegenüber dem Hund verglichen. Leider werden die Ergebnisse der Studie nur für die zahlen- und tierspezifischen Untersuchungsteile unterschieden. In der Diskussion wird jedoch erwähnt, dass im Vergleich der Aufgabenstellungen keine zusätzlichen Aktivierungen gefunden wurden. Sowohl in der Größenvergleichsaufgabe als auch der Paritätsentscheidung finden sich Aktivierungen des horizontalen Anteils des intraparietalen Sulcus beidseits sowie Aktivierungen im rechtshemispärischen Temporal- und linkshemisphärischen Frontallappen. Dies wird so interpretiert, dass der Größenvergleich und die Paritätsentscheidung in nahe beieinanderliegenden neuronalen Netzwerken des intraparietalen Sulcus representiert werden. Da Thioux und Mitarbeiter jedoch nur sechs Probanden in ihr Experiment einschlossen, ist die statistische Aussagekraft der Ergebnisse eingeschränkt.

Die einzige mir vorliegende fMRT-Studie zur expliziten Untersuchung der Paritätsentscheidung in der Zahlenverarbeitung ist die Arbeit von Dambeck, Nuerk, Weis, Thron und Willmes (2001). Hier wurde die Paritätsentscheidung einer Phonem-Detektionsaufgabe gegenübergestellt. Als Stimuli dienten arabische Zahlen, Zahlwörter, römische Zahlen, Punktmengen und negative arabische Zahlen. Generell fanden sich in der Paritätsaufgabe deutlich weniger Aktivierungen als in der Phonem-Detektionsaufgabe. Weiterhin war die visuelle Zahlenform im Bereich des inferioren occipito-temporalen Übergangs bei allen Notationen außer den Zahlwörtern aktiviert. Für Zahlwörter hingegen konnten in der Paritätsaufgabe eine starke Aktivierung des Broca-Areals links sowie mehrere kleinere perisylvische Aktivierungen beidseits festgestellt werden. Diese Ergebnisse sind vereinbar mit den Vorstellungen von Dehaene und Cohen (1995), dass die Paritätsentscheidung an die visuelle Zahlenform gebunden ist. Für Zahlwörter hingegen scheint eine sprachliche Verarbeitung möglich. Aktivierungen des Gyrus angularis oder im Bereich des auditiven Assoziationskortex werden jedoch nicht beschrieben. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte in den starken bilateralen parietalen Aktivierungen in der Phonem-Detektionsaufgabe liegen, welche sich bis in den Gyrus angularis erstrecken. Durch die Kontrastierung der beiden Aufgabenstellungen könnten kleine Aktivierungen des Gyrus angularis nicht dargestellt worden sein. Gleiches gilt natürlich auch für eventuelle

Aktivierungen im occipito-temporalen Übergangs. Somit bleiben sowohl die Modellvorstellungen Nuerks (2003) als auch die des Triple-Code Modells mit den Ergebnissen Dambecks et al. (2001) vereinbar.

Visuo-spatiale Prozesse

Ergänzend zu den bisher vorgestellten Zahlenverarbeitungsvorgängen und deren möglichen Aktivierungen im Scheitellappen möchte ich nun noch auf die bereits oben erwähnten visuo-spatialen Prozesse eingehen, welche eine wichtige Funktion im parietalen Bereich beider Hemisphären einnehmen. Hier wären vor allen Dingen das Greifen nach einem Gegenstand, das Zeigen, Augenbewegungen, Aufmerksamkeitsorientierung, mentale Rotation und das räumliche Arbeitsgedächtnis (Corbetta, Kincade, Ollinger, McAvoy und Shulman, 2000; Culham, Cavanagh, Kanwisher, 2001; Simon et al., 2002). Die Aktivierungen liegen in den Studien im Bereich des superioren Parietallappens sowie dem Precuneus beidseits. Dieses Areal ist auch in verschiedenen Studien zur Zahlenverarbeitung beschrieben. Es ist sowohl bei Größenvergleichsaufgaben (Pesenti et al., 2000; Pinel et al., 2001), approximativem Rechnen (Stanescu-Cosson et al., 2000), bei komplexerer Arithmetik (Lee, 2000) und dem Zählen (Piazza, Mechelli, Butterworth und Price, 2002) aktiviert.. Die Aktivierungen scheinen zuzunehmen, wenn zwei Rechenoperationen anstelle von einer vollzogen werden müssen (Menon et al., 2000). Simon et al. (2002) untersuchte die verschiedenen visuo-spatialen Aufgaben in einem Vergleichsexperiment. Hierbei stellten sie fest, dass den Prozessen separate Areale innerhalb des parietalen Kortex zugeteilt sind. Aufgabenspezifisch zeigten sich bilaterale Aktivierungen im anterioren Gyrus supramarginalis beim Greifen, im superioren Parietallappen sowie posterioren IPS bei den Augenbewegungen und des Precuneus bei visueller Aufmerksamkeit. Dies scheint eine homologe Anordnung zu den parietalen Areale des Affen darzustellen, sodass die Autoren die Hypothese aufstellen, dass sich der Parietallappen des Menschen mit der Entwicklung der sprachlichen und semantisch-arithmetischen Fähigkeiten weiter ausgedehnt hat.

Zusammenfassend können wir den Parietallappen in viele funktionell verschiedene Areale unterteilen, von denen mindestens zwei eng an die Zahlenverarbeitung geknüpft sind: Erstens, ein Areal im Bereich des horizontalen Teils des intraparietalen Sulcus, welches unabhängig von Modalität, Notation, Aufgabe und bewusster Stimuluswahrnehmung der quantitativen Größenrepräsentation zu dienen und für den klassischen Distanzeffekt und den Problemgrößeneffekt verantwortlich zu sein scheint. Die in verschiedenen Studien

beschriebene Zahlenspezifität dieses Areals, wird aktuell kontrovers diskutiert. Im linken Gyrus angularis soll die verbale Verarbeitung von Zahlen sowie das arithmetische Faktenwissen bei Multiplikation und Addition von kleinen Zahlen repräsentiert werden. Theoretisch lässt sich vermuten, dass in diesem Areal die Paritätsinformation von Zahlwörtern und gesprochenen Zahlen liegen könnte. Ferner finden sich im Parietallappen Aktivierungen, welche vielen verschiedenen Prozessen der Aufmerksamkeit und räumlichen Wahrnehmung zugeordnet werden können.

2.3.2. Der inferiore occipito-temporale Übergang

Nach dem Triple-Code Modell von Dehaene und Cohen (1995) wird im Bereich des inferioren occipito-temporalen Übergangs in beiden Hemisphären die visuelle Zahlenform repräsentiert. Dort sollen visuell präsentierte Zahlen verarbeitet werden. Dehaene (1996) geht davon aus, dass die Ausführung einer Größenvergleichsaufgabe beispielsweise wie folgt abläuft: Zunächst findet die visuelle Identifikation statt, welche sich zeitlich über 150ms erstreckt. An diese schließt sich ca. 200ms nach Stimuluspräsentation der Größenvergleich durch Aktivierung semantischer Repräsentationen an. Zuletzt wird nach ca. 250ms die motorische Antwortreaktion angestoßen. So zeigte sich in einer ERP-Studie von Dehaene (1996) ca. 150ms nach der Präsentation arabischer Zahlen eine bilaterale Aktivierung im inferiorparietalen Bereich. Bei geschriebenen Zahlwörtern war die linke Seite deutlich stärker aktiviert. Aufgrund der zeitlichen Korrelation wurden diese notationsabhängigen Aktivierungsunterschiede der visuellen Identifikation zugeschrieben. Rickard et al. (2000) konnte in einer fMRT-Studie mit arabischen Zahlen bilaterale Aktivierungen des Gyrus fusiformis und lingualis im Brodmann Areal 37/19 unterstreichen. Für Zahlwörter hingegen existiert nach McCandliss Cohen und Dehaene (2003) eine „visual word form area“ im linkshemisphärischen Gyrus fusiformis. Dieses Areal ist nach der Meinung der Autoren bei der Präsentation von Wörtern und Pseudowörtern in beiden Gesichtsfeldern unabhängig von Schriftgröße, -stil und -farbe oder bewusster Wahrnehmung aktiviert. Passive Repräsentation von gesprochenen Worten führt hingegen zu keiner Aktivierung in diesem Areal. Dieser Hypothese widersprechen Price und Devlin (2003) in ihrem Artikel „The myth of the visual word form area“. Sie konnten in ihren Experimenten nachweisen, dass das als „visual word form area“ deklarierte Areal auch bei Aufgaben aktiviert ist, in denen weder geschriebene Wörter oder Buchstaben verarbeitet werden mussten. So fanden die Autoren beispielsweise Aktivierungen im Bereich des linkshemisphärischen Gyrus fusiformis bei der motorischen

Betätigung von Antworttasten auf die Presentation von bedeutungslosen Objekten. Die von Dehaene, Le Clec'H, Poline, Le Bihan und Cohen (2002) vorgeschlagene Erklärung solcher „occasional activations“, dass top-down Prozesse im Rahmen visueller Aufmerksamkeit für diese Aktivierungen verantwortlich sein, ist nach Price und Devlin (2003) weder mit den Ergebnissen neuropsychologischer noch bildgebender Untersuchung vereinbar. In diesem Zusammenhang kann auch der von Pinel, Le Clec, van de Moortele, Naccache, Le Bihan und Dehaene (1999) beschriebene Effekt interpretiert werden: Beim Größenvergleich arabischer Zahlen mit geschriebenen Zahlwörtern war bei arabischen Zahlen der rechte Gyrus fusiformis stärker aktiviert als bei den Zahlwörtern. Homologe linksseitige Areale waren jedoch nicht aktiviert. Auch in der Studie von Dambeck et al. (2001) kann die Hypothese eines visuellen Wortformareals nicht bestätigt werden. Sowohl in einer Paritätsaufgabe als auch beim Phonem-Monitoring ist der inferiore occipito-temporale Übergang für arabische Zahlen, römische Zahlen und Punktmengen beidseits aktiviert. Nur bei dem Gebrauch von geschriebenen Zahlwörtern finden sich bei beiden Aufgabenstellungen keine Aktivierungen in diesem Bereich.

Neben der Wort-, Zahl oder Objekterkennung weisen Dehaene und Cohen (1995) dem inferioren occipito-temporalen Übergang eine aufgabenabhängige Funktion zu. Nach dem Triple-Code Modell, wird dieses Areal auch bei der Paritätsaufgabe sowie bei Rechenaufgaben mit mehrstelligen Zahlen aktiviert. Die Paritätsaufgabe verlangt somit nach Meinung der Autoren eine Transkodierung des jeweiligen Inputformates zu arabischen Zahlen, bevor auf die Paritätsinformation zugegriffen werden kann. Nuerk et al. (2004) argumentiert jedoch, dass der Nachweis des MARC-Effektes bei Zahlwörtern für eine Verbindung der Paritätsinformation mit verbalen Arealen spricht. In persönlichen Gesprächen stellte er die Hypothese auf, dass die Zahleneigenschaft der Parität für Zahlwörter und gesprochene Zahlen an einem anderen Ort repräsentiert sein könnte. Nur so ließen sich die Ergebnisse Dambecks et al. (2001) erklären, die bei der Paritätsaufgabe für Zahlwörter keine Aktivierungen im Bereich des inferioren occipito-temporalen Übergangs feststellen konnten.

2.3.3. Perisylvische Areale und auditive Wortverarbeitung

In den perisylvischen Arealen finden wir das so genannte Sprachzentrum. Dieses setzt sich aus verschiedenen Teilen zusammen (Poeck und Hacke, 2001). Im Allgemeinen wird dabei zwischen einer motorischen Sprachregion, dem so genannten Broca-Areal im inferior-präzentralen Kortex links, sowie einer sensorischen Sprachregion, der Wernicke-Region im

posterioren Gyrus temporalis superior links. Ferner können im Rahmen der Wortverarbeitung bilaterale Aktivierungen in den Brodmann Arealen 21 und 22 des temporalen Kortex gefunden werden (Cabeza und Nyberg, 2000).

Diese klassischen Areale der auditiven Verarbeitung scheinen sich in bildgebenden Verfahren nicht als getrennte funktionelle Bereiche darzustellen. So konnten Price, Wise, Warburton, Moore, Howard, Patterson, Frackowiak und Friston (1996) beim Vergleich von Bedingungen mit und ohne Sprachproduktion feststellen, dass das Broca-Areal nicht nur bei der Sprachproduktion sondern auch bei der auditiven Wortwahrnehmung involviert ist. Auch bei visueller Presentation von Wörtern konnten Aktivierungen im Broca-Areal festgestellt werden (Price, Winterburn, Giraud, Moore und Noppeney, 2003). In der gleichen Studie war bei der verbalen Wiederholung vorgesprochener Wörter als auch dem Ablesen der linke posteriore, superior temporale Kortex aktiviert. Die Autoren stehen somit einer modalitätsspezifischen „word form area“ kritisch gegenüber. Auch Burton, Nollund Small (2001) konnten die Areale zur Wortverarbeitung nicht weiter differenzieren. Auf der einen Seite fanden sich beim Vergleich des Wortnachsprechens mit der Wiederholung des Wortes „crime“ über alle Versuchspersonen hinweg Aktivierungen des linken, superioren, posterior temporalen sowie des linken inferior frontalen Gyrus wie sie auch in den Experimenten von Price et al. (1996) dargestellt werden konnten. Auf der anderen Seite zeigte sich eine starke individuelle Variabilität der Lokalisierung der Aktivierungsmaxima des temporalen Clusterareals von bis zu 48 mm im Vergleich zur Gruppenanalyse. Ferner zeigten sich nur bei vier der zehn Probanden überhaupt Aktivierungen des inferior frontalen Gyrus.

Diesen Studien steht eine Veröffentlichung von Booth, Burman, Meyer, Gitelman, Parrish und Mesulam (2002) gegenüber, die die Modalitäts- und Aufgabenspezifität der Wortverarbeitung untersuchten. Vorgesprochene und geschriebene Wortpaare wurden als Stimuli für eine semantische (gehören diese Gegenstände zusammen? Tisch - Stuhl) und eine asemantische Aufgabe (reimen sich diese Wörter? Bank – Tank) verwendet. Aufgabenspezifische aber modalitätsunabhängige Aktivierungen fanden sich im linken inferior frontalen Gyrus (BA 46, 47) sowie im linken mittleren temporalen Gyrus (BA 21). Visuelle Stimuli aktivierten ferner bilateral den occipitalen Gyrus mit Ausdehnung bis zum Brodmann-Areal 37 des linken Gyrus fusiformis. Auditive Reize zeigten Aktivierungen des bilateralen superior temporalen Gyrus (BA22).

Dehaene und Cohen (1995) hatten den linkshemisphärischen perisylvischen Arealen die Funktion des verbalen Codes ihres Triple-Code Modells zugewiesen. Dies galt für den inferioren frontalen, den superioren und mittleren temporalen Gyrus sowie die Basalganglien und den Thalamus. Bestätigung fand sich zunächst in den bildgebenden Studien von Burbaud, Degreze, Lafon, Franconi, Bouligand, Bioulac, Caille und Allard (1995) und Rickard et al. (2000). Dem entgegen steht die PET-Studie von Zago, Pesenti, Mellet, Crivello, Mazoyer und Tzourio-Mazoyer (2001). Weder bei leichten noch bei schweren Multiplikationsaufgaben fanden sich perisylvische Aktivierungen. In einem Review-Artikel von 2003 korrigierte Dehaene die Lokalisation des verbalen Codes dahingehend, dass nun für die verbal-linguistischen Representationen von Zahlen nicht nur die perisylvischen Arealen des Temporal- und Frontallappens sondern auch der Gyrus angularis des Parietallappens postuliert wurde, ein Areal, welches in dieser Arbeit bereits unter den parietalen Aktivierungen beschrieben wurde.

3. Fragestellung/Hypothesen

Durch die im vorherigen Kapitel vorgestellten Studien konnten viele Aspekte der Zahlenverarbeitung beleuchtet werden. Das in dieser Arbeit durchgeführte Experiment soll zur Klärung weiter bestehender Fragen beitragen. Im Einzelnen möchte ich hierbei auf die Aspekte der Notations-/Modalitäts-, Aufgaben- und Antwortspezifität in der Zahlenverarbeitung eingehen. Hierbei ist zu erwähnen, dass sich die verschiedenen Teile nicht unabhängig voneinander bearbeiten lassen, denn ein Stimulus in einer bestimmten Notation ist zwangsläufig an eine Modalität und eine Aufgabenstellung gebunden. So werden die in diesem Kapitel postulierten Fragenstellungen und Hypothesen nur Absatz-übergreifend formuliert werden können und sich Wiederholungen innerhalb dieses Abschnittes nicht vermeiden lassen.

3.1. Notations-/Modalitätsspezifität

Dehaene (1996) beschreibt in einer Größenvergleichsaufgabe eine linkshemisphärische inferior parietale Aktivierung für Zahlwörter und eine rechtshemisphärische Aktivierung für arabische Zahlen. Auch Pinel et al. (2001) konnten notationsabhängige Aktivierungen darstellen. Arabische Zahlen führten in einer Größenvergleichsaufgabe zu stärkeren Aktivierungen im Bereich des inferioren Parietallappens als Zahlwörter. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den frühen Experimenten zum SNARC-Effekt (Dehaene et al., 1993). Hier war der SNARC-Effekt für arabische Zahlen stärker ausgeprägt als für Zahlwörter. Dem widersprechen die Ergebnisse einer erst kürzlich veröffentlichten Studie von Nuerk et al. (2005), in denen sich zeigte, dass der SNARC-Effekt nicht nur für arabische Zahlen, Zahlwörter und vorgesprochenen Zahlen vorhanden ist, sondern auch in allen Bedingungen gleichstark ausgeprägt ist. Diese amodale Verarbeitung wird auch von Le Clec'h et al. (2000) unterstützt, die für visuelle und auditive Inputformate ähnliche Aktivierungsmuster feststellten. Hinweise gegen diese Hypothese finden sich in der Studie von Booth, Burman, Meyer, Gitelman, Parrish und Mesulam (2002), in der allerdings keine Zahlen als Stimuli verwendet wurden. Ihre Untersuchung zur Modalitätsspezifität in der Wortverarbeitung, welche auch bei Zahlwörtern aktiviert sein könnte, konnte eine amodale lexikalische Enkodierung, aber modalitätsabhängige semantische Dekodierung darstellen.

Die Paritätsaufgabe ist im Vergleich zum numerischen Größenvergleich sehr wenig untersucht. Dambeck et al. (2001) beschreiben beim Vergleich ungewohnter (römische

Zahlen, Punktmuster) mit gewohnten Notationen (arabische Zahlen, Zahlwörter) stärkere intraparietale Aktivierungen für die ungewohnten Stimuli. Dies ist mit den Vorstellungen des Triple-Code Modells (Dehaene und Cohen, 1995) nur dann vereinbar, wenn die Stärke der Aktivierungen auf den unterschiedlichen Aufmerksamkeitsaufwand der ungewohnten Stimuli zurückgeführt wird. Weiter fanden sich bei Dambeck et al. (2001) bei allen Notationen beidseitige Aktivierungen des occipito-temporalen Übergangs außer bei den geschriebenen Zahlwörtern. Nach Dehaene und Cohen (1995) sollte allerdings in der Paritätsaufgabe die visuelle Zahlenform im Bereich des occipito-temporalen Übergangs für arabische Zahlen bilateral und geschriebene Zahlwörter linkshemisphärisch aktiviert werden. In eingeschränkter Form kann die Studie von Thioux, Seron und Pesenti (1999) das Triple-Code Modell unterstützen. Zwar werden in ihrer Arbeit die Aktivierungen der Größenvergleichsaufgabe und der Paritätsaufgabe nur als Conjunction Analysis im Vergleich zu den semantischen und asemantischen Aufgaben mit Tiernamen präsentiert, doch finden sich hier für arabische Zahlen Aktivierungen im Bereich des rechtsseitigen occipito-temporalen Übergangs. Auditive Stimuli sind bisher in der Paritätsaufgabe noch nicht mit bildgebenden Verfahren untersucht worden.

Somit gilt es hinsichtlich der Notation- und Modalitätsspezifität in der Zahlenverarbeitung speziell folgende Fragen zu klären:

- Verändern sich die Aktivierungen des für die Größenrepräsentation zugeschriebenen Areals im intraparietalen Sulcus in Abhängigkeit von Notation und Modalität?
- Ist der occipito-temporale Übergang Ort der von Dehaene und Cohen eingeführten visuellen Zahlenform oder repräsentiert dieser Bereich zahlenunspezifische visuelle Verarbeitungsvorgänge?
- Inwiefern ist die Paritätsentscheidung modalitätsabhängig? Existiert mehr als eine Paritätsrepräsentation, auf die in Abhängigkeit der Notation und Modalität zugegriffen wird?

3.2. Aufgabenspezifität

3.2.1. Größenvergleichsaufgabe

Die Größenvergleichsaufgabe ist eine in den Experimenten zur Zahlenverarbeitung häufig verwendete Aufgabenstellung. Trotzdem werden weiterhin viele Fragen kontrovers diskutiert. Nach Dehaene et al. (1995, 2003) erwarten wir für die Größenrepräsentation Aktivierungen bilateral im intraparietalen Sulcus. Simon und Mitarbeiter (2002) beschrieben jedoch nur eine linkshemisphärische Aktivierung. Le Clec'H et al. (2000) wiederum konnten in ihrer Studie nur rechtshemisphärische Aktivierungen darstellen.

Auch außerhalb des intraparietalen Sulcus werden Areale beschrieben, die mit dem Größenvergleich verknüpft sein könnten. So sind beispielsweise auch inferior parietale Bereiche sowie der Gyrus supramarginalis und der Precuneus häufig aktiviert (Le Clec'H et al., 2000; Pinel et al., 2001).

Weiter wird über ein zahlenspezifisches Areal diskutiert, welches „supramodal“ für die Größenrepräsentation von Zahlen verantwortlich ist (Eger et al., 2003). Andererseits kann die Größenrepräsentation von Zahlen auch Teil eines übergreifenden Systems sein, welches auch die Größe von Objekten, Linien oder Winkeln beinhaltet (Fias et al., 2003).

Zusammenfassend gilt es hinsichtlich der Größenvergleichsaufgabe weiterhin folgende Fragen zu klären:

- Ist die Größenrepräsentation bilateral oder unilateral lokalisiert? Gibt es Bedingungen, welche eine Lateralisierung der Größenrepräsentation bewirken?
- Ist nur der intraparietale Sulcus von Bedeutung für die Größenrepräsentation, oder spielen auch andere Areale eine Rolle?

Da in dieser Studie ausschließlich Zahlen als Stimuli mit semantischer Verarbeitung verwendet werden, sind Antworten auf die Frage nach der Zahlenspezifität von Teilen des intraparietalen Sulcus durch diese Studie nicht zu leisten.

3.2.2. Paritätsaufgabe

Aufgrund der postulierten Automatizität der Größenrepresentation sind Interferenz-Effekte in der Paritätsaufgabe zu erwarten. Trotzdem sollten anatomische Korrelate für die Paritätsrepresentation in unserer Studie gefunden werden.

Das Triple-Code Modell ist das einzige, das den Vorgang der Paritätsentscheidung spezifiziert. Danach sollten spezifische funktionelle Aktivierungen in der visuellen Zahlenform erwartet werden. Die Existenz des MARC-Effektes weist allerdings auf die Miteinbeziehung sprachlicher Areale bei der Paritätsentscheidung hin. Hierfür sprechen auch die Resultate von Dambeck et al. (2001). Somit könnten auch zwei getrennte notations- und modalitätsabhängige Areale mit der Paritätsentscheidung verknüpft sein.

Folgende Fragen sollen systematisch untersucht werden:

- Ist die Paritätsentscheidung wie im Modell von Dehaene und Cohen an die visuelle Zahlenform gebunden? Oder wird die Paritätsentscheidung verbal-linguistisch getroffen, wie der MARC-Effekt vermuten lässt?
- Gibt es eine bisher nicht beschriebene funktionelle Aktivierung, die mit der Paritätsentscheidung in Zusammenhang gebracht werden kann?

3.3. Antwort-assozierte / räumliche Effekte

Durch die Einführung bildgebender Verfahren in den Experimenten zur Zahlenverarbeitung wurde die objektive Untersuchung allein mental getroffener Entscheidungen ermöglicht. Dies kann verwendet werden, um den in Reaktionszeitexperimenten entdeckten SNARC- und MARC-Effekt, in Hinblick auf ihre eventuelle anatomische Representation zu untersuchen. Denn bei fehlender räumlicher Zuordnung der an die Aufgaben gebundenen Antworttasten kann erwartet werden, dass sowohl der SNARC- als auch der MARC-Effekt geringer ausfällt bzw. gar nicht in Erscheinung tritt.

Hier sollten jedoch generelle Unterschiede zwischen den beiden Effekten erwähnt werden. Während der SNARC-Effekt in räumlicher Beziehung zum Gesichtsfeld steht, scheint der MARC-Effekt abhängig von der Händigkeit der jeweiligen Person (Graf et al., 2003) zu sein. Der MARC-Effekt ist ferner notationsabhängig und basiert auf dem linguistischen Konzept der Markiertheit, sodass erwartet werden kann, dass sich MARC-Effekt-assozierte

Aktivierungen nur bei verbalen Formaten und dabei in den perisylvischen Spracharealen finden lassen.

Der SNARC-Effekt hingegen muss im Zusammenhang mit visuo-spatialen Komponenten der Aufmerksamkeit gesehen werden. Hier spielt der superiore parietale Kortex eine entscheidende Rolle (Simon et al., 2002). Da der SNARC-Effekt nach Dehaene (1993) in einer Paritätsaufgabe erstmalig beschrieben wurde und für arabische Zahlen am häufigsten reproduziert werden konnte, wählen wir zu dessen Darstellung den Vergleich der Aufgabenentscheidung mit und ohne Tasten bei arabischen Stimuli in der Paritätsaufgabe. Eine Aktivierung im Bereich des superior parietalen Kortex, intraparietalen Sulcus oder des Precuneus könnte in diesem Kontrast für eine mit dem SNARC-Effekt assoziierte Aktivierung sprechen.

4. Material und Methoden

4.1. Probanden

Zwischen Mai und September 2002 wurden 16 gesunde Probanden untersucht. Die Probanden waren Rechtshänder und Deutsch war ihre Muttersprache. Keiner von ihnen hatte neurologische oder psychiatrische Vorerkrankungen. Weibliche Kandidatinnen sowie Studierende des Faches Mathematik wurden nicht berücksichtigt, da bei Frauen eine Schwangerschaft hätte ausgeschlossen werden müssen und es für Mathematiker Hinweise dafür gibt, dass andere Hirnareale zur Zahlenverarbeitung genutzt werden als bei Nicht-Mathematikern (Pesenti, Zago, Crivello, Mellet, Samson, Duroux, Seron, Mazoyer, Tzourio-Mazoyer, 2001). Weiter wurde darauf geachtet, dass die Probanden körperlich keine Beschwerden äußerten und keine die Psyche beeinflussenden Substanzen wie Koffein, Alkohol, Nikotin oder Medikamente eingenommen hatten.

Das Alter der Patienten lag zwischen 20 und 40 Jahren, im Durchschnitt bei 26 Jahren. Als Aufwandsentschädigung wurden 10€ an die Probanden bezahlt.

Vor der Untersuchung wurden die Probanden über den Ablauf des Versuches aufgeklärt. Dabei wurden MRT spezifische Besonderheiten wie das starke Magnetfeld, die Gerätelautstärke, die räumliche Enge und die Notwendigkeit der Immobilisation besprochen. Die Dauer des Experimentes wurde mit zwei Durchgängen à ca. 15 Minuten angegeben. Inhaltlich wurde ausschließlich erwähnt, dass es sich bei dem Versuch um ein Experiment zur Zahlenverarbeitung handelt. Anschließend unterschrieben die Probanden einen Aufklärungsbogen mit der Einverständniserklärung zur fMRT Untersuchung der Abteilung Neuroradiologie der Medizinischen Fakultät der RWTH Aachen (siehe Anhang 9.1.).

4.2. Design/ Stimuli/ Versuchsablauf

Wir benutzten für die fMRT-Untersuchung ein Box-car Design bestehend aus zwei Durchgängen. In einem Box-car Paradigma unterscheidet man Aktivierungs- (on) und Ruhe- bzw. Kontroll- (off) Perioden, welche im Versuchsablauf abwechselnd angeordnet und in der späteren statistischen Auswertung miteinander kontrastiert werden. Während des ersten Durchgangs baten wir die Probanden, bezüglich der Aufgaben nur mental zu entscheiden, während wir im zweiten Durchgang eine motorische Antwort mittels Tastendruck verwendeten. Es wurden sechs Stimulus-Bedingungen (s.u.) miteinander verglichen, die

jeweils zweimal pro Durchgang auftraten. Im Anschluss einer jeden Aktivierungsbedingung folgte als Kontrollbedingung eine Pause sowie eine anschließende Instruktionsphase für die nächste Aufgabenstellung. Die Reihenfolge der daraus resultierenden zwölf Blöcke variierte in beiden Durchgängen nicht.

Es wurden zwei verschiedene Aufgabenstellungen verwendet, die blockweise abwechselnd präsentiert wurden. In der Größenvergleichsaufgabe (im Folgenden abgekürzt mit „M“ für Magnitude Comparison) sollten die Probanden entscheiden, ob eine visuell präsentierte Zahl größer oder kleiner als „5“ ist. In der Paritätsaufgabe (im Folgenden abgekürzt mit „P“) sollte entschieden werden, ob eine visuell präsentierte Zahl gerade oder ungerade ist.

Als Stimuli benutzten wir die Zahlen 1 bis 4 und 6 bis 9 in drei verschiedenen Notationen/Modalitäten: einerseits visuell als Arabische Zahlen (VA) und geschriebene Zahlwörter (VW), andererseits auditiv als vorgesprochene Zahlwörter (AU).

In jeder Bedingung wurde ein numerischer Stimulus einer bestimmten Modalität und ein Kontrollstimulus in der jeweiligen gegensätzlichen Modalität präsentiert. So ertönte während der visuellen Stimuli, arabische Zahlen oder geschriebene Zahlwörter, ein auditiver Kontrolllaut, der in Klang, Tonlänge und -frequenz den vorgesprochenen Zahlwörtern ähnelte, aber keinem gesprochenen Wort ähnlich war. Ebenso wurde während der auditiven Stimuli, vorgesprochene Zahlen, ein „#“ als visuelle Kontrollbedingung im Fixpunkt in gleicher Schriftgröße und mit gleicher Präsentationsdauer wie die Arabischen Zahlen eingeblendet.

Somit ergaben sich die folgenden sechs Bedingungen:

- Visuell Arabische Zahlen, Paritätsaufgabe (VAP)
- Visuell Arabische Zahlen, Größenvergleich (VAM)
- Visuell geschriebene Zahlwörter, Paritätsaufgabe (VWP)
- Visuell geschriebene Zahlwörter, Größenvergleich (VWM)
- Auditiv gesprochene Zahlen, Paritätsaufgabe (AUP)
- Auditiv gesprochene Zahlen, Größenvergleich (AUM)

In jedem der zwölf Blöcke wurden 24 Zahlen in jeweils einer Stimulusart mit einem Interstimulusintervall (ISI) von 2000 ms präsentiert. Hierbei wurde der visuelle Stimulus für 1750 ms eingeblendet, gefolgt von einem 250 ms dauernden schwarzen Bildschirm. Die

auditiven Reize, gesprochene Zahlen und Kontrollbedingung, erklangen zu Beginn des Stimulusintervalls einmalig und dauerten ca. 800 ms. Die anschließenden 1200 ms bis zum nächsten Aktivierungsstimulus erfolgte kein weiterer auditiver Reiz.

Die Reihenfolge aller Stimuli in beiden Durchgängen wurde pseudorandomisiert. Hierbei wurde kein Stimulus mehr als einmal hintereinander und nicht mehr als drei Mal pro Block präsentiert. Somit blieb zwar die Reihenfolge der Blöcke in beiden Durchgängen gleich, nicht aber die der präsentierten Stimuli. Nach jeweils 24 Zahlen folgte die Kontrollbedingung in Form einer 6-sekündigen Pause, bevor die Probanden für 9 Sekunden mit der Einblendung „Bitte jetzt entscheiden: kleiner/größer bzw. gerade/ungerade“ für die nächste Aufgabenstellung instruiert wurden. Insgesamt betrug die Länge jedes Blocks 63 Sekunden und die eines Durchgangs 12 Minuten und 36 Sekunden.

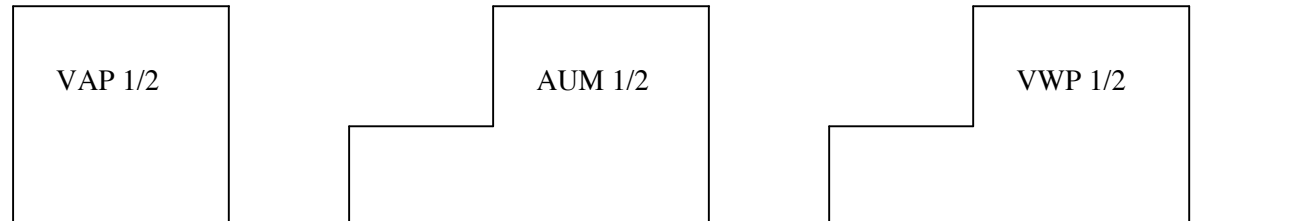
Wir entschieden uns für die folgende Blockabfolge, in der sich die Aufgabenstellung abwechselt und höchstens zwei visuelle Bedingungen hintereinander folgen:

VAP – AUM – VWP – VWM – AUP – VAM – VWP – AUM – VAP – VAM – AUP – VWM (detaillierte Darstellung siehe Tabelle 1 und Tabelle 2)

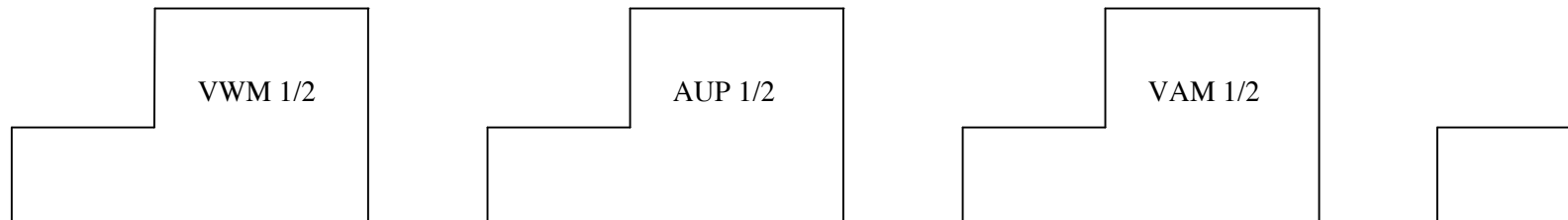
Vor dem ersten Durchgang wurden die Probanden mit einer geschriebenen Aufforderung visuell über die bevorstehenden Versuchsaufgaben instruiert. Anschließend wurde mündlich das Verständnis der Anweisungen kontrolliert.

Um die Probanden den ersten Durchgang unbeeinflusst absolvieren zu lassen, installierten wir die Antworttasten erst während einer kurzen Umbaupause zwischen dem ersten und dem zweiten Durchgang. Die Zuordnung wurde so gewählt, dass in der Größenaufgabe die Zahlen größer als „5“ mit der rechten Hand und die kleiner als „5“ mit der linken Hand entschieden werden sollten. In der Paritätsaufgabe wurde die rechte Hand den geraden Zahlen und die linke Hand den ungeraden Zahlen zugeordnet. Es folgte eine erneute visuelle Instruktion zur Benutzung der Tasten sowie ein Probelauf mit zehn Stimuli zu jeder Aufgabenstellung. Wie im ersten Durchgang wurden die Probanden aufgefordert, so schnell und genau wie möglich zu entscheiden. Die Reaktionszeiten wurden während des zweiten Durchgangs gemessen, konnten jedoch aufgrund technischer Probleme mit Datenverlust nicht zur Auswertung dieser Studie herangezogen werden.

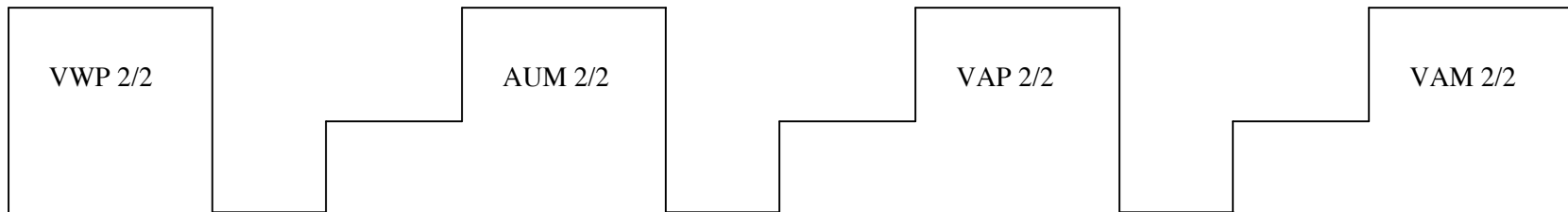
Erster Durchgang:



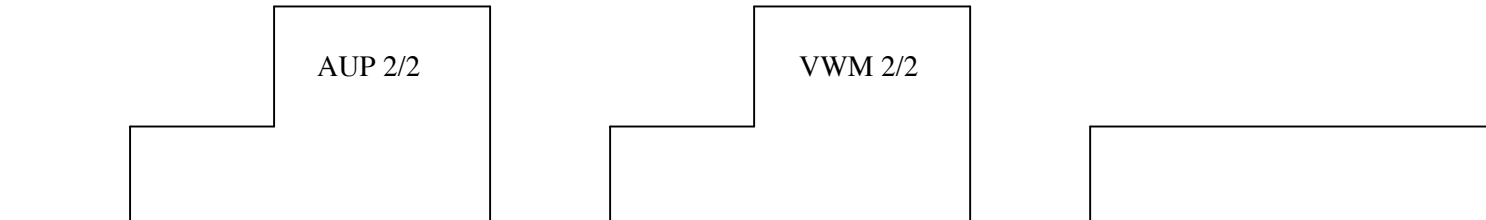
Proband	Liest generelle Einleitung	Liest Instruktion für VAP	Mentale Paritätsentscheid- ung	Pause	Liest Instruktion für AUM	Mentaler Größenvergleich mit der Zahl „5“	Pause	Liest Instruktion für VWP	Mentale Paritätsentscheid- ung	Pause
Visueller Stimulus	generelle Einleitung	Instruktion für VAP	Arabische Zahlen	kein	Instruktion für AUM	Visueller Kontrollstimulus „#“	kein	Instruktion für VWP	Geschriebene deutsche Zahlwörter	kein
Auditiver Stimulus	kein	kein	Auditiver Kontrollstimulus	kein	kein	Gesprochene deutsche Zahlwörter	kein	kein	Auditiver Kontrollstimulus	Kein



Proband	Liest Instruktion für VWM	Mentaler Größenvergleich mit der Zahl „5“	Pause	Liest Instruktion für AUP	Mentale Paritätsentscheid- ung	Pause	Liest Instruktion für VAM	Mentaler Größenvergleich mit der Zahl „5“	Pause	Liest Instruktion für VWP
Visueller Stimulus	Instruktion für VWM	Geschriebene deutsche Zahlwörter	kein	Instruktion für AUP	Visueller Kontrollstimulus „#“	kein	Instruktion für VAM	Arabische Zahlen	kein	Instruktion für VWP
Auditiver Stimulus	kein	Auditiver Kontrollstimulus	kein	kein	Gesprochene deutsche Zahlwörter	kein	kein	Auditiver Kontrollstimulus	kein	kein



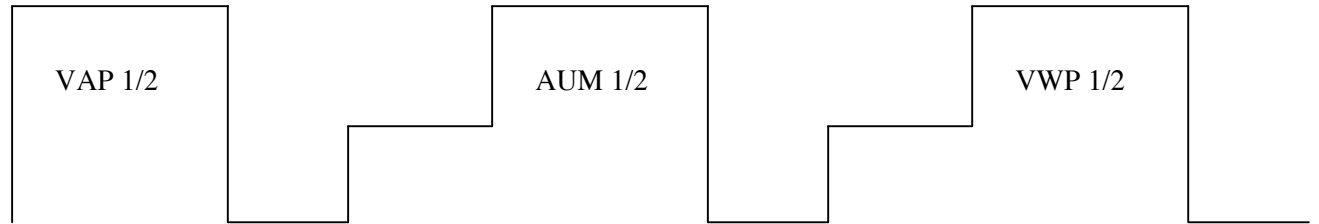
Proband	Mentale Paritätsentscheidung	Pause	Liest Instruktion für AUM	Mentaler Größenvergleich mit der Zahl „5“	Pause	Liest Instruktion für VAP	Mentale Paritätsentscheidung	Pause	Liest Instruktion für VAM	Mentaler Größenvergleich mit der Zahl „5“
Visueller Stimulus	Geschriebene deutsche Zahlwörter	kein	Instruktion für AUM	Visueller Kontrollstimulus „#“	kein	Instruktion für VAP	Arabische Zahlen	kein	Instruktion für VAM	Arabische Zahlen
Auditiver Stimulus	Auditiver Kontrollstimulus	kein	kein	Gesprochene deutsche Zahlwörter	kein	kein	Auditiver Kontrollstimulus	kein	kein	Auditiver Kontrollstimulus



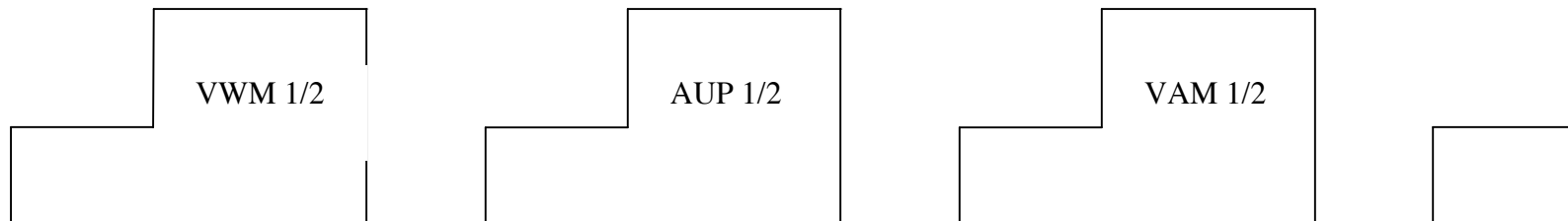
Proband	Pause	Liest Instruktion für AUP	Mentale Paritätsentscheidung	Pause	Liest Instruktion für VWM	Mentaler Größenvergleich mit der Zahl „5“	Pause	Ende	Umbau
Visueller Stimulus	kein	Instruktion für AUP	Visueller Kontrollstimulus „#“	kein	Instruktion für VWM	Geschriebene deutsche Zahlwörter	kein	Ende des ersten Durchgangs	Windows Bildschirm
Auditiver Stimulus	kein	kein	Gesprochene deutsche Zahlwörter	kein	kein	Auditiver Kontrollstimulus	kein	kein	Kein

Tabelle 1: Versuchsablauf 1. Durchgang

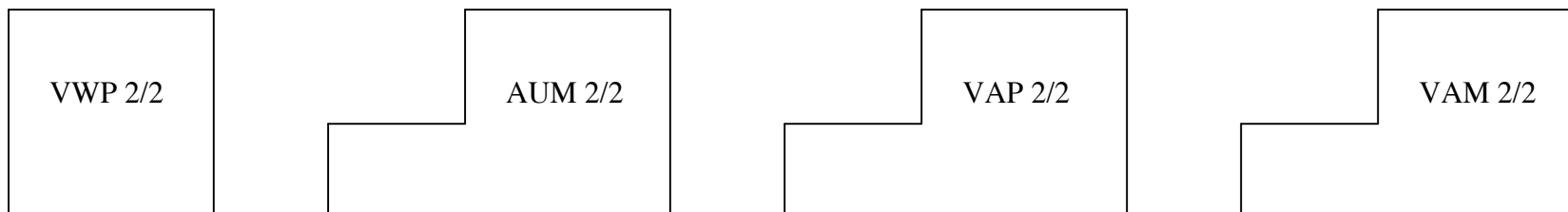
Zweiter Durchgang:



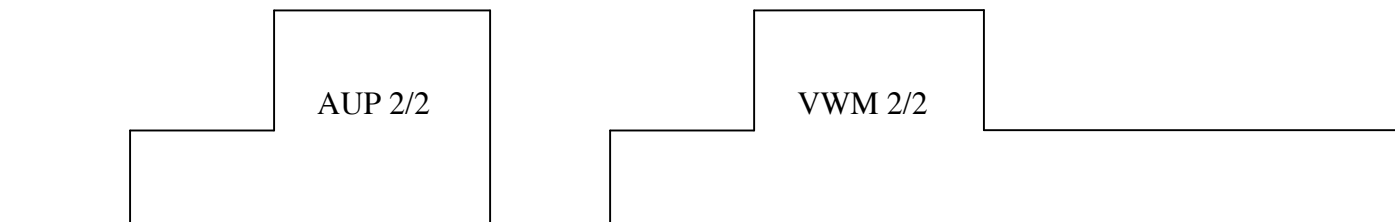
Proband	Liest Instruktion für Antworttasten	Training mit Antworttasten	Liest Instruktion für VAP	Paritätsentscheidung mit Antworttasten	Pause	Liest Instruktion für AUM	Größenvergleich mit Antworttasten	Pause	Liest Instruktion für VWP	Paritätsentscheidung mit Antworttasten	Pause
Visueller Stimulus	Instruktion für Antworttasten	Verschiedene	Instruktion für VAP	Arabische Zahlen	kein	Instruktion für AUM	Visueller Kontrollstimulus „#“	kein	Instruktion für VWP	Geschriebene deutsche Zahlwörter	kein
Auditiver Stimulus	kein	Verschiedene	kein	Kontrollstimulus	kein	kein	Gesprochene deutsche Zahlwörter	kein	kein	Kontrollstimulus	kein



Proband	Liest Instruktion für VWM	Größenvergleich mit Antworttasten	Pause	Liest Instruktion für AUP	Paritätsentscheidung mit Antworttasten	Pause	Liest Instruktion für VAM	Größenvergleich mit Antworttasten	Pause	Liest Instruktion für VWP
Visueller Stimulus	Instruktion für VWM	Geschriebene deutsche Zahlwörter	kein	Instruktion für AUP	Visueller Kontrollstimulus „#“	kein	Instruktion für VAM	Arabische Zahlen	kein	Instruktion für VWP
Auditiver Stimulus	kein	Kontrollstimulus	kein	kein	Gesprochene deutsche Zahlwörter	kein	kein	Kontrollstimulus	kein	kein



Proband	Paritätsentscheidung mit Antworttasten	Pause	Liest Instruktion für AUM	Größenvergleich mit Antworttasten	Pause	Liest Instruktion für VAP	Paritätsentscheidung mit Antworttasten	Pause	Liest Instruktion für VAM	Größenvergleich mit Antworttasten
Visueller Stimulus	Geschriebene deutsche Zahlwörter	kein	Instruktion für AUM	Visueller Kontrollstimulus „#“	kein	Instruktion für VAP	Arabische Zahlen	kein	Instruktion für VAM	Arabische Zahlen
Auditiver Stimulus	Kontrollstimulus	kein	kein	Gesprochene deutsche Zahlwörter	kein	kein	Kontrollstimulus	kein	kein	Kontrollstimulus



Proband	Pause	Liest Instruktion für AUP	Paritätsentscheidung mit Antworttasten	Pause	Liest Instruktion für VWM	Größenvergleich mit Antworttasten	Ende	Abbau
Visueller Stimulus	kein	Instruktion für AUP	Visueller Kontrollstimulus „#“	kein	Instruktion für VWM	Geschriebene deutsche Zahlwörter	Das war der letzte Durchgang. Vielen Dank	Windows Bildschirm
Auditiver Stimulus	kein	kein	Gesprochene deutsche Zahlwörter	kein	kein	Kontrollstimulus	kein	Kein

Tabelle 2: Versuchsablauf 2. Durchgang

4.3. Versuchsdurchführung

Kurz bevor die Probanden den MRT-Messraum betraten, wurde kontrolliert, dass sie keinerlei metallische Gegenstände an oder in Form von künstlichen Implantaten in sich trugen. Weiter wurden sie angewiesen, während des Experimentes eine für sie bequeme Haltung einzunehmen, diese nicht zu verändern und die Augen nach Möglichkeit offen zu halten.

Nachdem sich die Probanden in das Messgerät gelegt hatten, wurde der Kopf in einer Kopfspule mit Schaumstoffkeilen immobilisiert. Ein an der Stirn platziertes Klebeband, dass mit der Kopfspule verbunden wurde, sollte die Probanden auf eventuelle unbewusste Bewegungen aufmerksam machen.

Die Stimuluspresentation wurde mit dem Programm Superlab Pro in der Version 2.0 programmiert und auf einem AMD Athlon 1800+ Computer mit einer Matrox G559 Grafikkarte ausgeführt. An diesem System wurde einerseits eine magnetisch abgeschirmte Presentationsbrille, VisuaStim XG High Resolution, angeschlossen, die den Probanden nach manueller Visuskorrektur mittels einsetzbarer Linsen aufgesetzt wurde. Andererseits konnte über eine parallele Monitorverbindung die Presentation im Kontrollraum verfolgt werden.

Bei einer gewählten Schriftgröße von 250 in Arial Black entstand auf der Presentationsbrille für die Arabischen Zahlen sowie für das Fixationszeichen „#“ während der auditiven Stimulation eine Objekthöhe von $3,1^\circ$ sowie eine Breite von $2,7^\circ$ Sehwinkel. Für die geschriebenen Zahlwörter musste die Fontgröße auf 120 reduziert werden, so dass die Stimuli eine Höhe von $1,4^\circ$ sowie eine Breite von $7,0^\circ$ des Gesichtsfelds einnahmen.

Zur Darbietung der auditiven Stimuli benutzten wir eine SoundBlaster Live! Soundkarte in Verbindung mit einem MR-kompatiblen Commander XG Audiosystem Kopfhörer.

Als Antworttasten verwendeten wir optische Taster, die in der Wissenschaftlichen Werkstatt der Medizinischen Fakultät der RWTH Aachen angefertigt wurden.

Die Synchronisierung der Messung mit der Versuchspresentation geschah mittels Triggersignal zu Beginn eines jeden Blocks.

Alle Messungen wurden auf einem 1.5 T Philips Gyroscan NT (Philips Medical Systems, Best, The Netherlands) mit der Möglichkeit zum „echo planar imaging“ (EPI-scans) unter

Betreuung durch die Abteilung für Neuroradiologie an der Medizinischen Fakultät der RWTH Aachen durchgeführt. Die Datenauswertung erfolgte in der zentralen Bildverarbeitungseinrichtung im Interdisziplinären Zentrum für Klinische Forschung IZKF-BIOMAT der RWTH Aachen.

Nach einer Übersichtsaufnahme in drei Ebenen (survey scan) erfolgte eine Ausrichtung an der Verbindung der anterioren und posterioren Kommissur (AC-PC Linie), mit deren Hilfe die folgenden Aufnahmen orientiert wurden. Anschließend wurde für die ersten zehn Probanden eine T1 gewichtete 2D-rekonstruierte, anatomische Aufnahme angefertigt. Bei den letzten sechs Versuchsteilnehmern wurde eine 3D-rekonstruierte, anatomische Aufnahme gewählt.

Für die funktionellen Aufnahmen benutzten wir eine Messsequenz mit folgenden Parametern:

Bildkontrast: Sequenz: Fast-Field-Echo (FFE), Echo-Planar-Imaging (EPI)

Repetitionenzeit (TR): 3000 ms

Echozeit (TE): 50 ms

Flipwinkel: 90°

Bildqualität: Field of View (FOV): 19,2 cm

Matrixscan: 64 x 64

Schichtorientierung: transversal

Schichtdicke: 4 mm

Schichtanzahl: 30

Schichtüberlappung: keine

Bilder pro Block: 21

Bilder pro Durchgang: 252

4.4. Datenanalyse

Grundlage der fMRT-Daten ist das auf einer Änderung der Blutoxygenierung beruhende BOLD-Signal (engl. blood oxygenation level dependent signal). Hierbei sind die verschiedenen magnetischen Eigenschaften oxygenierten und desoxygenierten Hämoglobins entscheidend. Bei verstärktem regionalem Blutfluss sinkt der Anteil desoxygenierten Hämoglobins ab. Dies bewirkt eine Abnahme an Spindephasierungen und somit einen Anstieg der Signalintensität (De Yoe, 1994).

Als Ergebnis unserer fMRT-Untersuchung erhielten wir eine Folge von EPI-Bildern des Gehirns, bestehend aus 21 x 30 Transversalschnitten pro Block. Diese geben eine räumliche Matrix der BOLD-Signale innerhalb eines Zeitintervalls wieder. Ziel unserer Auswertung ist es nun, die Areale aufzudecken, deren zeitlicher Signalverlauf mit den verschiedenen Versuchsbedingungen korreliert.

Zur weiteren Verarbeitung diente das Programm SPM2 (Statistical Parametric Mapping, Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk>). Die Vorverarbeitung geschah zunächst für jeden Probanden einzeln um sicherzugehen, dass die Bilddaten sinnvoll weiter verwertbar waren, bevor wir anschließend eine durch ein Skript (ezSPM) automatisierte erneute Berechnung der Rohdaten durchführten. Die verwendeten Bearbeitungs- und Auswertungsschritte möchte ich im Folgenden kurz vorstellen.

Reorientierung: Hier wurden die Bilder nach der neurologischen Konvention mit der rechten Hirnhälfte auf die rechte Bildseite gespiegelt.

Realignment: Im Verlauf einer Untersuchung von zweimal 15-min kommt es auch bei sehr ruhigen Probanden unweigerlich zu geringfügigen Bewegungen in den drei Raumrichtungen (Translation) oder zu Drehungen um die entsprechenden Achsen (Rotation). Das Realignment ermöglicht es nun, alle Bilder eines Scans auf ein Referenzbild, z. B. das erste der jeweiligen Zeitreihe, auszurichten. Somit werden alle Bildpunkte aller Scanfolgen um die Translation und Rotation in Bezug zum ersten Scan korrigiert. Auf diese Weise wird erreicht, dass eine anatomische Struktur des Gehirnes auf allen Scans eines Experimentes möglichst am gleichen Bildpunkt auftaucht. Korrekturen von bis zu einer Voxelgröße an Translation, in unserem Experiment 4 mm, sowie 2-3 Grad Rotation können toleriert werden. Alle Probanden lagen unterhalb dieser Grenze.

Normalisierung: Bei dem Vergleich verschiedener Probanden miteinander ist die interindividuelle anatomische Variabilität der Gehirne untereinander zu beachten. Um diesem Problem zu begegnen, wurden die anatomischen Schnittbilder an ein sog. Standardgehirn angepasst. Dies geschieht in der Art und Weise, dass die Scanbilder der einzelnen Probanden mit Hilfe zum Teil nichtlinearer Verfahren (Ashburner, Neelin, Collins, Evans & Friston, 1997) so lange verzerrt werden, bis eine optimale Übereinstimmung mit dem Standardhirn erreicht ist. Diese „Verzerrung“ ermöglicht es somit, das gesamte Gehirn eines Probanden auf

die anatomische Form eines standardisierten Gehirns abzubilden, wobei individuelle lokale Unterschiede der Anatomie erhalten bleiben.

In unserer Studie wählten wir eine Voxelgröße von 4mm x 4mm x 4mm als kleinste zu berücksichtigende Hirnstruktur und das so genannte EPI-Template (MNI-Standardhirn) für die Transformation.

Glättung (Smoothing): Die aufgenommenen Signalintensitäten in den einzelnen Voxeln unterliegen einem statistischem Rauschen, wodurch das eigentliche Signal überlagert werden kann. Durch eine räumliche Glättung mit einer Gauß-Funktion sowie eine spezielle Filterung kann das Signal-Rausch Verhältnis verbessert werden. In dieser Studie wählten wir 1/128 Hz für den High Pass Filter sowie den Autoregressions- filter 1 für den Low Pass Filter. Auf diese Art und Weise werden jedoch auch interindividuelle anatomische Unterschiede zwischen verschiedenen Probanden verwischt, weshalb der Smoothing-Faktor nicht zu hoch gewählt werden sollte. Weiter können durch die Glättung auch Aktivierungen im „leeren Raum“, außerhalb des Standardgehirns auftreten, da nach der Gauß'schen Verteilung bei zwei benachbarten jedoch anatomisch streng getrennten Aktivierungen (z. B. im Bereich der Mantelkante beidseits) in der Mittelung ein neues Aktivierungsmaximum in der räumlichen Mitte (z. B. im Interhemisphärenspalt) entstehen kann. Außerdem ist zu erwähnen, dass die Daten bei der Glättung so aufbereitet werden, dass sie dem Modell der Gauß'schen Felder besser entsprechen. Für unsere Datenanalyse wählten wir einen Smoothing-Faktor von 8 mm.

4.5. Statistische Auswertung

Grundlage der statistischen Auswertung ist zunächst die Erstellung einer Design-Matrix und die damit verbundene Zuordnung der funktionellen Bilder zu den entsprechenden Versuchsbedingungen. Ferner müssen die Parameter des dem SPM2 Programm zugrunde liegenden Allgemeinen Linearen Modells spezifiziert und geschätzt werden.

Unsere Box-car Design Matrix besteht aus 24 Zeilen und 7 Spalten, wobei jede Zeile für eine bestimmte Anzahl von EPI-Scans und jede Spalte für eine Versuchsbedingung steht. Wir modellierten je 16 Scans für die jeweilige Bedingung, gefolgt von zwei nicht modellierten Scans für die Pause und drei modellierten Scans für die anschließende 9-sekündige Instruktionsphase. Auf diese Art und Weise war es möglich, statistische Berechnungen durchzuführen, ohne die von starken visuellen Reizen geprägte Instruktionsphase in die Auswertung mit einbeziehen zu müssen.

Für jedes einzelne Voxel wurden nun für jeden Probanden Kontraste zwischen den Bedingungen gebildet. Anschließend testeten wir über die Versuchspersonen hinweg in Form der sogenannten „Second Level“-Analyse, ob über die Stichprobe hinweg der mittlere Kontrastwert überzufällig größer als Null ausfällt (sog. random-effects Modell) (Frackowiak, Friston, Frith, 2003)

In unserer Auswertung konzentrierten wir uns auf die „Second Level“-Analyse und hier im Speziellen auf die Berechnung von komplexen Kontrasten, in denen jeweils zwei Aktivierungsbedingungen mit jeweiliger Subtraktion der Kontrollbedingung einander gegenübergestellt werden. Durch eine doppelte Subtraktion der Signalwerte können hierdurch signifikant erscheinende Aktivierungen entstehen, die in einfachen Kontrasten des Minuenden, d. h. der Gegenüberstellung einer Aktivierungs- mit der Kontrollbedingung, nicht entstehen.

Die gebildeten Kontraste beziehen sich mit wenigen Ausnahmen, die im Text speziell erwähnt werden, auf einen p-Wert von $p < 0,01$ pro Voxel und $k=10$ als Clustergröße in der Second Level Analyse. Die angegebenen Talairach-Koordinaten beziehen sich auf den “Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain” von Talairach und Tournoux (1988). Hierbei läuft die y-Achse durch die Commissura anterior und posterior. Senkrecht darauf verlaufen die horizontale x-Achse sowie die vertikale z-Achse. Schnittpunkt aller drei Ebenen ist hintere Begrenzung der Commissura anterior. Die Koordinatenwerte sind in mm angegeben und richten sich im positiven Bereich nach rechts, rostral und apikal, im negativen Bereich entsprechend nach links, occipital und caudal.

5. Ergebnisse

Zunächst werde ich in diesem Kapitel auf die Fragebögen eingehen, die die Probanden am Ende des Versuches ausfüllten. Im Anschluss daran werde ich die fMRT-Daten beschreiben. Die Analysen zum Vergleich verschiedener Aktivierungsbedingungen werden graphisch und in Form von Tabellen mit Talairach-Koordinaten einschließlich der inferenzstatistischen Informationen dargestellt.

5.1. Fragebögen

Ziel der Fragebögen, die die Probanden am Ende des Versuches ausfüllten, war es, eventuelle Strategien zu entdecken, die von den Teilnehmern zur Entscheidungsfindung und -bestätigung benutzt wurden. Insbesondere interessierte hierbei, ob die Probanden auf diese Weise in Subgruppen unterteilt werden konnten, um spezifische Strategieeffekte zu untersuchen. Die Probanden konnten zunächst offen antworten, bevor ihnen auf einer zweiten Seite verschiedene Strategien zur Auswahl angeboten wurden.

Darüber hinaus versicherten wir uns, dass die Teilnehmer zu jedem Zeitpunkt wussten, welche Aufgabenstellung gefragt war, und ob sie bei jedem Ereignis eine Entscheidung getroffen hatten. Weiter hatten die Probanden die Möglichkeit, Verbesserungsvorschläge zu machen und persönliche Kommentare abzugeben. Die verwendeten Fragebögen zum Experiment sind im Anhang unter Gliederungspunkt 9.2. zu finden. Die wesentlichen Aussagen in den Fragebögen sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Es zeigte sich, dass im ersten Durchgang alle Probanden ihre Entscheidung innerlich vorgesprochen haben. Ein Teilnehmer (Kennung 329) wählte zusätzlich die Strategie einer bildlichen Entscheidung, wobei diese jedoch nicht näher beschrieben wurde. Von den 16 Probanden waren sich nur sieben bewusst, dass die interne Verbalisierung, die sie nutzten, eine Strategie zur Bestätigung ihrer Entscheidung war. Die übrigen gaben erst an, diese Methode eingesetzt zu haben, als sie auf dem zweiten Fragebogen direkt danach gefragt wurden.

Im zweiten Durchgang gaben sechs Teilnehmer an, nur motorisch entschieden zu haben, während die anderen erneut intern verbalisierten und zwei Personen zusätzlich eine bildliche Strategie wählten. Hierbei ist die Methode eines Probanden (Kennung 14) zu erwähnen, der

sich die präsentierten Stimuli auf einer Zahlenreihe von links nach rechts vorstellte, um die Entscheidungen zu treffen.

Nur drei Probanden gaben an, während des Versuches gedanklich abgelenkt gewesen zu sein und nicht zu jedem Zeitpunkt, über die gefragte Aufgabenstellung im Klaren gewesen zu sein und somit auch nicht jede Entscheidung bewusst getroffen zu haben.

Bezüglich der Beurteilung der Schwierigkeit der verschiedenen Bedingungen waren sich die Probanden nicht einig. Trotzdem lässt sich eine deutliche Tendenz dahingehend erkennen, dass die Bedingungen mit auditiven Stimuli am schwierigsten und die mit arabischen Zahlen am leichtesten zu bearbeiten waren. Hinsichtlich der Aufgabenstellungen fanden sich keine Unterschiede. Immerhin sechs der 16 Probanden gaben an, alle Blöcke gleich schwer/leicht gefunden zu haben. Ein Teilnehmer (Kennung 380) erklärte, er habe jeweils den ersten Block einer jeden Bedingung als schwieriger empfunden.

Aufschlussreich waren weiter einige Kommentare der Versuchsteilnehmer. So klagten vier Probanden, dass sie zum Ende des ersten Durchgangs sehr müde geworden seien. Die Versuchsdurchführung mit den Antworttasten und der Herausforderung, so schnell wie möglich zu entscheiden, hätte auf der anderen Seite motivierend gewirkt. Die Tasten und deren Haltung und Handhabung wurden wiederholt als verbesserungswürdig dargestellt. So haben es zwei der 16 Probanden als anstrengend empfunden, die Reaktionstasten zu bedienen. Weiter werden die Presentationsbrille, die Kopfaufklappe und der Kopfhörer als unbequem beschrieben. Letztlich klagten drei Teilnehmer über den auditiven Kontrollstimulus während der visuellen Stimuli, den sie als „nervend“ und störend wahrgenommen haben.

Zusammenfassung:

Von den meisten Probanden wurde die interne Verbalisierung als Strategie gewählt. Als Alternative wurde nur über eine zusätzliche bildliche Strategie berichtet, die allerdings nur von einem Probanden detailliert als von links nach rechts führende Zahlenreihe beschrieben wird. Eine Subgruppenanalyse war in dieser Konstellation nicht möglich.

Die Schwierigkeitseinschätzung der verschiedenen Bedingungen lässt keine absolute Reihenfolge zu. Allerdings lässt sich eine deutliche Tendenz dahingehend erkennen, dass die Bedingungen der gesprochenen Zahlen aufgabenunabhängig als am schwersten zu lösen galten, während die der Arabischen Zahlen am wenigsten Probleme bereiteten.

Für die Interpretation der Datenanalyse könnte von Bedeutung sein, dass vier Probanden eine zunehmende Müdigkeit während der Durchgänge bemerkten. Diese sei im ersten Durchgang besonders ausgeprägt gewesen, während der Beginn des zweiten Durchgangs motiviert hätte. Eventuell ist hier daran zu denken, dass die Blöcke VAP, AUM und VWP jeweils vor den Blöcken VWM, AUP und VAM in der Abfolge des Versuches lagen. Somit könnte die durch die Müdigkeit bedingte niedrigere Aufmerksamkeit und Konzentration einen Einfluss auf die Aktivierungsstärke haben.

Auch die Bewertung der Antworttasten lässt Rückschlüsse für die Interpretation der fMRT Ergebnisse zu. Denn unergonomische Handhabung und Haltung der Tasten könnten zu erhöhtem Muskeleinsatz, gedanklicher Ablenkung sowie gezielter Konzentration und Aufmerksamkeit auf diese Umstände führen.

Einigen Probanden fiel der bei den visuellen Stimuli eingesetzte auditive Kontrollstimulus als störend auf. Weiter wurde der auditive Kontrollstimulus als das Wort “inert” identifiziert, welches dem tatsächlichen Klang sehr nahe kommt. Dies ist ein Hinweis dafür, dass der Kontrolllaut seine Rolle erfüllt hat und von den Versuchsteilnehmern sehr bewusst wahrgenommen wurde. Die primäre und sekundäre Sprachverarbeitung sollte somit ebenso wie die primären und sekundären visuellen Areale durch das Fixationskreuz aktiviert worden sein.

Proband	Strategie 1. Durchgang	Strategie 2. Durchgang	schwierige Aufgabe	leichte Aufgabe	Kommentar
1	verbal	?	AU	VA	/
315	verbal	verbal	AU	/	Tasten verbessern
316	verbal	verbal	AU/M>P	VA	zunächst aufgeregt, dann müde (v.a. 1. Durchgang)
4	verbal	verbal + bildlich	/	/	1. Durchgang "somnolent", 2. Durchgang motivierend
329	verbal + bildlich	/	AU	VA + VW	
6	verbal	verbal	VW	VA	auditiver Kontrollstimulus stört
379	verbal	verbal	/	/	Müdigkeit zum Ende des 1. Durchgangs
380	verbal	/	AU>VW	VA	Aufgaben bei erstmaliger Stellung schwieriger, gelegentlich Zweifel über Aufgabentyp, Brille und Kopfhörer unbequem
381	verbal	/	M	P	
385	verbal	verbal	P	M	auditiver Kontrollstimulus störend, Brille und Kopfaufgabe unbequem
388	verbal	verbal	VW	/	Müdigkeit während des Versuches
389	verbal	verbal	/	/	auditiver Kontrollstimulus störend
13	verbal	verbal	/	/	
14	verbal	verbal + bildlich	AU	VA	Zahlenreihe von links nach rechts vorgestellt
15	verbal	/	/	/	manchmal gedanklich woanders, über Sinn der Aufgabe nachgedacht, Tasten anstrengend zu halten, AU angenehm
16	verbal	/	/	/	Aufgabentyp manchmal unklar, Tastenhaltung ungünstig

Tabelle 3: Zusammenfassung der Antworten, die die Probanden nach Beendigung des Versuches in einem Fragebogen gaben

5.2. fMRT Ergebnisse

Die spezifischen Aktivierungen aus der Second Level Analyse sollen hier in systematischer Reihenfolge dargestellt werden. Zunächst beginne ich mit einem allgemeinen Vergleich des ersten mit dem zweiten Durchgang, um erstens generelle Unterschiede der verschiedenen Durchgänge zu erfassen und zweitens eine Kontrolle des Versuchsaufbaus und der Datenerfassung zeigen zu können.

Im Anschluss daran werden die spezifischen Effekte verschiedener Notationen und Modalitäten innerhalb der jeweiligen Aufgabenstellung untersucht, bevor ich in einem dritten Schritt aufgabenspezifische Effekte aufzeigen werde. Für diese beiden Unterpunkte beschränke mich auf die Daten des ersten Durchgangs, da ein Vergleich aller Notationen, Modalitäten und Aufgaben für beide Durchgänge getrennt den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Zuletzt werden jedoch einige gezielte Kontraste beschrieben, die spezifische Effekte für die Form der Beantwortung (mit oder ohne Tasten) der Aufgaben darstellen und somit Unterschiede innerhalb bestimmter Bedingungen zwischen den verschiedenen Durchgängen erkennbar machen sollen. Am Ende jedes Schrittes werde ich eine Zusammenfassung der jeweiligen Ergebnisse sowie eine kurze Interpretation der Effekte darlegen.

Zur Erleichterung des Überblicks werde ich die wichtigen Aktivierungen aus den einzelnen Kontrasten zwischen Bedingungen, die in der anschließenden Diskussion verwendet werden, zu Beginn der jeweiligen Ergebnisbeschreibung erwähnen. Desweiteren möchte ich vorwegnehmen, dass Aktivierungen außerhalb des Neo- und Mesokortex nicht beschrieben werden.

Die kompletten SPM2-Ausdrucke der Second Level Analyse aller gerechneten Kontraste mit Angaben der Nebenmaxima werden inklusive der Talairach-Koordinaten sowie der Darstellung in 3D-Glashirnen in der hier beschriebenen Reihenfolge im Anhang unter dem Gliederungspunkt 9.4. dargestellt.

5.2.1. Einflüsse von Notation, Modalität und Aufgabenstellung

Der zweite Durchgang unseres Experimentes unterschied sich vom ersten Durchgang nur in der motorischen Entscheidungsbekräftigung mittels zweier Antworttasten, die zu Beginn des zweiten Durchgangs in die Hände der Versuchsteilnehmer ausgegeben wurden. In der

Paritätsentscheidung sollten gerade Zahlen mit rechts und ungerade Zahlen mit links beantwortet werden, während in der Größenvergleichsaufgabe die Zahlen 6 bis 9 mit rechts und die Zahlen 1 bis 4 mit links beantwortet werden sollte. Somit können wir im Vergleich der beiden Durchgänge die Effekte darstellen, die aufgaben-, notations- und modalitätsübergreifend durch die verschiedene Art der Entscheidungsbestätigung entstehen.

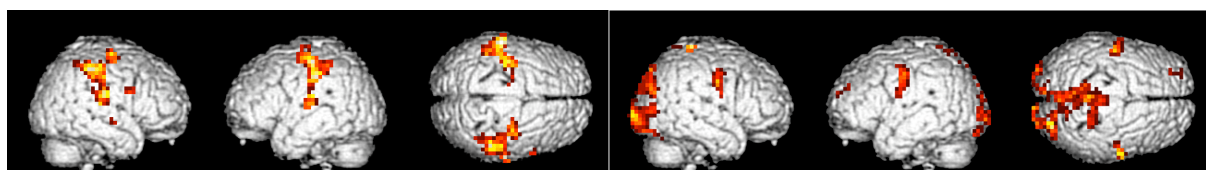
Zweiter Durchgang versus erster Durchgang

Es zeigt sich ein großes Aktivierungs-Cluster im Bereich des Gyrus prä- und postcentralis beidseits (Brodmann-Areal BA4, BA1, BA2). Die präcentralen Aktivierungen haben ihre Maxima auf Höhe der Talairach-Koordinaten $z=56$ bis $z=59$ mm. Bilateral erstrecken sich die Aktivierungen nach caudal bis in den anterioren Bereich des Lobulus parietalis inferior (BA 40). Rechtsseitig findet sich außerdem eine kleine Aktivierung im Gyrus frontalis inferior (BA 44/45).

Erster Durchgang versus zweiter Durchgang

In diesem Kontrast zeigt sich eine rechtsbetonte bilaterale Aktivierung der Occipitalpole, inklusive des Sulcus calcarinus, des Gyrus occipitalis medius und inferior sowie des Gyrus lingualis (BA 17/18/19). Weiter finden wir bilaterale präcentrale Aktivierungen (BA 4), die im Vergleich zu denen des vorherigen Kontrastes etwas tiefer im Bereich der Talairach-Koordinaten $z=41$ mm liegen. Das Cingulum ist im rostralen Anteil beidseits, im caudalen Anteil nur linksseitig aktiviert. Außerdem zeigt sich eine Aktivierung im linksseitigen dorsolateralen präfrontalen Kortex (BA 9) sowie im Brodmann-Areal 10 des Gyrus frontalis superior. Ferner gibt es einen großen Aktivierungs-Cluster im Bereich des Precuneus beidseits (BA 7).

Abbildung 1: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Vergleich beider Durchgänge (SPM2, Second Level Analyse, $p<0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)



Zweiter Durchgang versus erster
Durchgang

Erster Durchgang versus zweiter
Durchgang

Zusammenfassend zeigen sich im ersten Durchgang Aktivierungen des anterioren Cingulums, des linkshemisphärischen dorsolateralen präfrontalen Kortex sowie dem Brodmann-Areal 10 im Gyrus frontalis medius links. Eine Erklärung könnte darin liegen, dass sich die Probanden im ersten Durchgang aufgrund einer fehlenden motorischen Bestätigungsmöglichkeit ihrer Antworten stärker auf die Stimuli, die Aufgabe und ihre mentale Entscheidung konzentriert haben. Alternativ ist auch ein Gewöhnungseffekt denkbar, sodass bestimmte Areale des ersten Durchgangs innerhalb des zweiten Durchgangs schwächer aktiviert werden und somit in der Kontrastierung des ersten Durchgangs übrig bleiben. Die linkshemisphärische Dominanz der frontalen Aktivierungen könnte durch eine Inhibierung eventueller Verbalisierungs- oder motorischer Beantwortungsversuche erklärt werden.

Die auf die Motorik zurückzuführenden Aktivierungen liegen beidseits im Bereich des somatosensorischen Kortex, sowohl des pre- als auch postcentralen Gyrus und erstrecken sich auf beiden Seiten nach caudal bis zum Lobulus parietalis inferior. Nach der somatotopischen Gliederung der primär somatomotorisch und primär somatosensiblen Rinde sind diese Areale dem distalen Teil der oberen Extremität zuzuordnen. Da die verwendeten Tasten sowohl mit dem Daumen, den Fingern und je nach Kraftaufwand und Motivation auch mit dem ganzen Unterarm betätigt werden konnten, ist eine großflächige Aktivierung im Bereich des precentralen Gyrus durchaus nachzuvollziehen. Die starken postcentralen Aktivierungen erklären sich dadurch, dass die Probanden die Taster in den Händen nicht sehen konnten und somit deren korrekte Lage, Einsatzfähigkeit und Funktion permanent mit den Händen ertasten mussten.

Auch im ersten Durchgang finden sich primär somatomotorische Kortexaktivierungen. Diese liegen jedoch etwa 15 mm tiefer als im zweiten Durchgang und grenzen mit ihren caudalen Ausläufern an das Broca-Areal im Gyrus frontalis inferior. Hier befinden sich die primär motorischen Areale der Zunge und des Kehlkopfes, die auch beim internen Verbalisieren aktiviert sein können.

Der Precuneus ist im ersten Durchgang beidseits stärker aktiviert als im zweiten. Dies könnte für eine stärkere Aktivierung des Arbeitsgedächtnisses sprechen, da durch die fehlende motorische Entscheidung ein verstärktes Generieren und Halten der Antwort provoziert werden könnte.

Einflüsse der motorischen Entscheidungsbekräftigung													
Zweiter Durchgang versus erster Durchgang													
	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur		Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		-36,-13,56	6.38	207	4	GPrC			55,-18,23	5.60		2	GPoC
		-55,-25,38	5.11		2	GPoC			51,-21,42	4.42		1	GPoC
		-48,-25,53	4.07		1	GPoC			28,-9,59	4.28		4	GPrC
									59,13,21	4.48	11	44/45	GFi
Parietal		-48,-36,50	4.13		40	LPi			55,-33,46	5.76	220	40	LPi
Erster Durchgang versus zweiter Durchgang													
	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur		Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		-48,-13,41	6.14	83	4	GPrC			59,-2,41	5.56	48	4	GPrC
		-8,-10,41	5.56	86	24	GC			12,-10,34	2.69		24	GC
		-24,59,19	3.54	10	9/10	GFs							
Occipit		-32,-97,1	4.93	58	18	GO			24,-97,-5	7.13	237	17	Sca
		-4,-51,69	6.39	402	7	PCu							
		-12,-29,35	3.67	12	23	GC							

Tabelle 4: Talairach-Koordinaten und t-Werte der Clustermaxima sowie einiger Nebenmaxima der funktionellen Aktivierungen der Vergleiche der zwei Durchgänge (mit und ohne Antworttasten), (SPM2, Second Level Analyse, $p < 0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)

Notationsspezifische Effekte in der Größenvergleichsaufgabe

Zur Untersuchung der notations- und modalitätsspezifischen Effekte werde ich mich wie oben erwähnt auf die Analyse der Kontraste des ersten Durchgangs beschränken.

- **Arabische Zahlen versus visuelle Zahlwörter**

Beim Vergleich der arabischen Zahlen mit den geschriebenen Zahlwörtern präsentiert sich in der Größenvergleichsaufgabe ein recht distribuiertes Aktivierungsmuster mit vielen Clustern unterschiedlicher Größe. Hier sind bilateral der Gyrus parietalis inferior (BA 40) aktiviert, wobei der intraparietale Sulcus nur oberflächlich im Bereich der Kante zur lateralen Kortexoberfläche involviert ist. Ebenfalls bilateral sind der mittlere Frontallappen (BA 8/10), das posteriore Cingulum (BA 23) sowie der Gyrus lingualis (BA 18) aktiviert. Der Temporallappen tritt nur rechtshemisphärisch im mittleren und oberen Gyrus (BA 21/22/37) in Erscheinung. Weiter finden sich Aktivierungen im Bereich des rechten Lobulus parietalis superior (BA 7), des rechten Gyrus frontalis inferior und superior (BA 44/6), des rechten vorderen Cingulums (BA24), des linken Gyrus precentralis (BA 4) sowie des linken Brodmann-Areals 9 im Gyrus frontalis medius.

- **Visuelle Zahlwörter versus arabische Zahlen**

In dem Vergleich geschriebener Zahlwörter mit arabischen Zahlen finden sich in der Größenvergleichsaufgabe bilaterale Aktivierungen des Occipitalpols (BA 17/18/19). Eine Linkslateralisierung findet sich allerdings nur angedeutet, ohne dass der occipito-temporale Übergang erreicht wird. Precentrale, parietale oder temporale Aktivierungen zeigen sich nicht.

Notationsspezifische Effekte												
Größenvergleich												
Arabische Zahlen versus geschriebene Zahlwörter												
	Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		32,33,48	5.94	32	8	GFm		-20,29,33	5.63	12	8	GFm
		48,13,18	5.77	30	44	GFi						
		16,10,5	5.01	35	6	GFs						
								-40,25,24	4.18	15	9	GFm
								-32,-13,6	0.1	21	4	GPrC
		28,51,1	3.47	13	10	GFm		-24,50,-3	3.69	19	10	GFm
		0,-2,37	3.25	10	24	GC		0,-2,37	3.25	10	24	GC
Tempora		55,-42,97	0.9	123	22	GTs						
		51,-62,04	0.90		37	GTm						
		59,-8,-1	4.70	13	21	GTm						
Parietal		0,-49,32	6.15	153	23	GC		0,-49,32	6.15	153	23	GC
		44,-44,50	0.00	53	40	LPI		-55,-41,4	3.8	33	40	LPI
		20,-59,63	6.83	23	7	LPs						
Occipital		4,-78,4	4.21	28	18	GL		-8,-74,43	4.49		18	GL
Geschriebene Zahlwörter versus arabische Zahlen												
	Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Occipital		20,-94,15	6.4	201	17	Sca		-16,-93,82	5	276	17	Sca
Paritätsaufgabe												
Arabische Zahlen versus geschriebene Zahlwörter												
	Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		12,-16,66	3.97	638	6	GFs						
		20,-20,65	5.8		4	GPrC		-48,-6,26	0.6	105	4	GPrC
								-24,-28,53	4	76	3	GPoC
Tempora		51,-66,16	0.97	196	39	GTm		-55,-65,29	1		39	GTm
		44,-1,-1	5.63	114	20	GTi		-59,-13,52	63	88	20	GTi
		44,7,-1	7.98		20	GTm						
		55,-5,-23	9.6		21	GTi		-63,-39,40	7	29	21	GTm
		51,-66,37	6.4		37	GTi		-59,-47,38	4		37	GTi
		32,-43,23	5.4		37	GF						
Parietal		48,-52,48	5.0	18	40	LPI		-51,-60,36	7	89	39	LPI
								-16,-55,62	6	11	7	LPs
Occipital		12,-88,17	0.1	381	18	Cu						
		16,-66,05	5.31		18	GL		-8,-66,35	86		18	GL
Geschriebene Zahlwörter versus arabische Zahlen												
	Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomisch e Struktur	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomisch e Struktur
Occipital		28,-93,5	7.36	310	18	GO		-24,-93,27	8.9	162	17	Sca
								-32,-79,-1	6.50		19	GF
								-40,-55,-1	3.93		37	GF

Tabelle 5: Talairach-Koordinaten und t-Werte der Clustermaxima sowie einiger Nebenmaxima der funktionellen Aktivierungen in den notationsspezifischen Kontraste (SPM2, Second Level Analyse, $p < 0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)

Modalitätsspezifische Effekte in der Größenvergleichsaufgabe

- **Arabische Zahlen versus auditive Zahlwörter**

Es zeigen sich starke Aktivierungen der unteren occipito-temporalen Übergänge des Gyrus temporalis inferior und des Gyrus fusiformis (BA 19/37) beidseits. Im visuellen Vergleich mit dem Kontrast der gleichen Bedingungen in der Paritätsaufgabe scheinen die Areale bilateral ähnlich stark aktiviert. Rechtshemisphärisch findet sich ein weiterer großer Cluster mit 138 Voxeln, der sein Maximum im Lobulus parietalis superior (BA 7) hat und sich bis zum Gyrus precentralis des Frontallappens (BA 4) erstreckt. In zwei separaten Clustern sind auf der linken Seite Teile des Lobulus parietalis superior (BA 7) sowie des Gyrus precentralis ebenfalls aktiviert. Außerdem zeigen sich Aktivierungen im posterioren Cingulum linksbetont (BA 31), im Gyrus frontalis medius beidseits (BA 6) sowie ein kleiner Cluster im Bereich des posterior-lateralen intraparietalen Sulcus beidseits.

- **Visuelle Zahlwörter versus auditive Zahlwörter**

Hier finden wir in beiden Hemisphären eine starke Aktivierung im Bereich der Occipitalpole, Gyrus occipitalis und Gyrus fusiformis (BA 18), wobei der linkshemisphärische mit 524 Voxeln stärker ausgeprägt ist als der rechtshemisphärische mit 352 Voxeln. Beide Cluster zeigen eine Lateralisierung zum unteren occipito-temporalen Übergang (BA 19/37). Außerdem sind Teile des linken Gyrus frontalis inferior (BA 45) aktiviert. Parietale und temporale Aktivierungen zeigen sich nicht.

- **Auditive Zahlwörter versus arabische Zahlen**

Im Vergleich des Kontrastes der arabischen Zahlen mit den gesprochenen Zahlen finden sich hier bei gleichem Schwellenwert und gleicher Clustergröße deutlich weniger Aktivierungen. Der größte Cluster befindet sich im Bereich der rechten Insel und erreicht cranio-lateral den Gyrus frontalis inferior im Bereich des Brodmann-Areals 47. Weiter finden wir bilaterale Aktivierungen im Gyrus temporalis superior (BA 22) sowie im linken Lobulus parietalis inferior (BA 40). Senken wir die Schwelle auf $p < 0,05$ pro Voxel bei einem Clusterkriterium von 10 Voxeln zeigt sich auch eine Aktivierung von 99 Voxeln im Bereich der linkshemisphärischen Insel, die sowohl Teile des BA 9 als auch des BA 46 des Gyrus frontalis medius einschließt. Neben einem Cluster im Lobulus parietalis inferior (BA 40)

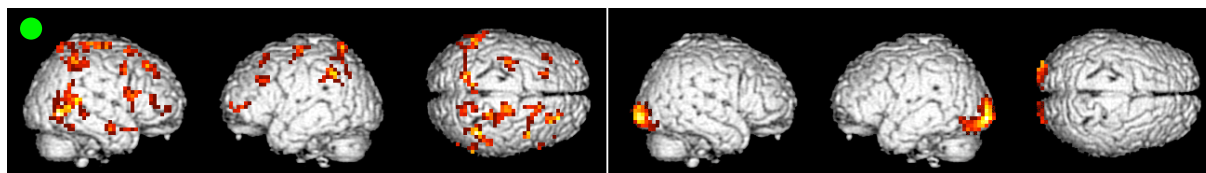
rechts treten nun auch Aktivierungen im Gyrus frontalis inferior und medius rechts (BA 44/6/9) sowie im Sulcus calcarinus beidseits (BA 17) zu Tage.

- **Auditive Zahlwörter versus visuelle Zahlwörter**

Dieser Kontrast wird durch einen großen Cluster im Lobulus parietalis inferior beidseits, der sich auf rechts bis zum Gyrus temporalis superior, links sogar bis zum Gyrus temporalis medius ausbreitet und dabei die Brodmann-Areale 40 und 22 beidseits sowie linksseitig 21 aktiviert. Auffallend sind außerdem Aktivierungen im dorsolateralen präfrontalen Kortex (BA 9) sowie im Gyrus frontalis medius und inferior (BA 46/44) beidseits. Das anteriore Cingulum (BA 24) ist rechtsbetont aktiviert und erreicht nach dorsal auch das Brodmann-Areal 32 sowie den medialen Anteil des Gyrus frontalis superior (BA 8). Linkshemisphärisch ist außerdem eine Aktivierung im Bereich des Übergangs vom Gyrus occipitalis medius zum Gyrus temporalis medius (BA 21/37) sowie des Gyrus lingualis (BA 18) und des Sulcus calcarinus (BA 17) zu sehen.

Abbildung 2: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Notationsspezifische Effekte in der Größenvergleichsaufgabe (SPM2, Second Level Analyse, $p < 0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)

● $p < 0,1$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$, bei niedrigerem Schwellenwert keine Aktivierungen



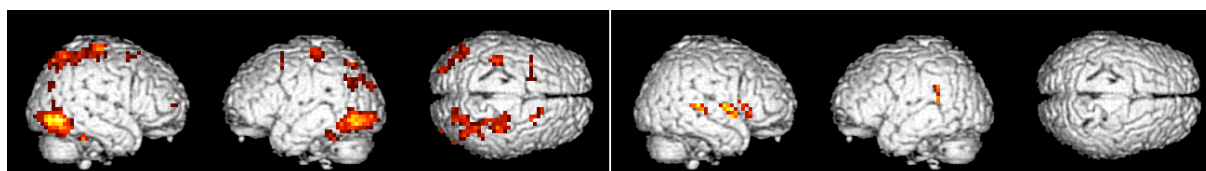
Größenvergleichsaufgabe: Arabische

Zahlen – visuelle Zahlwörter

Größenvergleichsaufgabe: Visuelle

Zahlwörter – arabische Zahlen

Abbildung 3: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Modalitätsspezifische Effekte in der Größenvergleichsaufgabe (SPM2, Second Level Analyse, $p < 0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)

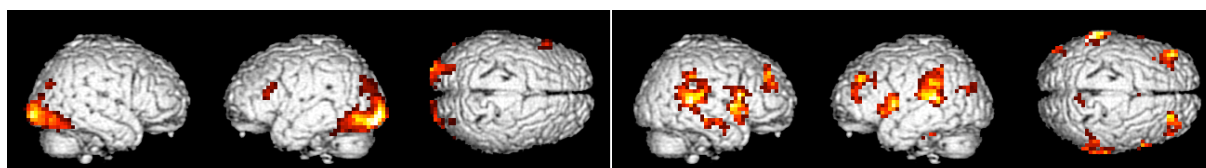


Größenvergleichsaufgabe: Arabische

Zahlen – auditive Zahlwörter

Größenvergleichsaufgabe: Auditive

Zahlwörter – arabische Zahlen



Größenvergleichsaufgabe: Visuelle

Zahlwörter – auditive Zahlwörter

Größenvergleichsaufgabe: Auditive

Zahlwörter – visuelle Zahlwörter

Abbildung 4: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Modalitätsspezifische Effekte in der Größenvergleichsaufgabe (SPM2, Second Level Analyse, $p < 0,05$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)



Größenvergleichsaufgabe: Auditive

Zahlwörter – arabische Zahlen

Modalitätsspezifische Effekte												
Größenvergleich												
Arabische Zahlen versus gesprochene Zahlen												
	Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		28,10,4	3.65	39	6	GFs		16,10,5	3.48	13	6	GFs
		28,-20,6	3.84		4	GPrC		24,60,3	3.52	25	4	GPrC
Tempora		51,-62,5	4.75	212	37	GTi		62,0,6	6.37	155	37	GTi
Parietal								45,32,6	6.15	35	31	post. GC
		44,-60,5	4.81	138	7	LPs		63,51,4	4.92	11	7	LPs
		32,-68,2	4.04	15		post.-lat. IPS		68,33,3	3.10			post.-lat. IP
Occipital		40,-59,4	4.62		7	GF		18,4,4	4.17	16	37	GF
Gesprochene Zahlen versus Arabische Zahlen												
	Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		48,19,-4	2.81		47	GFi						
		63,8,3	2.67	12	44	GFi						
								32,44,2	2.46		#	GFm
		32,48,3	2.70	11	9	GFm		44,40,2	2.75		9	GFm
		36,-2,4	2.60	12	6	GFm						
Tempora		40,4,0	8.03	53		INS		32,4,3	3.32	99		INS
		40,16,7	4.76			INS		44,16,2	2.96			INS
		51,-27,5	3.82	18	22	GTs		42,17,3	3.36		22	GTs
Parietal		51,-33,3	3.82	12	40	LPI		41,28,3	3.64	10	40	LPI
		59,-29,3	3.19		40	LPI						
Occipital		28,-69,1	4.19	21	17	Sca		69,11,2	2.20	13	17	Sca
Geschriebene Zahlwörter versus gesprochene Zahlen												
	Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal								48,24,4	4.19	25	45	GFi
Occipital		32,-93,1	9.17	352	18	GO		9,1,10	10.5	24	18	GF
		36,-59,6	6.49		37	GF		10,1,6	6.92		19	GO
		44,-63,5	5.49		19	GF		14,1,5	5.26		37	GF
Gesprochene Zahlen versus geschriebene Zahlwörter												
	Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		32,44,3	5.16	53	9	GFm		40,40,4	4.98	67	9	GFm
		-55,8,3	5.00	85	44	GFi		51,12,4	4.64	145	44	GFi
		12,25,3	6.31	15	24	ant. GC		0,13,3	2.88		24	ant. GC
		4,14,47	3.20	10	8/32	GFd/ant. GC		-4,14,2	2.97		32	ant. GC
		48,40,1	6.03		46	GFm		40,44,4	4.28		46	GFm
Tempora		59,-42,1	6.05	224	22	GTs		38,13,5	5.63		22	GTs
		51,-12,4	4.64		21	GTm						
		55,-26,1	4.39		42	GTs		30,20,5	5.01		42	GTs
Parietal		55,-37,3	4.39		40	LPI		45,28,6	6.30	204	40	LPI
		12,-52,5	5.24	17	7	LPs						

Tabelle 6: Talairach-Koordinaten und t-Werte der Clustermaxima sowie einiger Nebenmaxima der funktionellen Aktivierungen in den modalitätsspezifischen Kontrasten der Größenvergleichsaufgabe (SPM2, Second Level Analyse, $p < 0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$; kursiv gesetzte Werte bei $p < 0,05$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$ Voxel)

Notationsspezifische Effekte in der Paritätsaufgabe:

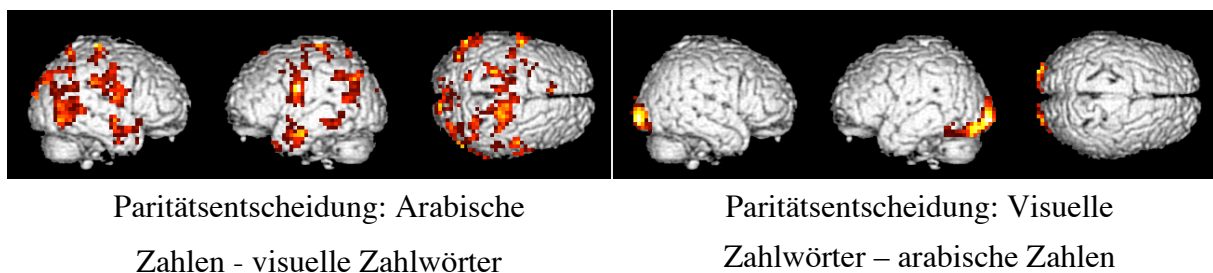
- **Arabische Zahlen versus visuelle Zahlwörter**

Beim Vergleich von arabischen Zahlen mit visuellen Zahlwörtern zeigen sich in der Paritätsaufgabe viele größere und kleinere Aktivierungen vor allem in den temporalen, parietalen sowie caudalen frontalen Abschnitten. Wir finden bilateral Aktivierungen im Bereich des Brodmann-Areals 37 des Gyrus temporalis inferior, welche sich rechtshemisphärisch bis nach caudal zum Gyrus fusiformis erstrecken. Ferner lassen sich Aktivierungen im bilateralen Lobulus parietalis inferior und den superior gelegenen Teilen des Gyrus temporalis medius (BA 39/40) sowie im bilateralen Gyrus precentralis und Gyrus frontalis superior (BA 4/6) beschreiben. Außerdem sind Teile des Gyrus postcentralis (BA 3) und des Lobulus parietalis superior (BA 7) links sowie des medialen und inferioren Temporallappens (BA 21/22/), Cuneus und Gyrus lingualis (BA 18) beidseits aktiviert.

- **Visuelle Zahlwörter versus arabische Zahlen**

Bei gleichem p-Wert von $<0,01$ pro Voxel sowie $k=10$ als Clusterkriterium in der Second Level Analyse zeigt sich in dem umgekehrten Kontrast in jeder Hemisphäre nur ein großer Cluster, dessen Maximum sich beidseits am Occipitalpol (BA 17/18) befindet und sich bilateral über den Gyrus occipitalis inferior und Gyrus lingualis (BA 19) ausbreitet. Die linkshemisphärischen Aktivierungen zeigen eine Lateralisierung bis zum occipito-temporalen Übergang des Gyrus fusiformis (BA 37/19).

Abbildung 5: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Notationsspezifische Effekte in der Paritätsaufgabe (SPM2, Second Level Analyse, $p<0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)



Modalitätsspezifische Effekte in der Paritätsaufgabe

- **Arabische Zahlen versus auditive Zahlwörter**

Es zeigen sich beidseits Aktivierungen im Bereich des unteren occipito-temporalen Übergangs (BA 19/37), wobei das rechtshemisphärische Areal stärker aktiviert ist, etwa 10 mm occipital des linkshemisphärischen liegt und bis zum Gyrus lingualis zieht (BA 18). Weiter präsentiert sich eine auf dem Lobulus parietalis superior von dem Brodmann-Areal 7 nach occipital zum Gyrus occipitalis superior (BA 19) ausgedehnter 91 Voxel großer Cluster. Linkshemisphärisch sind die gleichen Areale als zwei nicht miteinander verbundene Aktivierungs-Cluster zu finden. Auch temporal zeigen sich bilaterale Aktivierungen, hier im Bereich des Brodmann-Areal 37 des Gyrus temporalis inferior. Hinzu kommt ein Cluster im Gyrus temporalis medius und inferior links (BA 20/21), sowie eine rechtshemisphärische Aktivierung im Gyrus temporalis superior (BA 38). Weiter finden sich Aktivierungen im Cingulum beidseits (BA 31), im Lobulus parietalis inferior (BA 40) sowie im Gyrus precentralis rechts (BA 4).

- **Visuelle Zahlwörter versus auditive Zahlwörter**

Es besteht eine Ähnlichkeit mit dem Vergleich der geschriebenen Zahlwörter versus arabischer Zahlen. Auch hier finden wir die stärksten Aktivierungen im Bereich der beiden Occipitalpole, Brodmann-Areale 18 und 19. Weiter zeigt sich ebenfalls eine Linkslateralisierung des linkshemisphärischen Clusters zum occipito-temporalen Übergang (BA 19/37). Rechtsseitig finden wir keine durchgehende Aktivierung des occipito-temporalen Übergangs. Es zeigt sich jedoch ein kleiner Cluster von 14 Voxeln im Brodmann-Areal 37 des caudalen Anteils des Gyrus fusiformis.

- **Auditive Zahlwörter versus arabische Zahlen**

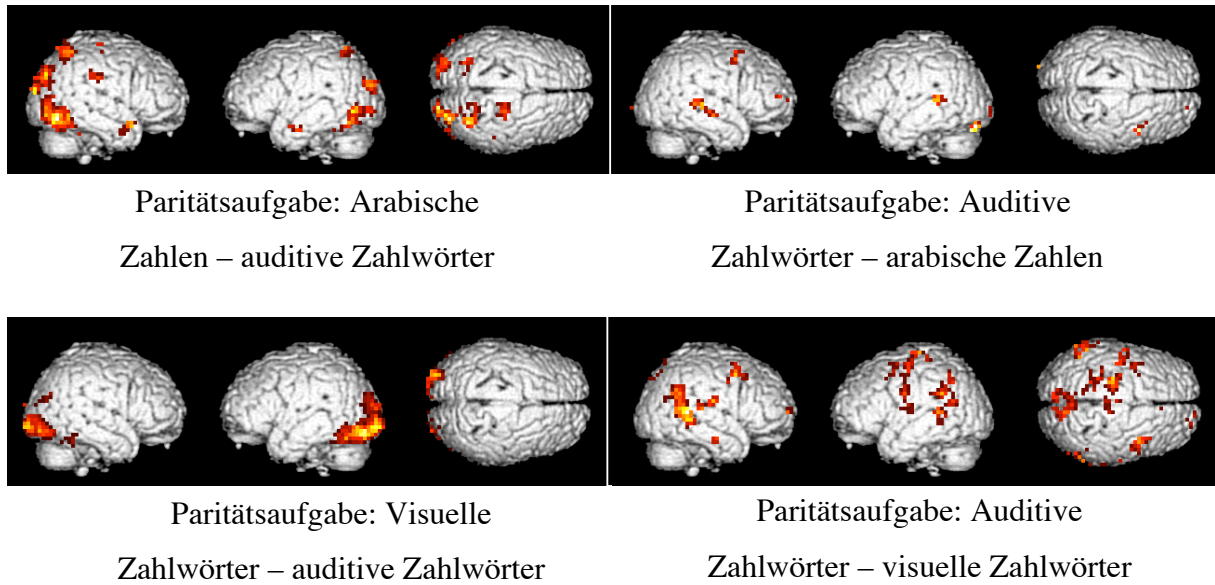
In diesem Kontrast finden sich deutlich weniger aktivierte Areale. Der größte Cluster besteht aus nur 31 Voxeln und befindet sich im Brodmann-Areal 21 des Gyrus temporalis medius. Contralateral findet sich ebenfalls eine Aktivierung, diese liegt jedoch kranial im Gyrus temporalis superior und somit im Brodmann-Areal 22. Außerdem finden sich rechtshemisphärisch zwei frontale Aktivierungen, einmal im mittleren (BA 6) und einmal im superioren Gyrus (BA 10). Beidseits sind Teile des mittleren und oberen Temporallappens

aktiviert (BA 21/22). Occipitale Aktivierungen zeigen sich nur linkshemisphärisch im Bereich des Pols und des Gyrus fusiformis (BA 18/19). Parietale Aktivierungen finden sich nicht.

- **Auditive Zahlwörter versus visuelle Zahlwörter**

In diesem Kontrast zeigen sich zwei große Cluster mit 145 und 258 Voxeln sowie viele kleinere Clusteraktivierungen zwischen 10 und 41 Voxeln. Die stärksten Aktivierungen finden wir im Bereich des rechtsseitigen Gyrus temporalis superior und medius (BA 21/22) sowie dem Sulcus lateralis (BA 41). Kontralateral sind ebenfalls Teile des Gyrus temporalis superior (BA 22) sowie des Sulcus lateralis inklusive der Gyri temporales transversi, der Heschlschen Querwindungen (BA 41) aktiviert. Zwei linkshemisphärische Cluster im Lobulus parietalis inferior (BA 40) finden ihre rechtshemisphärische Entsprechung in den bis zum Parietallappen reichenden Endbereichen des oben beschriebenen temporalen Clusters. Ferner zeigt sich eine kleine Aktivierung im vorderen Teil des Gyrus temporalis medius (BA 21). Der 258 Voxel große Cluster befindet sich mittelliniennah und erstreckt sich beidseits auf Höhe des Sulcus callosomarginalis von rostral des Sulcus centralis bis caudal des Sulcus parieto-occipitalis. Außerdem zeigen sich frontale Aktivierungen im Bereich des anterioren Cingulums rechtsbetont (BA 24/32) sowie des Gyrus frontalis medius (BA 10) und des medialen Anteils des Gyrus frontalis superior rechts (BA 8), die sich jedoch auch linksseitig im Übergangsbereich des Gyrus frontalis medius und superior zum Gyrus precentralis im Brodmann-Areal 4/6 wiederfinden. Ein kleiner Cluster findet sich ferner im Sulcus parieto-occipitalis rechts.

Abbildung 6: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Modalitätsspezifische Effekte in der Paritätsaufgabe (SPM2, Second Level Analyse, $p < 0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)



Modalitätsspezifische Effekte												
Paritätsaufgabe												
Arabische Zahlen versus auditive Zahlwörter												
	Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomisch Struktur	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomisch Struktur
Frontal		28,-17,5	4.36	34	4	GPrC						
Temporal		44,-59,-7	5.17		37	GTi		-48,-66,0	5.25	85	37	GTi
		48,11,-1	4.59	36	38	GTs						
								-48,-9,-2	3.77	12	20	GTi
								-48,-1,-1	73.21		21	GTm
Parietal		48,-22,3	15.23	27	40	LPi						
		32,-59,6	24.78	53	7	LPs		-28,-59,5	3.23	16	7	LPs
		28,-76,3	34.45	91	7	LPs						
		8,-3,26	4.38	45	31	GC		-4,-33,35	3.65	21	31	GC
Occipital		48,-78,-3	5.66	151	19	GOi		-32,-47,-1	4.56		37	GF
		8,-74,0	3.52	14	18	GL						
		28,-88,2	34.04		19	GOs		-24,-80,3	31.81	39	19	GOs
Auditive Zahlwörter versus arabische Zahlen												
	Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomisch Struktur	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomisch Struktur
Frontal		44,10,47	3.74	11	6	GFm						
		16,58,4	4.07	13	10	GFs						
Temporal		55,-35,5	4.15	31	21	GTm		-59,-46,1	3.67		21	GTm
		59,-16,-6	3.99		21	GTm						
		55,-27,5	3.81		22	GTs		-51,-38,9	3.85	16	22	GTs
Occipital								-24,-101,2	4.38	11	18	GO
								-24,-82,-1	6.05	25	19	GF
Visuelle Zahlwörter versus auditive Zahlwörter												
	Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomisch Struktur	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomisch Struktur
Occipital		32,-93,-2	6.61	183	18	GO		-40,-82,-9	8.56	414	19	GOi
		44,-82,-3	5.27		19	GF		-44,-67,-1	6.58		19	GF
		44,-48,-1	8.92	14	37	GF		-40,-59,-1	6.35		37	GF
Auditive Zahlwörter versus visuelle Zahlwörter												
	Rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomisch Struktur	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomisch Struktur
Frontal								-48,-6,26	4.25	28	4	GPrC
								-44,-9,52	3.39	19	4	GPrC
		0,24,21	4.25	26	24	ant. GC		0,24,21	4.25	26	24	ant. GC
		4,29,32	3.35		32	ant. GC						
								-8,-1,52	4.11	10	6	GFd
		12,66,8	3.24	10	10	GFd						
		44,14,51	3.78	34	8	GFm						
								-40,6,44	3.26	11	6	GFm
Temporal		51,-42,9	6.05	145	22	GTs		-51,-42,9	4.94	23	22	GTs
								-44,-31,5	4.58	20	22	GTs
		63,-43,2	4.26		21	GTm		-48,-43,-1	3.25		21	GTm
		55,-16,-1	6.70	10	21	GTm						
		55,-15,1	14.98	32	41	SL		40,-30,20	3.82		41	SL
		44,-20,-6	4.86	11	41	SL						
								-51,-15,1	3.20		41	GTT
Parietal								-20,-40,5	5.35	258		Scm
								-55,-45,2	3.46	41	40	LPi
								-51,-52,4	3.27	12	40	LPi
Occipital		20,-69,2	23.62	13		Spo						

Tabelle 7: Talairach-Koordinaten und t-Werte der Clustermaxima sowie einiger Nebenmaxima der funktionellen Aktivierungen in den modalitätsspezifischen Kontrasten der Paritätsaufgabe (SPM2, Second Level Analyse, $p < 0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)

Zusammenfassung:

Aufgabenübergreifend aktivieren die visuellen Zahlwörter die primär und sekundär assoziierten visuellen Areale stärker als arabische Zahlen. Auch in dem Kontrast mit den auditiven Stimuli aktivieren geschriebene Zahlwörter beidseits primäre und sekundäre visuelle Areale. Dies ist auf die Größe des Blickfeldes zurückzuführen, welches bei den geschriebenen Zahlen trotz verkleinerter Schriftgröße größer ist.

Der Vergleich arabischer mit den gesprochenen Zahlen und umgekehrt zeigt keine primär visuellen Aktivierungen. Somit scheint sich das von uns eingesetzte “#” als Fixationskreuz während der Presentation auditiver Stimuli bewährt zu haben.

Der untere occipito-temporale Übergang zeigt im direkten Vergleich der visuellen Stimuli in der Paritätsaufgabe eine linksseitige Betonung für die geschriebenen Zahlwörter und eine rechtseitige Betonung für die arabischen Zahlen. In der Größenvergleichsaufgabe subtrahieren sich die Aktivierungen in diesem Bereich im Vergleich der beiden Notationen in beiden Richtungen heraus, sodass wir von einer seitengleichen Aktivierung in diesem Bereich ausgehen können.

Im Vergleich beider visueller Notationen mit den gesprochenen Zahlen zeigt der untere occipito-temporale Übergang in der Paritätsaufgabe eine bilaterale Aktivierung, wobei wie im direkten Vergleich eine Rechtsbetonung für die arabischen Zahlen und eine Linksbetonung für die geschriebenen Zahlwörter vorliegt. In der Größenvergleichsaufgabe ist dieses Areal für geschriebene Zahlwörter und arabische Zahlen im Vergleich mit den auditiven Stimuli beidseits gleichstark aktiviert.

Aufgabenunabhängig finden wir für die arabischen Zahlen im Vergleich mit den geschriebenen Zahlwörtern bilaterale inferior parietale Aktivierungen.

In der Größenvergleichsaufgabe finden wir für die gesprochenen Zahlen im Vergleich mit den beiden visuellen Bedingungen Aktivierungen im Lobulus parietalis inferior (BA 40) beidseits. Dies könnte auf eine intensivere Verarbeitung der von der Probanden als tendenziell am

schwierigsten eingestuft, auditiven Stimuli hinweisen. Ferner zeigen die Aktivierungen auch eine linkshemisphärische Betonung, welche auf den sprachlichen Verarbeitungsprozess rückschließen lässt.

Auch in dem Vergleich der arabischen mit den gesprochenen Zahlen präsentieren sich im Größenvergleich bilaterale parietale Aktivierungen. Hier liegen diese jedoch im Bereich des superioren Parietallappens. Diese Aktivierungen könnten auf den “dorsalen Pfad” der visuellen Objekterkennung hinweisen.

Der intraparietale Sulcus ist nur oberflächlich bei der Größenvergleichsaufgabe im Vergleich der arabischen Zahlen mit den geschriebenen Zahlwörtern sowie gesprochenen Zahlen aktiviert. Der horizontale Abschnitt sowie die weiter tiefer gelegenen Abschnitte des intraparietalen Sulcus zeigen im Vergleich aller Notationen keine Aktivierung. Dies lässt darauf schließen, dass die tiefer gelegenen Areale des intraparietalen Sulcus bei allen Notationen gleich stark aktiviert sind.

In allen Vergleichen mit den visuellen Stimuli aktivieren die gesprochenen Zahlwörter beidseits sekundär auditive Areale im Bereich des Temporallappens (BA 22). In der Paritätsaufgabe zeigen sich zusätzliche Aktivierungen im Bereich des mittleren Temporallappens (BA 21). Diese lassen auf eine verstärkte semantische Wortverarbeitung der auditiven Stimuli in der Paritätsentscheidung schließen.

Beim Vergleich der arabischen Zahlen mit den visuellen Zahlwörtern finden sich in der Paritätsaufgabe bilateral, im Größenvergleich linksseitig Aktivierungen des Brodmann-Areals 4 des Gyrus precentralis. Diese sind der somatotopischen Gliederung nach dem primär-motorischen Bereich der Finger zuzuordnen und könnten auf ein entwicklungsgeschichtlich bedingtes Fingerzählen hinweisen (Butterworth et al., 1999).

Die linkshemisphärischen precentralen Aktivierungen des Vergleiches der gesprochenen Zahlen mit den geschriebenen Zahlwörtern in der Paritätsaufgabe liegen caudal von den vorher beschriebenen Arealen und werden somatotopisch eher der Zungenmuskulatur zugeordnet. Denkbar ist allerdings auch, dass dieses Areal auf Deaktivierungen der zu subtrahierenden Bedingung zurückzuführen ist, die sich in der statistischen Berechnung in diesem Kontrast als positive Aktivierung darstellt.

Aufgabenübergreifend ist im Vergleich der gesprochenen Zahlen mit den geschriebenen Zahlwörtern das vordere Cingulum aktiviert, welches als Zeichen einer vermehrten Anforderung an das verbale Arbeitsgedächtnis anzusehen sein könnte.

Nur in der Größenvergleichsaufgabe finden sich in den Kontrasten der auditiven mit den visuellen Stimuli bilaterale Aktivierungen im dorsolateralen präfrontalen Kortex, die ebenfalls auf einen erhöhten Schwierigkeitsgrad der Bedingung hinweisen. Die Aufgabenspezifität könnte damit zu erklären sein, dass beim Größenvergleich während der Aufgabe die Zahl "5" als Bezugspunkt sowie die zu vergleichende Zahl im Arbeitsgedächtnis gehalten werden muss.

Aufgabenübergreifend ist auch zu erwähnen, dass sich im Vergleich der geschriebenen Zahlwörter mit den auditiven Stimuli nur Aktivierungen des Occipitalpols darstellen, mit Ausnahme eines kleinen Clusters im linksseitigen Broca-Areal im Größenvergleich.

5.2.2. Aufgabenspezifische Effekte

Größenvergleich versus Paritätsentscheidung

- **Arabische Zahlen**

Im Vergleich mit dem umgekehrten Kontrast finden sich hier ebenfalls beidseits occipitale Aktivierungen, die sich nun aber im Bereich der Occipitalpole, der Gyri occipitalis und fusiformis (BA 18), befinden. Ferner zeigen sich in der rechten Hemisphäre zwei kleine Cluster des Frontallappens. Diese liegen einerseits im Gyrus frontalis superior (BA 8), andererseits im Gyrus frontalis medius (BA 6).

- **Visuelle Zahlwörter**

Auch in diesem Vergleich zeigen sich bilaterale Aktivierungen der Occipitalpole. Rechtshemisphärisch liegt das Maximum im Brodmann-Areal 18 des Gyrus occipitalis. Linkshemisphärisch ist der Gyrus occipitalis zwar auch aktiviert, das Maximum liegt jedoch im Sulcus calcarinus (BA17). Weiter findet sich ein kleiner Cluster im Brodmann-Areal 6 des Sulcus frontalis superior links.

- **Auditive Zahlwörter**

Bei einem p-Wert $<0,05$ pro Voxel und $k=10$ als Clusterkriterium in der Second Level Analyse finden sich in diesem Kontrast keine Aktivierungen.

Aufgabenspezifische Kontraste												
Größenvergleich vs. Paritätsaufgabe												
Arabische Zahlen												
	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal								16,22,54	4.50	16	48	GFs
								44,6,44	3.82		6	GFm
Occipital		-24,-97,7.24	202	18	GO			28,-93,85.60	14	48	GO	
		-36,-86,59.89		18	GF							
Visuelle Zahlwörter												
	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		-28,6,40	4.68	265	6	SFs						
Temporal												
Occipital		-12,-93,52.64	218	17	Sca			20,-93,14.99	18	518	GO	
		-32,-90,46.77		18	GF			32,-89,-2.08		18	GF	
Auditive Zahlwörter												
bei $p < 0,01$ und $p < 0,05$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$ Voxel keine funktionelle Aktivierungen												
Paritätsaufgabe vs. Größenvergleich												
Arabische Zahlen												
	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		59,1,22	3.36		4	GPrC		-51,-3,22.68	25	4	GPrC	
		63,-2,30	3.22		4	GPrC		-51,-6,43.33		4	GPrC	
Temporal		55,-7,11	6.49	30	41	SL						
		48,7,-14	4.17	14	22	GTs		-51,-13,52.02		20	GTi	
Parietal								-28,-32,5.74		1	GPoC	
Occipital		12,-73,17.49	745	17	Sca			-12,-67,6.107		18	GL	
Visuelle Zahlwörter												
	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		32,51,20	5.52	36	9	GFm		-28,40,33.64	15	8	GFm	
		32,40,31	5.39		8/9	GFm		-40,40,33.09		9	GFm	
		0,14,40	3.12		32	ant. Cingulum		-4,21,323.38	10	32	ant. Cingulum	
								-55,12,33.98	12	44	GFi	
Temporal								-55,3,-12.98		21	GTm	
								-8,50,-95.21	14	10	GgOrbitales	
Occipital		12,-70,-3.32		18	GL			-12,-73,7.72		18	GL	
Auditive Zahlwörter												
	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		8,-20,64	5.24	89	6	GFd		-8,-24,54.64		6	GFd	
		36,-24,63.89		4	GPrC			-36,-24,3.09		4	GPrC	
								-40,10,49.16	22	6	GFm	
		28,58,4	3.73		10	GFm						
								-48,24,17.52	29	45	GFi	
Temporal								-48,-46,3.076	13	21	GTm	
Occipital		36,-51,-14.34	11	37	GF			-32,-51,4.79	15	37	GF	
		12,-74,43.88	52	18	GL			-20,-47,3.41		37	GL	
								-12,-45,3.56	14	31	PCu/GC	
		0,-80,30	4.54	30	18	Cu		-4,-80,44.18		18	Cu	

Tabelle 8: Talairach-Koordinaten und t-Werte der Clustermaxima sowie einiger Nebenmaxima der funktionellen Aktivierungen in den aufgabenspezifischen Kontrasten (SPM2, Second Level Analyse, $p < 0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)

Paritätsaufgabe versus Größenvergleich

- **Arabische Zahlen**

Dieser Kontrast wird durch einen 745 Voxel großen Cluster im Bereich der occipitalen Medialfläche beidseits dominiert. Die Aktivierungsmaxima liegen auf der rechten Seite im Sulcus calcarinus (BA 17) und linkshemisphärisch im Gyrus lingualis (BA 19). Weiter finden wir Aktivierungen im rechten Gyrus temporalis superior (BA 22), im linken Gyrus postcentralis (BA 1), im linken Gyrus temporalis inferior (BA 20) sowie beidseits im Gyrus precentralis (BA 4).

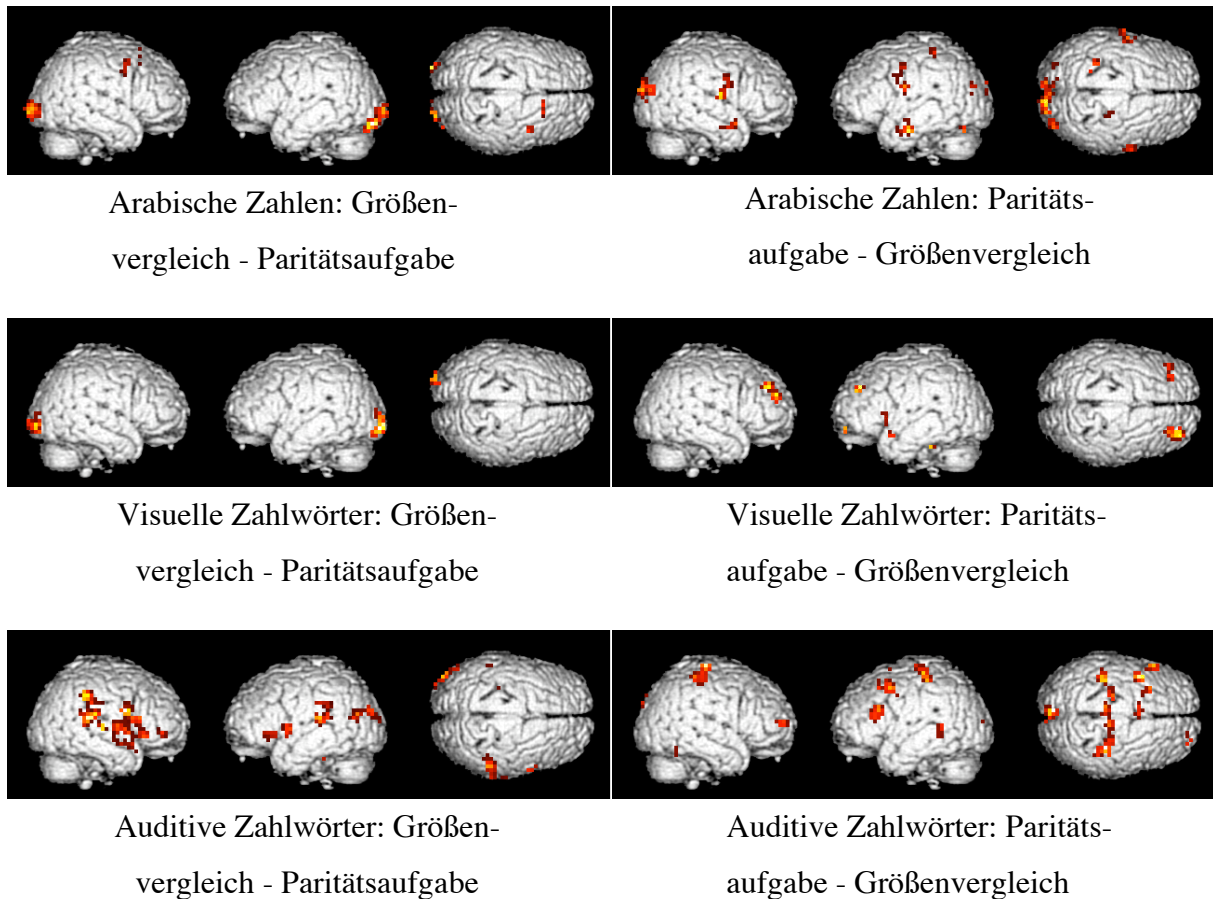
- **Visuelle Zahlwörter**

Auch in dem Vergleich dieser beiden Bedingungen findet sich eine occipitale Aktivierung im Bereich beider Medialflächen, die allerdings mit 54 Voxeln deutlich kleiner ist und deren Maxima beidseits im Gyrus lingualis liegen (BA 18). Ferner finden wir bilaterale dorsolaterale präfrontale Aktivierungen im Gyrus frontalis medius (BA 8/9), Aktivierungen in den Gyri orbitales links (BA 10), im Gyrus frontalis inferior links (BA 44) sowie im vorderen Teil des Gyrus temporalis medius (BA 21). Teile des anterioren Cingulum sind außerdem beidseits aktiviert (BA 32).

- **Auditive Zahlwörter**

Erneut sind mediale occipitale Areale aktiviert. In diesem Vergleich liegen die Maxima im Gyrus lingualis, Gyrus fusiformis sowie dem Cuneus (BA 18/37) beidseits. Außerdem lassen sich linksseitige Aktivierungen im Bereich des Gyrus temporalis medius (BA 21/22) und des Gyrus frontalis inferior (BA 45) darstellen. Der Gyrus precentralis ist auf Höhe der Talairach-Koordinate $z=60$ rechts und $z=56$ bis 63 links aktiviert. Rechtshemisphärisch zeigt sich eine dorsolaterale präfrontale Aktivierung im Gyrus frontalis medius (BA 10). Der gleiche Gyrus ist linkshemisphärisch weiter caudal im Brodmann-Areal 6 sowie mit seiner Pars medialis im Bereich der Mittellinie beidseits aktiviert (BA6). Weiter zeigt sich linkshemisphärisch ein Cluster im Übergangsbereich des Precuneus zum posterioren Cingulum (BA 31).

Abbildung 7: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Aufgabenspezifische Effekte (SPM2, Second Level Analyse, $p < 0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)



Zusammenfassung:

Unabhängig von Modalität und Notation ist der Kortex bei der Paritätsentscheidung stärker aktiviert als beim Größenvergleich. Dies spricht für eine erhöhte Automatisierung der Größenvergleichsaufgabe im Vergleich mit der Paritätsentscheidung.

Occipital finden sich bei der Paritätsaufgabe Aktivierungen im Bereich der Medialfläche beidseits während beim Größenvergleich primär visuelle Areale aktiviert sind.

Bei der Verarbeitung arabischer Zahlen sind bei der Paritätsentscheidung temporale Aktivierungen beidseits zu sehen. Außerdem finden sich beidseits precentrale Aktivierungen, die mit primär motorischen Arealen der Zunge vereinbar sein könnten. Dies könnte auf eine innere Verbalisierung bei der Paritätsentscheidung hinweisen.

In dem Vergleich der Paritäts- mit der Größenvergleichsaufgabe für geschriebene Zahlwörter zeigen sich Aktivierungen im Bereich des anterioren Cingulums sowie dorsolaterale präfrontale Kortexaktivierungen bilateral, während bei den auditiven Stimuli unter den gleichen Bedingungen nur rechtsseitige Aktivierungen des Brodmann-Areals 10 zu sehen sind.

Bei den gesprochenen Zahlen sind in der Paritätsaufgabe primär motorische Areale des Gyrus precentralis aktiviert, die auf eine Bewegung der Finger zurückzuführen sein könnten. Außerdem ist in diesem Kontrast der linkshemisphärische Frontallappen in dem Brodmann-Areal 45 und 6 aktiviert.

Wie auch in den modalitätsspezifischen Kontrasten der Paritätsentscheidung zeigt sich für die auditiven Zahlwörter auch in dem Vergleich der Aufgabenstellungen für die Paritätsentscheidung eine Aktivierung des posterioren Anteils des mittleren Temporallappens links. Diese Aktivierung könnte mit der verbal-linguistischen Komponente der Paritätseigenschaft verknüpft sein und auf eine im Vergleich mit den visuellen Stimuli unterschiedliche Art der Representation der Paritätsinformation hinweisen.

5.2.3. Antwort-assozierte / räumliche Effekte

Allgemeine Unterschiede zwischen den verschiedenen Durchgängen habe ich bereits zu Beginn dieses Kapitels beschrieben. Hier möchte ich nun auf einige spezielle Kontraste eingehen, die die Untersuchung räumlicher Einflüsse auf die Zahlenverarbeitung ermöglichen könnten. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, werden in der Literatur zwei räumliche Effekte in der Zahlenverarbeitung beschrieben:

- Der SNARC-Effekt
- Der MARC-Effekt

Da diese Effekte in Reaktionszeitexperimenten mit Antworttasten dargestellt wurden, erscheint denkbar, dass bei fehlender räumlicher Orientierung durch diese zugeordneten Tasten eine spezifische Aktivierung entfallen bzw. sich geringer darstellen könnte als mit den Tasten. Somit könnten sich unter den Bedingungen, die die räumlichen Effekte besonders betonten, abzüglich der gleichen Bedingungen ohne Tasteneinsatz, diese räumlich-assozierten Aktivierungen darstellen.

Hypothetisch SNARC-assozierte Effekte

Der SNARC-Effekt wurde wiederholt bei den arabischen Zahlen als am stärksten ausgeprägt beschrieben. Auch wenn sich dies nicht bei allen Autoren in dieser Art dargestellt hat, wählen wir daher die folgenden zwei Kontraste zu seiner Darstellung.

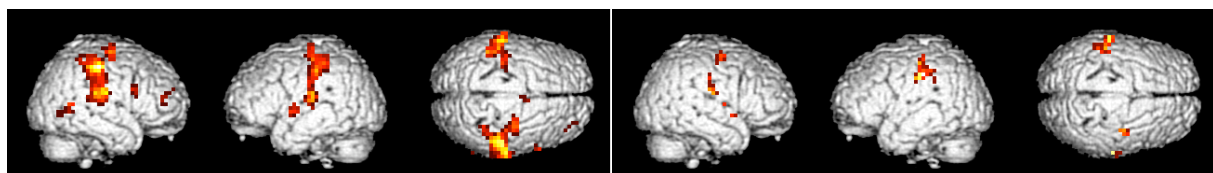
- **Arabische Zahlen, Paritätsaufgabe: Zweiter Durchgang versus erster Durchgang**

Wie zu erwarten ist der Kontrast dem allgemeinen Vergleich des zweiten versus des ersten Durchgangs ähnlich. Erneut sind Teile des somatosensorischen Kortex auf beiden Seiten aktiviert. Auch eine Aktivierung des Brodmann Areals 44 im Gyrus frontalis inferior rechts findet sich in diesem Kontrast. Hinzu kommen eine Aktivierung im anterioren Cingulum, im rechten posterioren Gyrus temporalis medius (BA 21) sowie im Sulcus lateralis links. Parietale Aktivierungen neben dem Gyrus postcentralis finden sich nicht.

- **Arabische Zahlen, Größenvergleich: Zweiter Durchgang versus erster Durchgang**

Hier finden sich deutlich weniger Aktivierungen als in dem allgemeinen Vergleichskontrast. Während sich linkshemisphärisch ähnliche Aktivierungen im somatosensorischen Kortex darstellen, sind die gleichen auf der rechten Seite nur andeutungsweise als kleiner Cluster mit 11 Voxeln im Gyrus precentralis zu finden. Weiter findet sich eine Aktivierung der Insel rechts. Auch hier zeigen sich weiter keine parietalen Aktivierungen.

Abbildung 8: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Hypothetisch SNARC-assozierte Effekte (SPM, 2 Second Level Analyse, $p < 0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)



Paritätsaufgabe, arabische Zahlen:
Zweiter – erster Durchgang

Größenvergleich, arabische Zahlen:
Zweiter – erster Durchgang

Hypothetisch MARC-assozierte Effekte

Der MARC-Effekt auf der anderen Seite wurde bei geschriebenen Zahlwörtern in der Paritätsaufgabe nachgewiesen. Somit könnte sich ein anatomisches Korrelat bei folgenden Kontrasten zeigen.

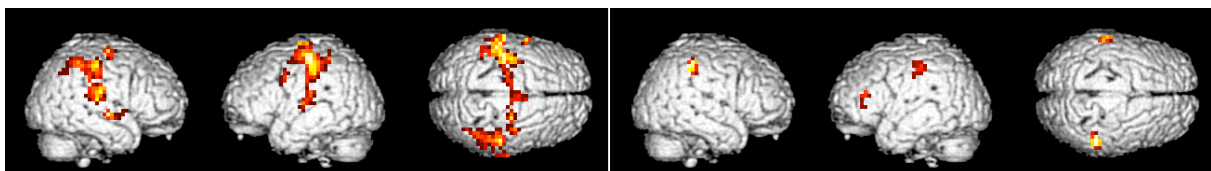
- **Visuelle Zahlwörter, Paritätsaufgabe: zweiter Durchgang versus erster Durchgang**

Dieser Kontrast wird durch zwei große Cluster dominiert, die beide ihr Maximum im somatosensorischen Kortex haben. Diese ähneln in Form und Lokalisation den primärmotorischen Aktivierungen des allgemeinen Vergleiches des zweiten versus des ersten Durchgangs. Der linkshemisphärische Cluster verbindet über das präsupplementär motorische Areal (Prä-SMA) des Gyrus frontalis superior beide Hemisphären und reicht linksseitig nach caudal bis zum Gyrus temporalis superior. Weiter zeigt sich ein separater Cluster im Bereich des rechten Gyrus temporalis medius und superior (BA 21/22).

- **Auditive Zahlwörter, Paritätsaufgabe: zweiter Durchgang versus erster Durchgang**

In diesem Vergleich finden wir nur drei Clusteraktivierungen. Auf der linken Seite ist der somatosensorische Kortex deutlich schwächer als in dem vorherigen Kontrast aktiviert, jedoch in seiner Lokalisation mit seinem Maximum im Gyrus postcentralis ähnlich dem Vergleich 'Arabische Zahlen, Größenvergleich: zweiter Durchgang versus erster Durchgang'. Rechtshemisphärisch hingegen zeigt sich ein Cluster, dessen Maximum im Bereich des Lobulus parietalis inferior außerhalb des somatomotorischen Kortex liegt. Senken wir die Schwelle jedoch auf $p < 0,1$ können wir sehen, dass diese Clusteraktivierung sich sowohl im precentralen als auch postcentralen Gyrus ausbreitet. Die dritte Aktivierung befindet sich im Bereich des Brodmann-Areal 46 des Gyrus frontalis medius.

Abbildung 9: 3D-Darstellung der funktionellen Aktivierungen: Hypothetisch MARC-assozierte Effekte (SPM2, Second Level Analyse, $p < 0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)



Paritätsaufgabe, visuelle Zahlwörter:
Zweiter – erster Durchgang

Paritätsaufgabe, auditive Zahlwörter:
Zweiter – erster Durchgang

Zusammenfassung:

Wie der allgemeine Vergleich des zweiten mit dem ersten Durchgang erwarten ließ, finden sich in allen Kontrasten bilaterale somatosensorische Aktivierungen. Diese sind in der Paritätsaufgabe bei den arabischen Zahlen und den geschriebenen Zahlwörtern besonders

ausgeprägt. Dies kann einerseits auf den bereits beschriebenen Automatizitäts-Effekt bei den arabischen Zahlen zurückzuführen sein, andererseits auch auf die Reihenfolge der Bedingungen im Experiment. Da die Bedingung 'Visuelle Zahlwörter-Paritätsaufgabe' an die dritte und siebte Position der insgesamt 12 Blöcke pro Durchgang gesetzt wurde, und von den Probanden zu Beginn des zweiten Durchgangs eine erhöhte Aufmerksamkeit berichtet wurde, könnte die Aktivierungsstärke auch auf einen Aufmerksamkeitseffekt zurückzuführen sein. Die gleiche Erklärung könnte ebenso für die arabischen Zahlen zutreffen, da dieser Bedingung die Position eins und neun zugeteilt wurde.

Die arabischen Zahlen im Größenvergleich sowie die gesprochenen Zahlen in der Paritätsaufgabe präsentieren die somatosensorischen Areale bei einem Schwellenwert von $p < 0,01$ nur andeutungsweise. Senken wir die Schwelle auf $p < 0,1$ so können wir die Ausbreitung der Areale in den pre- und postcentralen Gyrus erkennen.

Bei den arabischen Zahlen finden wir in der Paritätsaufgabe das anteriore Cingulum aktiviert als Ausdruck einer verstärkten Entscheidungsbestätigung. Auch lässt sich auf die Auswertung der Probandenfragebögen verweisen, in denen die Teilnehmer erklären, dass sie nach Einführung der Antworttasten zu Beginn des zweiten Durchgangs besonders motiviert gewesen seien.

Aktivierungen des Parietallappens, dem die räumliche Orientierung zugerechnet wird, finden sich außerhalb des postcentralen Gyrus in keinem der gerechneten Kontraste.

Antwort-assoziierte/ räumliche Effekte												
Paritätsaufgabe, arabische Zahlen: Zweiter Durchgang versus erster Durchgang												
	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		4,2,44	5.11	36	32	ant. GC		-8,-1,48	3.33		32	ant. GC
		36,-9,59	4.80	38	4	GPrC						
								-44,-4,84	4.47	29	4/41	GPrC/SL
		59,17,21	3.67	11	44	GFi						
		40,43,9	3.26	11	0	GFm						
Temporal		51,-54,10	4.31	18	21	GTm						
Parietal		51,-21,47	5.42	254	1	GPoC		-55,-19,52	5.32	166	42	GTs
		63,-18,26	5.29		2	GPoC		-59,-22,25	5.54		2	GPoC
Größenvergleich, arabische Zahlen: Zweiter Durchgang versus erster Durchgang												
	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		44,-5,56	3.86	11	4	GPrC						
Temporal		40,8,0	5.14	45		INS						
Parietal		59,-14,23	3.74	15	1	GPoC		-51,-24,44	4.47	48	1	GPoC
		67,-18,34	4.02		1	GPoC		-59,-21,33	3.39		1	GPoC
Paritätsaufgabe vs. Größenvergleich												
	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal		59,1,22	3.36		4	GPrC		-51,-3,22	2.68	25	4	GPrC
		63,-2,30	3.22		4	GPrC		-51,-6,43	3.33		4	GPrC
Temporal		55,-7,11	6.49	30	41	SL						
		48,7,-14	4.17	14	22	GTs		-51,-13,52	4.22		20	GTi
Parietal								-28,-32,57	4.74		1	GPoC
Occipital		12,-73,17	4.49	745	17	Sca		-12,-67,62	4.27		18	GL
Paritätsaufgabe, visuelle Zahlwörter: Zweiter Durchgang versus erster Durchgang												
	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal								-36,-17,32	3.21	380	4	GPrC
		28,-9,59	6.17		6	GFs						
								-55,6,33	5.03	11	6	GPrC
Parietal		51,-21,47	5.48	216	1	GPoC						
		59,-22,23	3.80		2	GPoC						
Temporal		51,-12,-3	3.86	30	21	GTm						
		51,4,-4	3.96		22	GTs						
Paritätsaufgabe, auditive Zahlwörter: Zweiter Durchgang versus erster Durchgang												
	Links	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur	rechts	x,y,z	T	Voxel/ Cluster	BA	Anatomische Struktur
Frontal								-36,32,7	4.10	11	46	GFm
								-44,35,63	3.36		45/46	GFi/GFm
Parietal		51,-33,45	5.37	32	40	LPi						
								-55,-25,37	4.79	18	1	GPoC
								-59,-21,33	3.36		1	GPoC

Tabelle 9: Talairach-Koordinaten und t-Werte der Clustermaxima sowie einiger Nebenmaxima der funktionellen Aktivierungen in den Antwort-assoziierten Kontrasten (SPM2 Second Level Analyse, $p < 0,01$ pro Voxel, Clustergröße $k=10$)

6. Diskussion

6.1. Einflüsse von Notation, Modalität und Aufgabenstellung

Notations- und modalitätsspezifische Effekte können wir in dieser Studie für die Größenvergleichsaufgabe und die Paritätsaufgabe getrennt untersuchen. Zunächst werde ich mit der in der Literatur gut untersuchten Größenvergleichsaufgabe beginnen, bevor ich die Ergebnisse der Paritätsaufgabe diskutieren werde. Anschließend werden beide Aufgabenstellungen übergreifend besprochen.

6.1.1. Notations- und modalitätsspezifische Effekte in der Größenvergleichsaufgabe

Beim Vergleich der Versuchsbedingungen mit der gleichen Aufgabenstellung sollten sich die Effekte, die auf die jeweilige Aufgabestellung zurückzuführen sind, heraussubtrahieren. Notationsspezifische Effekte in der Größenvergleichsaufgabe finden wir somit in dem Kontrast der arabischen Zahlen minus der geschriebenen Zahlwörter und in dem umgekehrten Kontrast der geschriebenen Zahlwörter minus der arabischen Zahlen.

Beim Vergleich der arabischen Zahlen mit den Zahlwörtern zeigen sich in unserer Studie insbesondere Aktivierungen im Bereich der Frontal- und Parietallappen beidseits sowie des rechtsseitigen Temporallappens. Aktivierungen des inferioren occipito-temporalen Übergangs sowie der tiefer gelegenen Anteile des intraparietalen Sulcus können in diesem Kontrast nicht dargestellt werden. Diese Ergebnisse stimmen mit denen von Pinel et al. (2001) größtenteils überein. In ihrer Studie wurden ebenfalls die arabische Zahlen und die Zahlwörter in einer Größenvergleichsaufgabe untersucht. Als Stimuli dienten jedoch zweistellige Zahlen zwischen 30 und 99. Es zeigten sich Aktivierungen des Brodmann-Areals 8 und des inferioren Parietallappens (BA 40) beidseits, sowie des rechtsseitigen mittleren Temporallappens. Erwähnenswert ist, dass die Koordinaten der Maxima dieser Aktivierungen höchstens 16 mm von denen unserer Studie abweichen. Ferner konnten auch in ihrer Studie Aktivierungen des tiefer gelegenen Anteils des intraparietalen Sulcus sowie des inferioren occipito-temporalen Übergangs nicht dargestellt werden.

Die fehlenden Aktivierungen im Bereich des intraparietalen Sulcus widersprechen nicht einem notationsunabhängigen Areal zur semantischen Größenrepräsentation in den tiefer gelegenen Anteilen des intraparietalen Sulcus, wie u. a. von Eger et al. (2003) und Dehaene et al. (2003) postuliert wurde. Gerade dadurch, dass in unserer Studie nur Zahlen als Stimuli

verwendet wurden, erwarteten wir sogar, dass sich die Areale, welche von Eger et al. (2003) und Dehaene et al. (2003) als „supramodal“ zur abstrakten und automatisierten, semantischen Größenrepräsentation postuliert wurden, beim Vergleich zweier Notationen heraussubtrahieren.

Die in unseren Ergebnissen zusätzlich vorliegenden Aktivierungen des inferioren Parietallappens wurden in diversen älteren bildgebenden Studien ebenfalls beschrieben (Dehaene, 1996; Rueckert, Lange, Partiot, Appollonio, Litvan, Le Bihan & Grafman, 1996; Rickard et al., 2000). Während dieses Areal früher der Größenrepräsentation zugeschrieben wurde (Dehaene, 1996), so kann dies nach den neueren Befunden bezüglich des intraparietalen Sulcus nicht mehr gelten. Parietale Aktivierungen, die durch erhöhte Aufmerksamkeit, Greif- und Zeigebewegungen der Hände, auch in unterdrückter Form, oder erhöhtem Schwierigkeitsgrad der Aufgabe evoziert wurden, sollten durch die Kontrastberechnung nicht in Erscheinung treten. Denkbar ist allerdings, dass die arabischen Zahlen visuo-spatiale Prozesse stärker aktivieren als geschriebene Zahlwörter. Hinweise hierfür finden sich bei den frühen Untersuchungen zum SNARC-Effekt, in denen die Steigung der SNARC-Geraden bei den arabischen Zahlen größer als bei den geschriebenen Zahlwörtern war (Dehaene, 1993), auch wenn dieser Effekt nicht unwidersprochen blieb (Fias et al., 1996; Nuerk et al., 2005). Die rechtsseitige superiore parietale Aktivierung in diesem Kontrast kann in diesem Zusammenhang als Teil des dorsalen Pfades ebenfalls als Hinweise erhöhter visuell-räumlicher Verarbeitung interpretiert werden.

Weiter scheinen sich die Areale, die nach Dehaene und Cohen (1995) der Identifikation visuell dargebotener Zahlen dienen, im Vergleich der arabischen Zahlen mit den Zahlwörtern gegeneinander herauszusubtrahieren. Die zerebrale Repräsentation der visuellen Zahlenform wird nach dem Triple-Code Modell bilateral erwartet. Nach den Experimenten von Pinel et al. (1999) wird jedoch für die arabischen Zahlen eine Rechtslateralisierung der visuellen Zahlenform postuliert. Dies konnte jedoch von Rickard et al. (2000), die eine bilaterale Aktivierung in einer Multiplikationsaufgabe mit arabischen Zahlen fanden, nicht bestätigt werden. Dehaene, Tzourio, Frak, Raynaud, Cohen, Mehler und Mazoyer (1996) konnten in einer Größenvergleichsaufgabe ebenfalls keine Lateralisierungstendenzen bei arabischen Zahlen darstellen. Auch unsere Daten sprechen dafür, dass arabische Zahlen und geschriebene Zahlwörter in der Größenvergleichsaufgabe in den gleichen Arealen bilateral verarbeitet werden.

Schließlich zeigt sich sowohl bei Pinel und Mitarbeitern (2001) wie auch in unserer Studie eine Aktivierung im Gyrus precentralis links. Von diesem Areal aus wird die Motorik der Finger der rechten Hand in Gang gesetzt. Nach Zago et al. (2001) könnte dieses Areal zusammen mit den parietalen Aktivierungen für ein Netzwerk stehen, welches Hinweise auf eine entwicklungsgeschichtliche Fingerzählstrategie zum Erlernen numerischer Größen gibt. Eine solche Strategie wäre mit einem räumlichen prämotorischen Funktionskreis vereinbar.

Im Vergleich der Zahlwörter mit den arabischen Zahlen finden sich in unserer Studie nur Aktivierungen der primären und sekundären visuellen Areale (BA 17, 18). Dies ist auf die Größe der retinotopen Abbildung des visuell präsentierten Stimulusmaterials zurückzuführen, welches bei den geschriebenen Zahlen notwendigerweise größer ist als bei den arabischen Zahlen, obwohl die Fontgröße für die geschriebenen Zahlwörter von der der arabischen Zahlen von 250 auf 120 reduziert wurde. Fehlende Aktivierungen des occipito-temporalen Übergangs sprechen wie in dem umgekehrten Kontrast für eine ähnliche visuelle Verarbeitung arabischer Zahlen und geschriebener Zahlwörter und gegen die Existenz eines klar abgegrenzten visuellen Wortformareals (McCandliss et al., 2003).

In dem Vergleich der arabischen Zahlen mit den gesprochenen Zahlwörtern treten vor allem bilaterale Aktivierungen des superioren Parietallappens, des motorischen und prämotorischen Kortex (BA 7, 4, 6) hervor. Ähnliche Aktivierungsmuster beschreiben auch Fias, Dupont, Reynvoet und Orban (2002) in ihrer Studie zur Untersuchung des ventralen und dorsalen visuellen Pfades. In diesem Experiment mit visuellen Stimuli wird eine quantitative Entscheidung mit einer gleich/ungleich Entscheidung verglichen. Die quantitative Komponente dieser Aufgaben evozierte Aktivierungen des visuellen dorsalen Pfades inklusive des prämotorischen Kortex (BA 6). Die precentralen Aktivierungen können wiederholt durch die Studien von Pinel et al. (2001) sowie Zago et al. (2001) und der entwicklungsgeschichtlichen Fingerzählstrategie erklärt werden.

Weiter zeigen sich bilaterale Aktivierungen des occipito-temporalen Übergangs. Somit scheint das als visuelle Kontrollbedingung verwendete Fixationskreuz bei den auditiven Aktivierungsstimuli nicht in den gleichen Arealen oder mit schwächerer Aktivierung einhergehend verarbeitet zu werden wie die arabischen Zahlen. Dies steht mit den Ergebnissen der notationsspezifischen Kontraste im Einklang, in denen die arabischen Zahlen und die geschriebenen Zahlwörter in der Größenvergleichsaufgabe bilateral im Bereich des occipito-temporalen Übergangs visuell enkodiert und identifiziert werden.

Für die geschriebenen Zahlwörter zeigen sich in dem Kontrast mit den gesprochenen Zahlen primär visuelle Aktivierungen der Occipitalpole mit bilateraler Ausbreitung zum inferioren occipito-temporalen Übergang (BA 37/19). Diese Aktivierungen konnten auch schon im Vergleich der Zahlwörter mit den arabischen Zahlen dargestellt werden und erklären sich erneut durch das größere Blickfeld der geschriebenen Zahlwörter im Vergleich zum Fixationskreuz. Die bilateralen Aktivierungen des occipito-temporalen Übergangs ähneln denen des Vergleiches der arabischen Zahlen mit den gesprochenen Zahlwörtern und unterstützen die oben aufgestellte Hypothese, dass arabische Zahlen und geschriebene Zahlwörter in der Größenvergleichsaufgabe in dem gleichen Areal enkodiert werden. Hinweise für die Existenz eines automatisch aktivierten visuellen Wortformareals im linkshemisphärischen Gyrus fusiformis, wie von McCandliss et al. (2003) postuliert, können in diesem Kontrast nicht dargestellt werden.

Die Versuchsblöcke, in denen die gesprochenen Zahlen als Stimuli verwendet wurden, wurden von den Probanden tendenziell als schwieriger beurteilt. Dies zeigt sich auch in den Kontrasten der gesprochenen Zahlen mit den visuellen Notationen, in denen sich vermehrt dorsolaterale präfrontale Aktivierungen zeigen. Diese präfrontalen Areale sind beispielsweise bei Aufgaben, die das Arbeitsgedächtnis und Aufmerksamkeit beanspruchen, aktiviert (Cabeza & Nyberg, 2000).

Weiter zeigen sich sowohl im Vergleich der gesprochenen mit den geschriebenen Zahlen als auch mit den arabischen Zahlen beidseitige Aktivierungen des Gyrus temporalis superior (BA 22). Nach Booth et al. (2002) enkodiert dieses Areal modalitätsabhängig die auditive Wortform. Die weitere semantische Wortverarbeitung soll nach der Meinung der Autoren modalitätsunabhängig, linkslateralisiert im mittleren Temporallappen geschehen. Unsere Ergebnisse widersprechen dieser Hypothese nicht.

Außerdem stellen sich in den Kontrasten der auditiven mit den visuellen Stimuli bilaterale Aktivierungen des inferioren Parietallappens dar. Diese sind allerdings wegen des relativ niedrigen Signifikanzniveaus eher als Nebenaktivierungen des in lokaler Nähe liegenden posterioren Anteils der superioren Temporallappenaktivierungen zu sehen. Ferner können die inferioren parietalen Aktivierungen auch durch eine erhöhte Aufmerksamkeitsanforderung erklärt werden. Aufgrund der erhöhten Schwierigkeit der Bedingungen mit auditiven Stimuli wird die Aufmerksamkeit auf den Größenvergleich und auf den numerischen Stimulus verstärkt. Denkbar ist somit, dass die hierdurch angestoßene Größenrepresentation das visuo-

spatiale Netzwerk verstärkt aktiviert. Hier muss nun zwischen dem Vergleich der gesprochenen Zahlwörter und den arabischen Zahlen bzw. den geschriebenen Zahlwörtern unterschieden werden. Der Kontrast mit den geschriebenen Zahlwörtern zeigt einen großen Unterschied in der Stärke der Aktivierung des inferioren Parietallappens. Die parietalen Aktivierungen des Vergleiches der gesprochenen Zahlwörter mit den arabischen Zahlen hingegen sind nur bei Absenkung des Signifikanzniveaus darstellbar. Dies erklärt sich durch die Subtraktion der verschiedenen visuellen Bedingungen: Während die arabischen Zahlen aufgrund der o. g. automatisierteren Aktivierung visuo-spatialer Prozesse in der Größenvergleichsaufgabe ebenfalls starke parietale Aktivierungen aufzeigen, sind bei den geschriebenen Zahlwörtern in keinem Vergleich parietale Aktivierungen darstellbar.

6.1.2. Notations- und modalitätsspezifische Effekte in der Paritätsaufgabe

In den Vergleichen der Notationen und Modalitäten innerhalb der Paritätsaufgabe können weitere Hinweise für oder gegen die Existenz einer visuellen Zahlenform erwartet werden. Nach dem Triple-Code Modell müssen alle Notationen erst in die arabische Notation transkodiert werden, bevor auf die Paritätsinformation zugegriffen werden kann. Dies geschieht nach der ursprünglichen Modellformulierung von Dehaene durch Aktivierung der visuellen Zahlenform, welche somit an die Paritätsentscheidung gebunden ist. In den in diesem Kapitel vorgestellten Kontrasten sollten sich die Aktivierungen, welche durch die Paritätsentscheidung evoziert werden, heraussubtrahieren. Die Areale, die zu einer eventuellen notations- oder modalitätsabhängigen Transkodierung aktiviert werden, sollten sich hingegen darstellen. Demgegenüber steht die Hypothese von Nuerk et al. (2004), die aufgrund der durch den MARC- und Odd-Effekt dargestellten verbal-linguistischen Komponente der Paritätsentscheidung verschiedene notationsgebundene Areale zur Representation der Paritätsinformation postulierten.

In dem Vergleich der arabischen Zahlen mit den geschriebenen Zahlwörtern zeigen sich in der Paritätsaufgabe ein rechtshemisphärischer großer Aktivierungskluster, welcher sein Maximum im Bereich des Brodmann-Areals 18 hat, sich aber bis zum Gyrus fusiformis und dem inferioren Temporallappen erstreckt. In der linken Hemisphäre finden wir nur eine schwache Aktivierung des Brodmann-Areals 37, welche deutlich anterior des occipito-temporalen Übergangs liegt. Dies spricht entweder für eine verstärkte rechtsseitige Verarbeitung der arabischen Zahlen in der Paritätsaufgabe oder für eine schwächere, eventuell automatisiertere Verarbeitung in der linken Hemisphäre im Vergleich zu den geschriebenen Zahlwörtern.

Weiter zeigen sich in diesem Kontrast bilaterale temporale Aktivierungen. Dies könnte auf eine stärkere Aktivierung des ventralen Pfades der visuellen Verarbeitung hinweisen, zu welchem auch die visuelle Zahlenform nach Dehaene und Cohen (1995) gerechnet wird. Die Rechtslateralisierung der temporalen Aktivierungen findet nicht nur durch die rechtsseitige Aktivierung des occipito-temporalen Übergangs, sondern auch durch die Studie von Fias et al. (2002), in der ebenfalls eine Rechtslateralisierung des ventralen Pfades dargestellt wurde, Unterstützung.

Erneut finden wir bei den arabischen Zahlen Aktivierungen des precentralen Gyrus, welche wir auf die bereits oben erwähnte Fingerzählstrategie zurückführen.

Der umgekehrte Kontrast der geschriebenen Zahlwörter im Vergleich mit den arabischen Zahlen lässt eine deutliche Linkslateralisierung des occipito-temporalen Übergangs erkennen. Hier ist der linkshemisphärische Gyrus fusiformis inklusive der Brodmann-Areale 37 und 19 aktiviert. Somit ist diese Aktivierung in dem von Cohen, Lehericy, Chochon, Lemer, Rivaud und Dehaene (2002) beschriebenen visuellen Wortformareal lokalisiert. Auch wenn über die Spezifität dieses Areals kontrovers diskutiert wird (Price et al., 2003), so finden sich in dieser Studie Hinweise, dass zumindest in der Paritätsaufgabe geschriebene Zahlwörter linkshemisphärisch verarbeitet werden oder, dass eventuell existierende rechtshemisphärische Verarbeitungswege schwächere Aktivierungen als die der arabischen Zahlen evozieren. Aktivierungen, welche die von Nuerk et al. (2004) postulierte Hypothese einer Representation der Paritätsinformation für die verbalen Notationen in der Nähe sprachlicher Areale unterstützen, zeigen sich in diesem Kontrast nicht.

Der Vergleich der arabischen Zahlen mit den gesprochenen Zahlen in der Paritätsaufgabe unterstreicht die Hypothesen, die wir in dem Vergleich der arabischen Zahlen mit den geschriebenen Zahlwörtern aufgestellt haben. Auch in diesem Kontrast zeigt sich eine Rechtslateralisierung der Aktivierungen des inferioren occipito-temporalen Übergangs. Die für die arabischen Zahlen in der Paritätsaufgabe vermutete Aktivierung des ventralen Pfades der visuellen Objekterkennung findet in diesem Kontrast auf dem ersten Blick keine Unterstützung, denn die temporalen Aktivierungen sind hier linkslateralisiert. Denkbar ist allerdings auch, dass das Fixationskreuz als visuelle Kontrollbedingung während der auditiven Aktivierungsstimuli den ventralen visuellen Pfad ähnlich stark wie die arabischen Zahlen oder zumindest stärker als die geschriebenen Zahlwörter aktiviert.

Ferner zeigen sich in dem Kontrast der arabischen Zahlen mit den gesprochenen Zahlwörtern Aktivierungen im Bereich des superioren Parietallappens. Diese führen wir, wie auch die parietalen Aktivierungen bei der Größenvergleichsaufgabe, auf eine automatisiertere Aktivierung visuo-spatialer Prozesse durch die arabischen Zahlen zurück. Diese sind nicht gleichzusetzen mit den Aktivierungen des dorsalen visuellen Pfades, der wahrscheinlich ähnliche Neuronenverbände involviert, aber durch einen anderen Verarbeitungsweg angestoßen wird.

In dem Kontrast der geschriebenen mit den gesprochenen Zahlwörtern in der Paritätsaufgabe finden wir erneut Unterstützung für die oben aufgestellte Hypothese, dass die geschriebenen Zahlen in der Paritätsaufgabe linksseitig betont enkodiert werden. Wie in dem Vergleich geschriebener Zahlwörter mit den arabischen Zahlen sind jene Areale aktiviert, die Cohen et al. (2002) als „Visual word form area“ postulierten.

Gesprochene Zahlen aktivieren auch bei der Paritätsaufgabe erwartungsgemäß temporale Areale. In Übereinstimmung mit Booth et al. (2002) finden wir sowohl in dem Vergleich der gesprochenen mit den geschriebenen Zahlwörtern als auch mit dem der arabischen Zahlen bilaterale Aktivierungen innerhalb des Brodmann-Areals 22, welches nach Booth und seinen Mitarbeitern bei der lexikalische Enkodierung gesprochener Wörter aktiviert ist. In der Paritätsaufgabe stellen sich in unseren Kontrasten jedoch im Vergleich zur Größenvergleichsaufgabe zusätzliche Aktivierungen des Brodmann-Areals 21 im mittleren Temporallappen dar. Diese sind nach Booth et al. (2002) bei der semantischen Wortverarbeitung sowohl auditiver als auch visuell presentierter Wörter aktiviert. Die entgegen dieser Hypothese in unserer Studie vorliegenden mittleren temporalen Aktivierungen in dem Vergleich der gesprochenen mit den geschriebenen Zahlwörtern kann durch den erhöhten Schwierigkeitsgrad der Aufgabenstellung erklärt werden, welchen die Probanden in den Fragebögen für die Bedingungen, in denen auditive Aktivierungsstimuli verwendet wurden, tendenziell angaben. Ferner sprechen die Aktivierungen des Brodmann-Areals 21 für eine im Vergleich mit der Größenaufgabe verstärkte semantische Verarbeitung der vorgesprochenen Zahlwörter. Dies unterstützt die Hypothese von Nuerk et al. (2004), dass die Paritätsinformation für verbal verarbeitete Zahlen an verbal-linguistische Representationen geknüpft sein könnte.

6.1.3. Aufgabenübergreifende Diskussion

Zusammenfassend lassen unsere Ergebnisse folgende Schlüsse in Bezug auf die Zahlenverarbeitung zu:

Die tiefer gelegenen Anteile des intraparietalen Sulcus scheinen sich in allen Kontrasten herauszusubstrahieren. Somit kann die Hypothese eines notations- und modalitätsunabhängigen Areals zur automatischen Größenrepräsentation von Zahlen, welches u.a. von Eger et al. (2003) und Dehaene et al. (2003) postuliert wurde, unterstützt werden. Die Frage, ob sich die Aktivierungen dieser numerischen Größenrepräsentation in Abhängigkeit der Aufgabenstellung verändern, wird in dem Abschnitt 6.2.2. erörtert werden.

Die sich in unseren Kontrasten darstellenden parietalen Aktivierungen scheinen sich auf drei verschiedene Aktivierungswege zurückführen zu lassen:

Erstens, arabische Zahlen aktivieren unabhängig von der Aufgabenstellung ein parieto-prämotorisches Netzwerk, welches zu Aktivierungen des superioren Parietallappen und dem precentralen Gyrus führt. Dieser Funktionskreis könnte für eine entwicklungsgeschichtliche Fingerzählstrategie sprechen, welche bei der Presentation arabischer Zahlen besonders aktiviert wird (Butterworth et al., 1999). Diese Hypothese unterstützen die Ergebnisse von Zago et al. (2001) sowie Dambeck et al. (2001).

Zweitens, arabische Zahlen aktivieren den mit der Representation räumlicher Aufmerksamkeit assoziierten Parietallappen stärker als geschriebene oder gesprochene Zahlwörter. Dies spricht für eine automatisiertere Aktivierung visuo-spatialer Prozesse durch die arabischen Zahlen. Diese Hypothese scheint den Ergebnissen von Nuerk et al. (2005) zur Amodalität des SNARC-Effektes zunächst zu widersprechen. Allerdings kann aus der Studie von Nuerk und Mitarbeitern nicht notwendigerweise geschlossen werden, dass ein im Parietallappen lokalisiertes visuo-spatiales Netzwerk durch die arabischen Zahlen nicht stärker aktiviert wird als durch andere Notationen und Modalitäten. Anders ausgedrückt, nicht alle Prozesse der räumlichen Aufmerksamkeit müssen im SNARC-Effekt deutlich werden.

Drittens, erhöhte Aufmerksamkeit auf die Stimuli und den Größenvergleich führt zu verstärkter Aktivierung parietaler Areale. In unserer Studie gaben die Probanden an, die Bedingungen mit den auditiven Stimuli tendenziell für schwieriger zu halten. Allerdings zeigte sich, dass nicht die erhöhte Aufmerksamkeit auf den Stimulus alleine zu parietalen

Aktivierungen führt. Nur wenn die erhöhte Aufmerksamkeit auch auf den Größenvergleich gerichtet ist, scheint der Parietallappen vermehrt aktiviert zu werden. Funktionell sind hierbei aktivierte visuo-spatiale Prozesse denkbar. In der Paritätsaufgabe hingegen scheinen die auditiven Stimuli vermehrt Areale der semantischen Wortverarbeitung zu aktivieren.

Weiter können folgende Aussagen über Aktivierungen des occipito-temporalen Bereiches getroffen werden:

Visuell präsentierte Zahlen aktivieren in allen Bedingungen den inferioren occipito-temporalen Übergang. Wie von Dehaene und Cohen (1995) postuliert, scheinen diese Areale nicht nur der visuellen Enkodierung zu dienen sondern auch an bestimmte Aufgaben geknüpft zu sein. Denn, während sich in der Größenvergleichsaufgabe in beiden Hemisphären gleichstarke Aktivierungen des occipito-temporalen Übergangs darstellen, zeigen die gleichen Areale in der Paritätsaufgabe eindeutige Lateralisierungstendenzen. So finden wir bei den arabischen Zahlen eine Lateralisierung nach rechts bzw. eine schwächere linkshemisphärische Aktivierung. Umgekehrt zeigt sich bei den geschriebenen Zahlwörtern eine Linkslateralisierung bzw. schwächere rechtshemisphärische Aktivierung.

Unsere Aktivierungen finden sich auch in den Studien von Dehaene und Mitarbeitern (1996) sowie Rickard et al. (2000), die ebenfalls in der Größenvergleichsaufgabe keine Lateralisierung im Bereich des occipito-temporalen Übergangs darstellen konnten.

Ob die Paritätsaufgabe nun im Bereich der visuellen Zahlenform durchgeführt wird oder die Paritätsentscheidung von einem anderen Areal aus hemmende oder erregende Einflüsse auf den occipito-temporalen Übergang hat, kann durch unsere Untersuchung nicht geklärt werden. Es zeigt sich allerdings eindeutig, dass eine Verknüpfung der Paritätsentscheidung mit dem inferioren occipito-temporalen Übergang existiert.

Für die verwendeten visuellen Stimuli steht dies im Einklang mit dem Triple-Code Modell. Hinweise dafür, dass auch die gesprochenen Zahlen, wie von Dehaene (1993) postuliert, vor dem Zugriff auf die Paritätsinformation in der visuellen Zahlenform in den arabischen Code transkodiert werden, finden sich in unseren Ergebnissen allerdings nicht.

Vielmehr zeigt sich bei den gesprochenen Zahlen in der Paritätsaufgabe eine verstärkte Aktivierung der Areale, die der semantischen Wortverarbeitung zugeschrieben sind. Diese Ergebnisse unterstützen die Vorstellung von Nuerk (in persönlicher Kommunikation) dass die

Paritätsinformation mit zwei verschiedenen Arealen verknüpft ist: auf der einen Seite, besonders für die visuellen Stimuli, mit der oben beschriebenen visuellen Zahlenform; auf der anderen Seite, bevorzugt bei verbalen Stimuli, mit verbal-linguistischen Arealen. Denkbar ist, dass auf beide Areale nach individueller Präferenz zugegriffen werden kann. Diese Vorstellung findet Unterstützung in der Studie von Dehaene (1993), der einen Odd-Effekt nur in der Subgruppe der Literaturstudenten finden konnte. Auch die Untersuchung von Reynvoet und Brysbaert (1999), die einen MARC-Effekt für arabische Zahlen bei Psychologiestudenten feststellen konnten, während dies in anderen Studien nicht gelang (Willmes und Iversen, 1995), spricht für diese Hypothese.

6.2. Einflüsse der Aufgabenstellung innerhalb einer Notation und Modalität

Die Kontraste, in denen wir die in unserem Experiment verwendeten Aufgabenstellungen innerhalb der gleichen Notation und Modalität miteinander vergleichen, sollen uns Hinweise zu eventuellen aufgabenspezifischen Effekten in der Zahlenverarbeitung bringen. Hierbei ergibt sich die Schwierigkeit, dass die verschiedenen Aufgabenstellungen starke Niveauunterschiede der Kortexaktivierungen evozierten, welche im Vergleich der Notationen und Modalitäten nicht besonders in den Vordergrund traten, den Vergleich zwischen den Aufgabenstellungen aber sehr schwierig gestalten.

6.2.1. Größenvergleichsaufgabe

Im Vergleich der Größenvergleichsaufgabe mit der Paritätsaufgabe innerhalb der Notationen lassen sich nur sehr wenige Aktivierungen darstellen. Für gesprochene Zahlwörter bleiben in den Kontrastbildern sogar keine Aktivierungen übrig. Somit scheint die Größenvergleichsaufgabe in allen Notationen und Modalitäten zu deutlich weniger Kortexaktivierungen zu führen als die Paritätsaufgabe. Dies könnte auf eine automatisiertere Verarbeitung der Größenentscheidung hinweisen.

Der Kontrast, der den Vergleich der Größenvergleichsaufgabe mit der Paritätsaufgabe für arabische Zahlen darstellt, zeigt bilaterale Aktivierungen der Occipitalpole. Diese zeigen in der linken Hemisphäre eine Lateralisierungstendenz im Sinne des ventralen Pfades der visuellen Objektverarbeitung auch wenn der inferiore occipito-temporale Übergang nicht erreicht wird. Rechtshemisphärisch bleibt die Aktivierung hingegen auf den Polbereich beschränkt. Eine Erklärungsmöglichkeit bieten hierzu die notationsabhängigen Lateralisierungen der visuellen Zahlenform in der Paritätsaufgabe. Da die arabischen Zahlen

in dem Vergleich mit den geschriebenen und gesprochenen Zahlwörtern in der Paritätsaufgabe eine rechtsbetonte Aktivierung des occipito-temporalen Übergangs evozieren, welche in der Größenvergleichsaufgabe nicht auftritt, bewirkt diese in dem Vergleich der Aufgabenstellungen eine Linkslateralisierung in der Größenvergleichsaufgabe.

Weiter stellen sich in dem Vergleich der Größenvergleichsaufgabe mit der Paritätsaufgabe innerhalb der arabischen Zahlen zwei kleine präfrontale Aktivierungen rechts dar. Diese sind eventuell auf eine verstärkte Aktivierung des dorsalen visuellen Pfades zurückzuführen. Wie in der Studie von Fias und Mitarbeitern (2002) dargestellt, scheint eine Differenzierung zwischen dem ventralen und dorsalen visuellen Pfad der Objektverarbeitung durch die Hinzunahme eines quantitativen Vergleiches möglich zu sein. Somit ist denkbar, dass die Größenvergleichsaufgabe im Vergleich mit der Paritätsaufgabe die quantitative Komponente der visuellen Verarbeitung stärker aktiviert.

In dem Vergleich der Aufgabenstellungen innerhalb der geschriebenen Zahlwörter finden sich für die Größenvergleichsaufgabe nur primär visuelle Aktivierungen des Occipitallappens. Präfrontale Aktivierungen, wie wir sie für die arabischen Zahlen zeigen konnten, stellen sich nicht dar. Wir können somit vermuten, dass eine verstärkte Aktivierung des dorsalen Pfades durch die Größenvergleichsaufgabe nur bei den arabischen Zahlen in Erscheinung tritt bzw. bei den geschriebenen Zahlwörtern unterhalb des Signifikanzniveaus blieb. Diese Hypothese unterstreichen auch die oben beschriebenen notationsspezifischen Effekte.

6.2.2. Paritätsaufgabe

Im Vergleich mit dem Größenvergleich scheint die Paritätsentscheidung deutlich weniger automatisiert zu verlaufen. Somit finden wir insgesamt stärkere Kortexaktivierungen in der Paritätsaufgabe, mit Ausnahme des Parietallappens, in dem sich, wie auch in dem umgekehrten Vergleich der Aufgabenstellungen, keine Aktivierungen darstellen. Dies steht zunächst im Widerspruch zu den Ergebnissen der notations- und modalitätsspezifischen Kontraste. Ein Teil der dort beschriebenen parietalen Aktivierungen wurde auf kombinierte notations-/modalitäts- und aufgabenabhängige Effekte zurückgeführt und sollte im direkten Vergleich der Aufgaben in Erscheinung treten. Eine Erklärung hierfür kann darin gesehen werden, dass die Aktivierungsdifferenzen für den verwendeten Schwellenwert in dem direkten Kontrast zu niedrig sind. Die gleiche Erklärung gilt für die fehlenden Aktivierungen des inferioren occipito-temporalen Übergangs. Dort sollten wir nach den Resultaten der oben

beschriebenen Kontraste notationsabhängige Lateralisierungen im Vergleich der Aufgabenstellung darstellen können. Diese treten jedoch nur in Erscheinung, sobald wir den Schwellenwert p weiter senken, worauf wir zugunsten der besseren Vergleichbarkeit der Kontraste verzichtet haben.

Interessanterweise finden wir im Vergleich der Paritätsaufgabe mit der Größenvergleichsaufgabe innerhalb der gesprochenen Zahlwörter ein Areal, welches wir bereits in der Diskussion der modalitätsspezifischen Kontraste mit verbal-linguistischen Effekten in der Paritätsaufgabe in Verbindung gebracht haben. In dem Vergleich der Modalitäten in der Paritätsaufgabe fanden wir bilaterale Aktivierungen des mittleren Temporallappens. Diese sind nach Booth et al. (2002) in der semantischen Wortverarbeitung involviert. Wir schließen daraus, dass ein Teil dieser Areale auch eine wichtige Rolle in der Paritätsentscheidung spielt und vor allem bei verbalen Formaten aktiviert sein könnte. In dem Vergleich der Paritätsaufgabe mit der Größenvergleichsaufgabe zeigt sich nun eine Aktivierung des posterioren mittleren Temporallappens im Brodmann-Areal 21. Diese ist bei einem Schwellenwert von $p < 0,01$ nur linkshemisphärisch zu finden. Dies ist mit der linkshemisphärischen Dominanz der sprachlichen Areale vereinbar. Das gleiche Brodmann-Areal zeigt sich auch in dem Vergleich der Aufgabenstellungen innerhalb der geschriebenen Zahlwörter. Jedoch liegt dieses Areal mit fast 50 mm deutlich anteriorer und somit in einem anderen Temporallappenbereich.

6.2.3. Aufgabenübergreifende Diskussion

Innerhalb der verschiedenen Inputformate können wir folgende Hypothesen aufstellen:

Generell finden wir bei der Paritätsaufgabe deutlich mehr Kortexaktivierungen als bei der Größenvergleichsaufgabe. Es können hierfür zwei Erklärungen gefunden werden: Auf der einen Seite wird der Größenvergleich im Alltag deutlich häufiger verwendet als die Paritätsentscheidung. Auf der anderen Seite kann der Größenvergleich nicht nur von Menschen ab dem Grundschulalter sondern für kleine Anzahlen auch von Kleinkindern und auch Tieren durchgeführt werden (Nieder, 2005; Feigenson, Dehaene, Spelke, 2004). Somit kann dem Größenvergleich eine lange evolutionäre Entwicklung unterstellt werden. Die Zahleneigenschaft der Parität hingegen erlernen wir erst im Grundschulalter. Diese Argumente sprechen für eine erhöhte Automatisität der Durchführung der Größenvergleichsaufgabe im Vergleich zur Paritätsaufgabe. Der Größenvergleich geschieht

somit auf einem niedrigeren Aufmerksamkeitsniveau, welches für eine generell niedrigere Kortexaktivierung sorgt.

In dem von Dehaene postulierten Bereich der visuellen Zahlenform stellen sich in den Vergleichen der Aufgabenstellungen keine Aktivierungen dar. Wir gehen jedoch trotzdem davon aus, dass dieses Areal beim Größenvergleich und bei der Paritätsaufgabe unterschiedlich aktiviert wird, wie es die Kontraste in dem Vergleich der Notationen und Modalitäten dargestellt haben. Die dort vorhandenen Lateralisierungstendenzen scheinen in dem direkten Vergleich der Aufgabenstellungen jedoch unterhalb des Signifikanzniveaus zu liegen.

Im intraparietalen Sulcus finden wir auch in dem Vergleich der Aufgabenstellungen keine Aktivierungen. Dies unterstützt erneut die Hypothese eines modalitäts-/notations- und aufgabenunabhängigen Areals zur quantitativen Größenrepräsentation im Bereich des intraparietalen Sulcus, wie es von verschiedenen Autoren bereits postuliert wurde (Eger et al., 2003; Dehaene et al., 2003). Die Vorstellungen von Thioux et al. (2005), die ebenfalls keine Aktivierungen des intraparietalen Sulcus im Vergleich der Größenvergleichsaufgabe mit der Paritätsaufgabe darstellen konnten und hieraus folgerten, dass beide Aufgabenstellungen ähnliche Areale aktivierten, können durch unsere Ergebnisse jedoch nicht bestätigt werden. Denn erstens fanden wir insgesamt deutlich stärkere Kortexaktivierungen in der Paritätsaufgabe als in der Größenvergleichsaufgabe, wodurch sich unsere Ergebnisse von denen Thioux und seinen Mitarbeitern unterscheiden. Zweitens können durch die Lateralisierungstendenzen im Bereich der visuellen Zahlenform sowie den Aktivierungen im linkshemisphärischen mittleren Temporallappen anderweitige Hypothesen zur Repräsentation der Paritätsentscheidung aufgestellt werden, wie ich im folgenden Absatz näher erläutern werde. Denkbar ist natürlich auch hier, dass eventuelle Aktivierungsunterschiede im IPS im direkten Vergleich unterhalb des Signifikanzniveaus bleiben. Da allerdings auch in dem Vergleich der Notationen und Modalitäten kein Hinweis auf aufgabenabhängige Aktivierungstendenzen im IPS dargestellt werden konnte, gehen wir in Einklang mit der aktuellen Studienlage auch nicht davon aus, dass wir diese auf einem niedrigeren Signifikanzniveau darstellen könnten.

Besonders hervorgehoben werden sollen an dieser Stelle die Aktivierungen des linkshemisphärischen posterioren Anteils des mittleren Temporallappens in der Paritätsaufgabe. Diese tritt nur im Aufgabenvergleich innerhalb der auditiven Stimuli auf. Das

gleiche Areal zeigte sich auch im modalitätsspezifischen Vergleich der gesprochenen Zahlwörter mit den arabischen Zahlen und in etwas schwächerer Form mit den geschriebenen Zahlwörtern. In der Zusammenschau könnte dieses Areal somit mit der verbal-linguistischen Komponente der Paritätseigenschaft verknüpft sein. Wie wir bereits in dem Vergleich der notations-/modalitätsspezifischen Kontraste innerhalb der Paritätsaufgabe dargestellt haben, ist es denkbar, dass dieses Areal nach individueller Präferenz in der Paritätsentscheidung aktiviert wird.

6.3. Antworttasten-assozierte / räumliche Effekte

Aufgrund der Wiederholung unseres Experimentes in einem zweiten Durchgang, in dem außer dem Hinzufügen von Reaktionstasten und der Abänderung der numerischen Stimulusabfolge keine Veränderungen im Vergleich zum ersten Durchgang vorgenommen wurden, können wir in dem Vergleich der Durchgänge über alle Bedingungen die Aktivierungen darstellen, die an die motorische Entscheidungsbestätigung gebunden sind.

Erwartungsgemäß zeigen sich im zweiten Durchgang bilaterale Aktivierungen des primär somatomotorischen und somatosensiblen Kortex. Diese liegen nach der somatotopischen Gliederung im Bereich der distalen oberen Extremität (Penfield und Rasmussen, 1950), welches dadurch zu erklären ist, dass die von uns verwendeten Antworttasten nicht nur durch einzelne Fingerbewegungen sondern je nach individueller Handhaltung, Motivation und Kraftaufwand auch mit der gesamten Fingerflexorenmuskulatur des Unterarms zusammengedrückt wurden.

Auch im ersten Durchgang finden wir Aktivierungen des somatomotorischen Kortex. Gemäß motorischem Homunkulus stellen diese jedoch Areale der Zungen- und Kehlkopfbewegung dar. Denkbar ist somit, dass die Probanden im ersten Durchgang ihre Entscheidungen verstärkt intern verbalisiert haben könnten. Unterstützung erhält diese Vermutung durch eine Aktivierung des linkshemisphärischen dorsolateralen präfrontalen Kortex im Vergleich des ersten mit dem zweiten Durchgang, welche nach Cabeza und Nyberg (2000) für einen Inhibierungsversuch einer verbalen oder motorischen Entscheidungsbekräftigung stehen könnte. Alternativ ist auch daran zu denken, dass aufgrund der Wiederholung des Experimentes im zweiten Durchgang ein Gewöhnungseffekt auftreten könnte, sodass in der Kontrastierung der Durchgänge für den ersten Durchgang generell vermehrte Kortexaktivierungen darstellbar sein könnten. Hierfür spricht auch eine erhöhte

Precuneusaktivierung im ersten Durchgang, ein Areal, welches mit erhöhter Aufmerksamkeit assoziiert ist.

Neben dem Vergleich aller Bedingungen des ersten und zweiten Durchgangs haben wir auch einzelne Kontraste berechnet, von denen wir uns Aufschlüsse über spezifische Aktivierungen in Verbindung mit dem SNARC und MARC Effekt erhofften. Beide Effekte wurden in Reaktionszeitexperimenten mit Antworttasten dargestellt und sind, wenn auch auf unterschiedliche Art und Weise, an Räumlichkeit gebunden. Der SNARC-Effekt konnte ursprünglich verstärkt für arabische Zahlen dargestellt werden (Dehaene, 1993). Somit wählten wir den Vergleich des zweiten mit dem ersten Durchgangs für arabische Zahlen in beiden Aufgabenstellungen, um hypothetische spezifische Aktivierungen für den SNARC-Effekt aufzuzeigen.

Wie auch in dem Vergleich aller Bedingungen des zweiten mit dem ersten Durchgang zeigen sich auch in dem Kontrast der arabischen Zahlen in beiden Aufgabenstellungen vor allem Aktivierungen des somatomotorischen und somatosensiblen Kortex. Diese befinden sich ebenfalls in den motorischen und sensorischen Representationen der distalen oberen Extremität beidseits. Hypothetische spezifische Areale für den SNARC-Effekt können wir somit nicht darstellen.

Mit Blick auf die Ergebnisse der aufgabenspezifischen Kontraste wählten wir zur Darstellung hypothetischer MARC-spezifischer Aktivierungen die Vergleiche des zweiten und ersten Durchgangs in der Paritätsaufgabe. Als Stimuli wählten wir einerseits die geschriebenen andererseits die gesprochenen Zahlwörter, welche in den Untersuchungen von Hines (1990), Dehaene et al. (1993) sowie Willmes und Iversen (1995) den Effekt der linguistischen Markiertheit am deutlichsten dargestellt hatten. Besonderes Interesse gilt in diesen Kontrasten dem linkshemisphärischen Brodmann Areal 21, welches sich in dem Vergleich der Aufgabenstellungen als ein Areal darstellte, das aufgabenabhängig eventuelle linguistische Verarbeitungsprozesse von Zahlen repräsentiert. Hier zeigen sich auf dem von uns verwendeten Signifikanzniveau allerdings keine Aktivierungen. Für die Aktivierungen anderer Areale in diesem Kontrast lassen sich nach unserer Einschätzung keine zahlenverarbeitungsspezifischen Zusammenhänge darstellen. Somit kann in unserem Experiment weder ein Hinweis für ein MARC- noch für ein SNARC-Effekt assoziiertes Areal gefunden werden, welches sich durch den Vergleich der Bedingungen mit und ohne Reaktionstasten darstellen lässt.

Folgende Schlüsse können wir hieraus ziehen: Die Verknüpfung der numerischen Zahlengröße mit einer räumlichen Zuordnung scheint ohne Aktivierung eines zusätzlichen Kortexareals zu geschehen. Dies unterstreicht erneut die Hypothese einer automatischen räumlichen Beziehung von Zahlen mit ihrer numerischen Größe, welche auch durch die Studien von Fischer (2001 und 2003) gestützt werden konnte. Als notwendig für diese automatische Assoziation wird von Nuerk et al. (2005) ein starkes visuelles oder taktiles Feedback angesehen, da Fischer und Hill (2004) in einem dunklen Raum bei auditiven Stimuli nur bei überkreuzt gehaltenen Antworttasten einen SNARC-Effekt darstellen konnten. Dies war in unserem Experiment gegeben, da bei allen Bedingungen mit und ohne Antworttasten die Augen offen und auf einen festen Bildschirm fokussiert gehalten wurden.

6.4. Evaluierung der aktuellen Zahlenverarbeitungsmodelle

Unsere Ergebnisse unterstützen grundsätzlich das Triple-Code Modell von Dehaene und Cohen (1995) und deren Ergänzungen durch Dehaene 2003. Dies zeigt sich einerseits in den in allen Kontrasten fehlenden Aktivierungen des horizontalen intraparietalen Sulcus als Zeichen einer automatischen, modalitäts- und notationsunabhängigen Größenrepräsentation von Zahlen. Andererseits finden wir bei den auditiven Stimuli perisylvische Aktivierungen, welche sich jedoch entgegen dem Modell von Dehaene (2003) nicht bis zum Gyrus angularis erstrecken. Besonders deutliche Unterstützung erhält das Triple-Code Modell durch die Aktivierungen des inferioren occipito-temporalen Übergangs in unserem Experiment. Denn hier bestätigt sich die von Dehaene postulierte Verknüpfung der Paritätsaufgabe mit der visuellen Zahlenform. Diese basierte bisher allein auf einem Vergleich der Kongruenzeffekte arabischer und geschriebener französischer Zahlwörter (Dehaene, 1992). Da bei arabischen Zahlen die Entscheidung "gerade/ungerade" schneller auf den Stimulus "24" als auf "14" erfolgte und sich dies bei dem Vergleich "dix-neuf" und "dix-huit" nicht erfassen ließ, schlussfolgerte Dehaene, dass vor der Paritätsentscheidung eine Transkodierung des Stimulus in das arabische Format erfolgen müsse. Unabhängig von dieser Hypothese zeigt sich in unserem Experiment ein Einfluss der Paritätsaufgabe auf die Aktivierung der visuellen Zahlenform. So scheinen arabische Zahlen zu einer Rechtslateralisierung und geschriebene Zahlen zu einer Linkslateralisierung zu führen. Auch dies steht in Übereinstimmung mit dem Triple-Code Modell. Hinweise für eine Transkodierung der auditiven Stimuli in das arabische Format vor der Paritätsentscheidung finden sich allerdings nicht.

Unterstützung durch unsere Ergebnisse erhält ferner das Modell von Campbell und Clark (1988). Dieses "encoding-complex" Modell bietet durch seine vielfältigen semantischen und asemantischen Verarbeitungswege eine Erklärungsmöglichkeit für die in unserem Experiment dargestellten modalitäts-/notations- und aufgabenabhängigen Effekte. Spezifischere Hypothesen können allerdings aufgrund der fehlenden Konkretisierung nicht aus diesem Modell gewonnen werden. Das gleiche trifft auch auf die "preferred entry code" Hypothese von Noel und Seron (1993) zu. Hier wird jedoch auf einen besonderen Aspekt eingegangen, der sich in den Ergebnissen unseres Experimentes wiederfindet. Denn Noel und Seron gehen davon aus, dass zur semantischen Verarbeitung eine Transkodierung des Eingangsformates in ein individuell bevorzugtes Format vollzogen wird. Diese Vorstellung kann für die Größenvergleichsaufgabe in unserem Experiment nicht bestätigt werden. In der Paritätsaufgabe hingegen sind zumindest zwei Verarbeitungswege mit unseren Ergebnissen vereinbar: Einerseits durch die Aktivierung der visuellen Zahlenform; andererseits durch die Stimulierung verbal-linguistischer Areale. Wie die Untersuchungen Dehaenes (1993) und Reynvoet et al. (1999) zum Odd-Effekt und zum MARC-Effekt vermuten lassen, scheint die Verarbeitung der Paritätsentscheidung nach individueller Präferenz unterschiedlich durchgeführt zu werden. Bei visuellen Stimuli und bevorzugtem arabischen Verarbeitungsformat könnte demnach zur Paritätsentscheidung verstärkt die rechtsseitige visuelle Zahlenform aktiviert werden. Bei verbalen Stimuli und verbal-linguistischen Vorlieben sind hiernach Aktivierungen des linkshemisphärischen Gyrus temporalis medius im Bereich des Brodmann Areals 21 zu erwarten.

Das Modell von McCloskey et al. (1985) findet in unseren Ergebnissen keinerlei Unterstützung. In diesem Modell sind aufgrund einer zentralen semantischen Größenrepräsentation keine Modalitäts-/Notations- und Aufgabenunterschiede zu erwarten, wie sie sich jedoch in unserem Experiment dargestellt haben. Dies gilt auch für das Multiple-Route-Modell von Cipolotti und Butterworth (1995) und letztlich auch für das "hybrid-model" von Fias et al. (1996), welche dem Modell von McCloskey und Mitarbeitern für die semantischen Verarbeitungsprozesse gleichen.

7. Zusammenfassung

7.1. Zusammenfassung

Einleitung

Nach den Vorstellungen von Dehaene und Cohen (1995) und deren Ergänzung durch Dehaene et al. (2003) werden Zahlen in Abhängigkeit der Notation, Modalität und Aufgabenstellung in einem Netzwerk aus drei verschiedenen Codes verarbeitet, die mit drei anatomischen Representationen verknüpft sind. Hierbei wird dem horizontalen intraparietalen Sulcus bilateral die Funktion eines zahlenspezifischen, analogen Größencodes zugewiesen. Verbale Formate sowie Multiplikation und arithmetisches Faktenwissen sollen in perisylvischen Arealen linkshemisphärisch representiert werden. Schließlich soll die Paritätsaufgabe und die visuelle Zahlenform an den occipito-temporalen Übergang geknüpft sein, wobei die arabischen Zahlen rechtsseitig und die geschriebenen Zahlwörter linksseitig verarbeitet werden. Die Annahme der Bindung der Paritätsaufgabe an die visuelle Zahlenform beruht jedoch nur auf der Interpretation eines Reaktionszeitexperimentes von Dehaene (1992). Untersuchungen des MARC-Effektes zeigen jedoch auch eine verbal-linguistische Komponente der Paritätsentscheidung (Willmes & Iversen, 1995). Dies lässt einen notations- und modalitätsabhängigen zweiten Verarbeitungsweg der Paritätsentscheidung vermuten. Die Paritätsaufgabe sowie der direkte Notations- und Modalitätsvergleich in der Zahlenverarbeitung wurden in funktionell bildgebenden Experimenten bisher wenig untersucht. Unsere fMRT-Studie zur Notation-/Modalitäts-, Aufgaben- und Antwortspezifität in der Zahlenverarbeitung versuchte hier neue Argumente für die o. g. Hypothesen zu finden.

Methoden

In einer fMRT-Studie untersuchten wir an 16 gesunden Probanden eine Größenvergleichs- und eine Paritätsaufgabe. Als Stimuli verwendeten wir arabische Zahlen sowie visuelle und auditive Zahlwörter. Die Entscheidung erfolgte in einem ersten Durchgang mental, in einem zweiten Durchgang mit Antworttasten zur motorischen Entscheidungsbekräftigung.

Ergebnisse

Notations-/Modalitätsspezifität: Visuelle Stimuli führten bilateral im Bereich des unteren occipito-temporalen Übergangs zu Aktivierungen. Während sich diese bei der

Größenvergleichsaufgabe in beiden Hemisphären gleichstark darstellten, zeigten sich bei der Paritätsaufgabe Lateralisierungstendenzen: Bei den arabischen Zahlen fanden sich rechts-, bei den geschriebenen Zahlwörtern linksseitig stärkere Aktivierungen. Die auditiven Zahlwörter aktivierten sowohl in der Größenvergleichsaufgabe wie in der Paritätsaufgabe perisylvische Areale im Bereich des superioren Temporallappens. In der Paritätsaufgabe fanden sich darüber hinaus auch Aktivierungen des posterioren Anteils des mittleren Temporallappens (BA 21). Aktivierungen des horizontalen Anteils des intraparietalen Sulcus ließen sich im Vergleich der Notationen und Modalitäten nicht darstellen. Aufgabenspezifität: Generell zeigte sich bei der Paritätsaufgabe eine deutlich stärkere Kortexaktivierung als bei der Größenvergleichsaufgabe. Die oben beschriebenen Lateralisierungstendenzen des occipito-temporalen Übergangs bei den Visuellen Stimuli stellten sich im direkten Vergleich der Aufgabenstellungen nicht dar. Die auditiven Zahlwörter hingegen aktivierten auch in dem Vergleich der Aufgabenstellungen in der Paritätsaufgabe posteriore Anteile des linkshemisphärischen mittleren Temporallappens. Antwortspezifität: Im Vergleich der Durchgänge (mit und ohne Antworttasten) fanden wir Aktivierungen des primär somatomotorischen und somatosensiblen Kortex. Zusätzliche Aktivierungen zeigten sich nicht.

Schlussfolgerung

Unsere Ergebnisse unterstützen die Hypothese eines zahlenspezifischen Areals im Bereich des horizontalen intraparietalen Sulcus wie es von Eger et al. (2003) und Dehaene (2003) beschrieben wurde. Ferner sprechen die Lateralisierungstendenzen der visuellen Zahlenform in der Paritätsaufgabe für die von Dehaene (1992) postulierte Bindung der Paritätsaufgabe an den occipito-temporalen Übergang. Die perisylvischen Aktivierungen bei gesprochenen Zahlwörtern können als Representation des auditiv-verbalen Codes interpretiert werden. Diese Ergebnisse unterstützen grundsätzlich das Triple-Code Modell von Dehaene und Cohen (1995) und deren Ergänzungen durch Dehaene 2003. Weiter konnte für auditive Zahlwörter in der Paritätsaufgabe eine Aktivierung des posterioren mittleren Temporallappens links darstellen. Diese Aktivierung könnte mit der im Odd- und MARC-Effekt beschriebenen verbal-linguistischen Komponente der Paritätseigenschaft verknüpft sein. Denkbar ist somit, dass dieses Areal die Paritätseigenschaft alternativ zur visuellen Zahlform repräsentiert und nach individueller Präferenz bei verbalen Formaten aktiviert. Weitere Untersuchungen zur Bestätigung dieser Hypothese bleiben abzuwarten.

7.2. Summary

Two routes for parity decision: A fMRI study of notation- and modality-specificity in number processing

Introduction:

According to Dehaene and Cohen (1995) as well as Dehaene et al. (2003), numbers are processed depending on notation, modality and task. Three codes are claimed to build a network of functional and anatomical number representations. First, an abstract semantic magnitude representation is assumed to be connected bilaterally to the horizontal intraparietal sulcus. Second, verbal formats as well as multiplication and arithmetical fact retrieval are supposed to be represented in left hemispheric perisylvic areals. Last, parity decision and the visual number form are presumed to be connected to inferior occipito-temporal junction, on the left side for arabic numerals, on the right side for written number words. But the idea of the connection between the parity decision and the visual number form is only based on one reaction time experiment by Dehaene (1992). Investigations on the MARC-Effect also show verbal-linguistic influences on the parity decision (Willmes & Iversen, 1995). Therefore a second route for processing which is notation- and modality dependent could be assumed. The parity decision as well as the direct comparison of notations and modalities in number processing has rarely been examined in fMRI studies. Our experiment is supposed to find new arguments for two routes to take the parity decision.

Methodes:

In a fMRI study we investigated sixteen healthy volunteers in a magnitude comparison and a parity decision task in three input formats (arabic numerals, written and spoken number words). The decision was taken mentally in the first run and by response keys in the second run.

Results:

Notation- and modality-specificity: Visual stimuli produced bilateral activations of the inferior occipito-temporal junction. The activations were similar in the magnitude comparison task but lateralized in the parity decision task: Activations for arabic numerals were stronger

in the right hemisphere, whereas activations for written number words were stronger in the left hemisphere. Auditory stimuli produced activations in the perisylvic areas as well as the superior temporal lobe in both tasks. But only in the parity decision task could additional activations be found in the posterior part of the middle temporal lobe (BA 21). Activations in the horizontal part of the intraparietal sulcus could neither be found by comparing different notations nor by comparing modalities. Task-specificity: In general, during the parity decision task, stronger activations were measured than during the magnitude comparison task. The lateralization tendencies towards a certain hemisphere mentioned above could not be seen in the direct comparison of the tasks. The spoken number words, on the other hand, again showed activations of the posterior part of the left hemispheric middle temporal lobe. Response-specificity: No additional activations to the presumed somatomotoric and somatosensory cortex activations have been found.

Conclusion:

Our results generally support the hypothesis of a number of specific representation located in the horizontal part of the intraparietal sulcus as assumed by Eger et al. (2003) and Dehaene (2003). Furthermore, the lateralization tendencies for the different stimuli in the parity decision task underline a functional connection between the parity decision and the inferior occipito-temporal junction as postulated by Dehaene (1992). The perisylvic activations for spoken number words can be seen as the representation of the auditory-verbal code. Therefore our results so far support the triple-code model of Dehaene and Cohen (1995). Additionally, an activation of the posterior part of the left hemispheric middle temporal lobe could be found for auditory stimuli during the parity decision task only. This activation could be the anatomical connection to the verbal-linguistic component of parity as described before by the Odd- and MARC-effect. Therefore this area could be a second route for the representation of parity. An interindividual preference between the visual number form and this verbal representation is assumed. Further investigations should take place.

8. Literaturangaben

Bachtold, D., Baumüller, M. & Brugger, P. (1998). Stimulus-response compatibility in representational space. *Neuropsychologia*, 36(8), 731-735.

Berch, D. B., Foley, E. J., Hill, R. J. & Ryan, P. M. (1999). Extracting parity and magnitude from Arabic numerals: developmental changes in number processing and mental representation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74(4), 286-308.

Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B. & Mesulam, M. M. (2002). Modality independence of word comprehension. *Human Brain Mapping*, 16(4), 251-261.

Brysbaert, M. (1995). Arabic number reading: on the nature of the numerical scale and the origin of phonological recording. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(4), 434-452.

Buckley, P. B. & Gillman, C. B. (1974). Comparisons of digits and dot patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 103(6), 1131-1136.

Burbaud, P., Camus, O., Guehl, D., Bioulac, B., Caille, J. M. & Allard, M. (1999). A functional magnetic resonance imaging study of mental subtraction in human subjects. *Neuroscience Letters*, 273(3), 195-199.

Burbaud, P., Degreze, P., Lafon, P., Franconi, J. M., Bouligand, B., Bioulac, B., Caille, J. M. & Allard, M. (1995). Lateralization of prefrontal activation during internal mental calculation: a functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neurophysiology*, 74(5), 2194-2200.

Burton, M. W., Noll, D. C. & Small, S. L. (2001). The anatomy of auditory word processing: individual variability. *Brain Language*, 77(1), 119-131.

Butterworth, B. (1999). A head for figures. *Science*, 284(5416), 928-929.

Cabeza, R. & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 1-47.

- Campbell, J. I. (1999). The surface form x problem size interaction in cognitive arithmetic: evidence against an encoding locus. *Cognition*, 70(2), B25-33.
- Campbell, J. I. D. & Clark, J. M. (1988). An encoding-complex view of cognitive number processing: Comment on McCloskey, Sokol and Goodman (1986). *Journal of Experimental Psychology*, 117 (2), 204-214.
- Chochon, F., Cohen, L., van de Moortele, P. F. & Dehaene, S. (1999). Differential contributions of the left and right inferior parietal lobules to number processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(6), 617-630.
- Cipolotti, L. & Butterworth, B. (1995). Toward a multiroute of number processing: Impaired number transcoding with preserved calculation skills. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(4), 375-390.
- Cohen, L., Lehericy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S. & Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the visual word form area. *Brain*, 125(5), 1054-1069.
- Corbetta, M., Kincade, J. M., Ollinger, J. M., McAvoy, M. P. & Shulman, G. L. (2000). Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience*, 3(3), 292-297.
- Culham, J. C., Cavanagh, P. & Kanwisher, N. G. (2001). Attention response functions: characterizing brain areas using fMRI activation during parametric variations of attentional load. *Neuron*, 32(4), 737-745.
- Dambeck, N., Nuerk, H. C., Weis, A., Thron, A. & Willmes, K. (2001). A fMRI study about notation- and task-specificity of functional activation for numbers. *19th European Workshop of Cognitiv Neuropsychology, Bressanone, 21.-26. Januar 2001*.
- De Yoe, E. A., Bandettini, P., Neitz, J., Miller, D. & Winans, P. (1994). Functional magnetic resonance imaging (fMRI) of the human brain. *Journal of Neuroscience Methods*, 54, 171-187.
- Dehaene, S. (1989). The psychophysics of numerical comparison: a reexamination of apparently incompatible data. *Perception & Psychophysics*, 45(6), 557-566.

- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44(1-2), 1-42.
- Dehaene, S. (1996). The organization of brain activations in number comparison: Event-related potentials and the additive-factors method. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(1), 47-68.
- Dehaene, S. & Akhavein, R. (1995). Attention, automaticity, and levels of representation in number processing. *Journal of Experimental Psychology*, 21(2), 314-326.
- Dehaene, S., Bossini, S. & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology*, 122(3), 371-396.
- Dehaene, S. & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, 1(1), 83-120.
- Dehaene, S. & Cohen, L. (1999). Language and elementary arithmetic: Dissociations between operations. *Brain and Language*, 69(3).
- Dehaene, S., Dupoux, E. & Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performances*, 16(3), 626-641.
- Dehaene, S., Le Clec, H. G., Poline, J. B., Le Bihan, D. & Cohen, L. (2002). The visual word form Area: A prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus. *Neuroreport*, 13(3), 321-325.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P. & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*.
- Dehaene, S., Tzourio, N., Frak, V., Raynaud, L., Cohen, L., Mehler, J. & Mazoyer, B. (1996). Cerebral activations during number multiplication and comparison: a PET study. *Neuropsychologia*, 34(11), 1097-1106.
- Delazer, M., Domahs, F., Bartha, L., Brenneis, C., Lochy, A., Trieb, T. & Benke, T. (2003). Learning complex arithmetic - an fMRI study. *Brain research. Cognitive brain research*, 18(1), 76-88.

- Duncan, E. M. & McFarland, C. E., Jr. (1980). Isolating the effects of symbolic distance and semantic congruity in comparative judgments: an additive-factors analysis. *Memory & Cognition*, 8(6), 612-622.
- Eger, E., Sterzer, P., Russ, M. O., Giraud, A. L. & Kleinschmidt, A. (2003). A supramodal number representation in human intraparietal cortex. *Neuron*, 37(4), 719-725.
- Feigenson, L., Dehaene, S. & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307-314.
- Fias, W., Brysbaert, M. & d'Ydewalle, G. (1996). Multiple routes in number processing? Yes for verbal numerals, no for arabic numerals? *Rep. No. 205. Leuven. University of Leuven, Belgium*.
- Fias, W., Brysbaert, M., Geypens, F. & d'Ydewalle, G. (1996). The importance of magnitude information in numerical processing: Evidence from the SNARC Effect. *Mathematical Cognititon*, 2: 95-110.
- Fias, W., Dupont, P., Reynvoet, B. & Orban, G. A. (2002). The quantitative nature of a visual task differentiates between ventral and dorsal stream. *Journal of Cognitiv Neuroscience*, 14(4), 646-658.
- Fias, W., Lammertyn, J., Reynvoet, B., Dupont, P. & Orban, G. A. (2003). Parietal representation of symbolic and nonsymbolic magnitude. *Journal of Cognitiv Neuroscience*, 15(1), 47-56.
- Fischer, M. H. (2001). Number processing induces spatial performance biases. *Neurology*, 57(5), 822-826.
- Fischer, M. H. (2003). Spatial representation in number processing - Evidence from a pointing task. *Visual Cognition*, 10, 493-508.
- Fischer, M. H. & Hill, R. J. (2004). A SNARC in the dark: Input modality affects number representation. *22st European Workshop of Cognitive Neuropsychology, Bressanone, 24.30.1.2004*

- Fischer, M. H. & Rottmann, J. (2005). Do negative numbers have a place on the mental number line? *Psychological Science*, 47(1), 22-33.
- Foltz, G. S., Poltrock, S. E. & Potts, G. R. (1984). Mental comparison of size and magnitude: size congruity effects. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory and Cognition*, 10(3), 442-453.
- Fulbright, R. K., Manson, S. C., Skudlarski, P., Lacadie, C. M. & Gore, J. C. (2003). Quantity determination and the distance effect with letters, numbers, and shapes: a functional MR imaging study of number processing. *American journal of neuroradiology*, 24(2), 193-200.
- Gevers, W., Reynvoet, B. & Fias, W. (2003). The mental representation of ordinal sequences is spatially organized. *Cognition*, 87(3), B87-95.
- Gevers, W., Reynvoet, B. & Fias, W. (2004). The mental representation of ordinal sequences is spatially organized: evidence from days of the week. *Cortex*, 40(1), 171-172.
- Graf, M., Nuerk, H. C. & Willmes, K. (2003). SNARC effect for irrelevant digits: An examination from 0-99. *21st European Workshop of Cognitive Neuropsychology, Bressanone, 26.-31. Januar 2003*.
- Graham, D. J. & Campbell, J. I. (1992). Network interference and number-fact retrieval: evidence from children's alphaplication. *Canadian journal of psychology*, 46(1), 65-91.
- Hines, T. M. (1990). An odd effect: lengthened reaction times for judgments about odd digits. *Memory & Cognition*, 18(1), 40-46.
- Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P. & Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature reviews. Neuroscience*, 6(6), 435-448.
- Iversen, W., Nuerk, H. C. & Willmes, K. (2004). Do signers think differently? The processing of number parity in deaf participants. *Cortex*, 40(1), 176-178.
- Kiefer, M. & Dehaene, S. (1997). The time course of parietal activation in single-digit multiplication: Evidence from event-related potentials. *Mathematical Cognition*, 3(1), 1-30.

- Le Clec, H. G., Dehaene, S., Cohen, L., Mehler, J., Dupoux, E., Poline, J. B., Lehericy, S., van de Moortele, P. F. & Le Bihan, D. (2000). Distinct cortical areas for names of numbers and body parts independent of language and input modality. *Neuroimage*, 12(4), 381-391.
- Lee, K. M. (2000). Cortical areas differentially involved in multiplication and subtraction: a functional magnetic resonance imaging study and correlation with a case of selective acalculia. *Annals of neurology*, 48(4), 657-661.
- Lochy, A., Seron, X., Delazer, M. & Butterworth, B. (2000). The odd-even effect in multiplication: parity rule or familiarity with even numbers? *Memory & Cognition*, 28(3), 358-365.
- Lyons, J. (1969). Semantics. *Cambridge: Cambridge University Press*.
- Maass, A. & Russo, A. (2003). Directional bias in the mental representation of spatial events: nature or culture? *Psychological Science*, 14(4), 296-301.
- McCandliss, B. D., Cohen, L. & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in cognitive sciences*, 7(7), 293-299.
- McCloskey, M., Caramazza, A. & Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation: evidence from dyscalculia. *Brain & Cognition*, 4(2), 171-196.
- Menon, V., Rivera, S. M., White, C. D., Glover, G. H. & Reiss, A. L. (2000). Dissociating prefrontal and parietal cortex activation during arithmetic processing. *Neuroimage*, 12, 357-365.
- Moyer, R. S. & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgements of numerical inequality. *Nature*, 215(109), 1519-1520.
- Naccache, L. & Dehaene, S. (2001). The priming method: imaging unconscious repetition priming reveals an abstract representation of number in the parietal lobes. *Cerebral Cortex*, 11(10), 966-974.
- Nieder, A. (2005). Counting on neurons: the neurobiology of numerical competence. *Nature reviews. Neuroscience*, 6(3), 177-190.

- Noel, M. P. & Seron, X. (1993). Arabic number reading deficit: a single case study or When 236 is read (2306) and judged superior to 1258. *Cognitive Neuropsychology*, 10 (4), 317-339.
- Nuerk, H. C., Iversen, W. & Willmes, K. (2003). On the magnitude and parity representation of numbers: The linguistic markedness of response codes (MARC) effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*.
- Nuerk, H. C., Iversen, W. & Willmes, K. (2004). Notational modulation of the SNARC and the MARC (linguistic markedness of response codes) effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*
- Nuerk, H. C., Wood, G. & Willmes, K. (2005). The universal SNARC effect: the association between number magnitude and space is amodal. *Experimental Psychology*, 52(3), 187-194.
- Penfield, W. & Rasmussen, T. (1950). The cerebral cortex of man. A clinical study of localisation of function. Macmillan. New York.
- Penner-Wilger, M., Leth-Steensen, C. & LeFevre, J. A. (2002). Decomposing the problem-size effect: a comparison of response time distributions across cultures. *Memory & Cognition*, 30(7), 1160-1167.
- Pesenti, M., Thioux, M., Seron, X. & De Volder, A. (2000). Neuroanatomical substrates of arabic number processing, numerical comparison, and simple addition: a PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(3), 461-479.
- Piazza, M., Mechelli, A., Butterworth, B. & Price, C. J. (2002). Are subitizing and counting implemented as separate or functionally overlapping processes? *Neuroimage*, 15(2), 435-446.
- Pinel, P., Dehaene, S., Riviere, D. & LeBihan, D. (2001). Modulation of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. *Neuroimage*, 14(5), 1013-1026.
- Pinel, P., Le Clec, H. G., van de Moortele, P. F., Naccache, L., Le Bihan, D. & Dehaene, S. (1999). Event-related fMRI analysis of the cerebral circuit for number comparison. *Neuroreport*, 10(7), 1473-1479.
- Poeck, K. & Hacke, W. (2001). Neurologie. Springer. Berlin.

- Price, C. J. & Devlin, J. T. (2003). The myth of the visual word form area. *Neuroimage*, 19(3), 473-481.
- Price, C. J., Winterburn, D., Giraud, A. L., Moore, C. J. & Noppeney, U. (2003). Cortical localisation of the visual and auditory word form areas: a reconsideration of the evidence. *Brain & Language*, 86(2), 272-286.
- Price, C. J., Wise, R. J., Warburton, E. A., Moore, C. J., Howard, D., Patterson, K., Frackowiak, R. S. & Friston, K. J. (1996). Hearing and saying. The functional neuro-anatomy of auditory word processing. *Brain*, 119 (Pt 3), 919-931.
- Reynvoet, B. & Brysbaert, M. (1999). Single-digit and two-digit Arabic numerals address the same semantic number line. *Cognition*, 72(2), 191-201.
- Rickard, T. C., Romero, S. G., Basso, G., Wharton, C., Flitman, S. & Grafman, J. (2000). The calculating brain: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 38(3), 325-335.
- Roland, P. E. & Friberg, L. (1985). Localization of cortical areas activated by thinking. *Journal of Neurophysiology*, 53(5), 1219-1243.
- Rueckert, L., Lange, N., Partiot, A., Appollonio, I., Litvan, I., Le Bihan, D. & Grafman, J. (1996). Visualizing cortical activation during mental calculation with functional MRI. *Neuroimage*, 3(2), 97-103.
- Sherman, M. (1976). Adjectival negation and the comprehension of multiply negated sentences. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 15, 143-157.
- Simon, O., Mangin, J. F., Cohen, L., Le Bihan, D. & Dehaene, S. (2002). Topographical layout of hand, eye, calculation, and language-related areas in the human parietal lobe. *Neuron*, 33(3), 475-487.
- Spelke, E. S. & Tsivkin, S. (2001). Language and number: a bilingual training study. *Cognition*, 78(1), 45-88.
- Stanescu-Cosson, R., Pinel, P., van De Moortele, P. F., Le Bihan, D., Cohen, L. & Dehaene, S. (2000). Understanding dissociations in dyscalculia: a brain imaging study of the impact of number size on the cerebral networks for exact and approximate calculation. *Brain*, 123 (Pt 11), 2240-2255.

- Talairach, J. & Tournoux, P. (1988). Co-Planar stereotactic atlas of the human brain. 3-Dimensional proportional system: An approach to cerebral imaging. Thieme. Stuttgart.
- Thioux, M., Pesenti, M., Costes, N., De Volder, A. & Seron, X. (2005). Task-independent semantic activation for numbers and animals. *Brain research. Cognitive brain research*, 24(2), 284-290.
- Thioux, M., Seron, X. & Pesenti, M. (1999). Functional Neuroanatomy of the semantic system: The case for numerals. *Brain & Language*, 69(3).
- Willmes, K. & Iversen, W. (1995). On the internal representation of number parity. *Paper presented at the Spring Annual Meeting of the British Neuropsychological Society. London, 5.-6. April 1995.*
- Zago, L., Pesenti, M., Mellet, E., Crivello, F., Mazoyer, B. & Tzourio-Mazoyer, N. (2001). Neural correlates of simple and complex mental calculation. *Neuroimage*, 13(2), 314-327.

9. Anhang

9.1. Aufklärungsbogen und Einwilligungserklärung:



IZKF – ZNS



Probanden- / Patienteninformation für fMRT-Untersuchungen

Sehr geehrte Versuchsteilnehmerin, sehr geehrter Versuchsteilnehmer,

wir danken Ihnen für Ihr Interesse an dieser Untersuchung mit Hilfe der MRT-Technologie (Magnetresonanztomographie) teilzunehmen und möchten Sie auf folgende Punkte hinweisen:

1. Die Teilnahme an dieser MRT-Untersuchung ist **freiwillig**. Die Teilnahme kann jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen werden, ohne dass Ihnen daraus Nachteile entstehen. Auch eine laufende Untersuchung wird auf Ihren Wunsch hin jederzeit unterbrochen.
2. Diese Untersuchung dient *nicht* der medizinischen Diagnostik. Die Ergebnisse dieser Untersuchung helfen uns, Funktionen des gesunden menschlichen Gehirns zu verstehen, um Heilungsprozesse nach einer Hirnschädigung in Zukunft besser zu erkennen und neue Behandlungsansätze zu entwickeln.
3. Falls sich während der MRT-Untersuchung bei Ihnen Anhaltspunkte für krankhafte Veränderungen im untersuchten Hirngebiet ergeben, werden Sie darüber von einem Facharzt anschließend ausführlich informiert und beraten.
4. **Ihre personenbezogenen Daten werden maschinell gespeichert und weiterverarbeitet. Die Speicherung, Auswertung und Weitergabe der studienbezogenen Daten erfolgt nach den gesetzlichen Bestimmungen ohne Namensnennung.**
5. Wenn weitere Fragen bestehen, werden diese gerne vom jeweiligen Untersuchungsleiter beantwortet.

WANN DÜRFEN SIE NICHT AN DER UNTERSUCHUNG TEILNEHMEN?

Die Anwendung von Magnetfeldern bei der MRT-Untersuchung schließt die Teilnahme von Personen aus, die elektrische Geräte (z.B. Herzschrittmacher, Medikamentenpumpen usw.) oder Metallteile (z.B. Schrauben nach Knochenbruch) im oder am Körper haben.

Frauen, die schwanger sind, werden nicht als Probandinnen zugelassen.

Weiterhin möchten wir darauf aufmerksam machen, dass bei Frauen die Spirale ihren Sitz durch das Magnetfeld verändern kann. Deshalb sollte der korrekte Sitz im Anschluss an die Untersuchung von einem Facharzt überprüft werden.

WAS IST FUNKTIONELLE MAGNETRESONANZ-TOMOGRAPHIE?

Die MRT-Technologie ist ein so genanntes nicht-invasives Verfahren, d.h. es ist für den Körper nach heutigem Erkenntnisstand völlig unschädlich. Sie basiert auf mehr als 20 Jahren Erfahrung und wird täglich in allen größeren Kliniken eingesetzt.

Das menschliche Gehirn besteht aus einer Vielzahl von Molekülen, die jeweils spezifische magnetische Eigenschaften aufweisen (sog. Kernspinnresonanz). Bei Anwendung von starken Magnetfeldern können diese gemessen und im Anschluss daran die Konzentration von Molekülen im Gehirn festgestellt werden. Auf diese Weise lässt sich die Durchblutung des Gehirns ermitteln, genauer die kontinuierlichen Veränderungen des Sauerstoffgehalts im Blut innerhalb weniger Sekunden. Diese Veränderungen ergeben spezifische Muster, je nach dem welche Sinnesreize oder Vorstellungen die Versuchsperson während der Messung innerlich verarbeitet. Auf diese Weise können unterschiedliche Funktionen des Gehirns sichtbar gemacht werden. Man spricht deshalb von funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT).

In dieser Untersuchung werden Sie gebeten Töne, Geräusche, Sprache oder Bilder zu verarbeiten. Um bei den Messungen im Gehirn verlässliche Ergebnisse zu erhalten, ist Ihre Kooperationsbereitschaft unbedingt erforderlich.

Sie liegen während der Untersuchung auf einem Tisch, der Sie mit dem Oberkörper in die Öffnung des MR-Tomographen hineinführt. Zusätzlich wird ein Magnetspulenrahmen um Ihren Kopf gelegt.

Während der Messung entstehen unterschiedlich laute Geräusche des MR-Tomographen, die von elektrischen Umschaltvorgängen der Magnetfelder herrühren. Um deren Einfluss gering zu halten tragen Sie einen Kopfhörer. Sie haben während der Untersuchung jederzeit die Möglichkeit, mit den Untersuchern über eine Wechselsprechanlage in Kontakt zu treten. Zusätzlich bekommen Sie einen gesonderten Alarmknopf für Notfälle, so dass sie auf Ihren Wunsch hin jederzeit aus dem MR-Tomographen herausgefahren werden können. Abgesehen von möglichen Unbequemlichkeiten, die vom langen, stillen Liegen resultieren, sollten keine Beschwerden während der Untersuchung auftreten.

Wir würden uns freuen, wenn Sie an der Untersuchung teilnehmen und damit unsere Forschung unterstützen. Bei Ihrer Bereitschaft zur Teilnahme bitten wir Sie den beiliegenden Fragebogen und die Einwilligungserklärung vor der Untersuchung vollständig auszufüllen und zu unterschreiben.

Untersuchungsdaten

Gerät:	☐ LKE (L0000) ☐ Neuro (N0000) ☐ Forschung (F0000) ☐ 3T (H0000)		
Untersuchung:	☐ Patient ☐ Proband ☐ Phantom	Datum:	
Studienname:		Reg.-Nr.:	
Name:		MOD-Nr.:	
Geb. Datum:		Dicom:	☐ ja ☐ nein
Händigkeit:	☐ rechts ☐ links	MR-Team:	
Gewicht:			

Messprotokoll

Abbr.	Nr.	Sequenz	Scans	Aufgabe
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			

Einwilligungserklärung

Ich bin über Wesen, Bedeutung und Tragweite der geplanten MRT-Untersuchung ausführlich schriftlich und mündlich durch _____ aufgeklärt worden. Die Informationen über die geplante Untersuchung habe ich gelesen und verstanden.

Ich versichere, dass keines der Kriterien (Metallteile oder elektrische Geräte im oder am Körper, Schwangerschaft) für den Ausschluss der freiwilligen Teilnahme an einer MR-Untersuchung bei mir zutreffen.

Ich werde den Anweisungen der Untersucher folge leisten. Jedoch behalte ich mir das Recht vor, meine Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen.

Mit der Aufzeichnung von Untersuchungsdaten bin ich einverstanden. Die Speicherung, Auswertung und Weitergabe der studienbezogenen Daten erfolgt nach den gesetzlichen Bestimmungen und ohne Namensnennung.

Nachname: _____ Vorname: _____

Aachen, den: _____ Unterschrift: _____

Bemerkungen zur Aufklärung und zur Untersuchung

9.2. Fragebogen

Fragebogen zum fMRT-Experiment audio-visueller Zahlenverarbeitung (1)

(Hartmut Becher)

Probandenname: _____

Messversuchstag: _____

1. Wie ist das Experiment verlaufen? Was ist Ihnen aufgefallen? Was möchten Sie generell zum Versuchsablauf sagen?

2. Haben Sie eine bestimmte Strategie zur Durchführung der Aufgaben benutzt? Wenn ja, welche?

3. Wie haben Sie Ihre mentale Entscheidung (ohne Tasten) getroffen? Was haben Sie sich vorgestellt?

4. Welche Aufgaben fielen Ihnen schwer bzw. leicht?

Fragebogen zum fMRT-Experiment audio-visueller Zahlenverarbeitung (2)

Probandenname: _____

6. War Ihnen zu jedem Zeitpunkt des Versuches klar, welcher Aufgabentyp gefragt war?

Ja Nein

7. Gab es Momente, in denen Sie sich nicht für Antworten entschieden haben?

Ja Nein

8. Warum nicht?

9. Haben Sie Ihre mentalen Antworten innerlich verbalisiert?

a) ohne Antworttasten

b) mit Antworttasten

Ja Nein

Ja Nein

10. Haben Sie Ihre Antworten auch ohne Antworttasten motorisch bestätigt?

Ja Nein

11. Haben Sie eine Strategie gewählt?

a) ohne Antworttasten

b) mit Antworttasten

Ja Nein

Ja Nein

12. eine der hier aufgeführten?

a) ohne Antworttasten

b) mit Antworttasten

verbal bildlich andere

verbal bildlich andere

13. Auf einer Skala von 1 (verbal) bis 5 (bildlich), welchen Wert würden Sie Ihrer Antwortmöglichkeit geben?

0 (weder noch)

1 (immer verbal)

2 (manchmal verbal)

3 (weder verbal noch bildlich)

4 (manchmal bildlich)

5 (immer bildlich)

5. Haben Sie Verbesserungsvorschläge?

9.3. Vektordaten für die SPM2-Auswertung

```
%Vektoren fuer Script:
%Bedingungen:
VAPrun1=[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUGrun1=[0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VWPrun1=[0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VWGrun1=[0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUPrun1=[0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VAGrun1=[0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
%
VAPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0]
AUGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0]
VWPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0]
VWGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0]
AUPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0]
VAGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0]
%
%1 2 3 4 5 6
%VAP AUG VWP VWG AUP VAG
%
%
%Kontraste:
%
VAP_ANLEITUNGrun1=[1 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0]
AUG_ANLEITUNGrun1=[0 1 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0]
VWP_ANLEITUNGrun1=[0 0 1 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0]
VWG_ANLEITUNGrun1=[0 0 0 1 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0]
AUP_ANLEITUNGrun1=[0 0 0 0 1 0 -1 0 0 0 0 0 0 0]
VAG_ANLEITUNGrun1=[0 0 0 0 0 1 -1 0 0 0 0 0 0 0]
%
VAP_ANLEITUNGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 -1]
AUG_ANLEITUNGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 -1]
VWP_ANLEITUNGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 -1]
VWG_ANLEITUNGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 -1]
AUP_ANLEITUNGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 -1]
VAG_ANLEITUNGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -1]
%
ANLEITUNG_VAPrun1=-VAP_ANLEITUNGrun1
ANLEITUNG_AUGrun1=-AUG_ANLEITUNGrun1
ANLEITUNG_VWPrun1=-VWP_ANLEITUNGrun1
ANLEITUNG_VWGrun1=-VWG_ANLEITUNGrun1
ANLEITUNG_AUPrun1=-AUP_ANLEITUNGrun1
ANLEITUNG_VAGrun1=-VAG_ANLEITUNGrun1
%
ANLEITUNG_VAPrun2=-VAP_ANLEITUNGrun2
ANLEITUNG_AUGrun2=-AUG_ANLEITUNGrun2
ANLEITUNG_VWPrun2=-VWP_ANLEITUNGrun2
ANLEITUNG_VWGrun2=-VWG_ANLEITUNGrun2
ANLEITUNG_AUPrun2=-AUP_ANLEITUNGrun2
ANLEITUNG_VAGrun2=-VAG_ANLEITUNGrun2
%
GV_PARrun1=[-1 1 -1 1 -1 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
PAR_GVrun1=-GV_PARrun1
GV_PARrun2=[0 0 0 0 0 0 0 -1 1 -1 1 -1 1 0]
PAR_GVrun2=-GV_PARrun2
%
%
```

%gleicher Aufgabentyp, verschiedene Bedingungen:

```
VAP_VWPrun1=[1 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VWP_VAPrun1=[-1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VAG_VWGrun1=[0 0 0 -1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
VWG_VAGrun1=[0 0 0 1 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0]
VAP_AUPrun1=[1 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUP_VAPrun1=[-1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VAG_AUGrun1=[0 -1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUG_VAGrun1=[0 1 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0]
VWP_AUPrun1=[0 0 1 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUP_VWPrun1=[0 0 -1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VWG_AUGrun1=[0 -1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUG_VWGrun1=[0 1 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
```

%

```
VisP_AUPrun1=[1 0 1 0 -2 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUP_VisPrun1=[-1 0 -1 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VisG_AUGrun1=[0 -2 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUG_VisGrun1=[0 2 0 -1 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0]
```

%

```
run1_run2=[1 1 1 1 1 1 0 -1 -1 -1 -1 -1 -1 0]
run2_run1=[-1 -1 -1 -1 -1 -1 0 1 1 1 1 1 1 0]
```

%

```
VAP_VWPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 1 0 -1 0 0 0 0]
VWP_VAPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 -1 0 1 0 0 0 0]
VAG_VWGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 1 0]
VWG_VAGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 -1 0]
VAP_AUPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 -1 0 0]
AUP_VAPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 1 0 0]
VAG_AUGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 1 0]
AUG_VAGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 -1 0]
VWP_AUPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 -1 0 0]
AUP_VWPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 1 0 0]
VWG_AUGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 1 0 0 0]
AUG_VWGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 1 0 -1 0 0 0 0]
```

%

```
VisP_AUPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 -2 0 0]
AUP_VisPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 -1 0 -1 0 2 0 0]
VisG_AUGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 -2 0 1 0 1 0]
AUG_VisGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 2 0 -1 0 -1 0]
```

%

%

%verschiedener Aufgabentyp, verschiedene Bedingungen, gleicher Block:

```
VAP_VAGrun1=[1 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0]
VAP_VWGrun1=[1 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VAP_AUGrun1=[1 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUG_VAPrun1=[-1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUG_VWPrun1=[0 1 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUG_AUPrun1=[0 1 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VWP_AUGrun1=[0 -1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VWP_VWGrun1=[0 0 1 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VWP_VAGrun1=[0 0 1 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0]
VWG_VAPrun1=[-1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VWG_VWPrun1=[0 0 -1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VWG_AUPrun1=[0 0 0 1 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUP_AUGrun1=[0 -1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUP_VWGrun1=[0 0 0 -1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUP_VAGrun1=[0 0 0 0 1 -1 0 0 0 0 0 0 0 0]
VAG_VAPrun1=[-1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
VAG_VWPrun1=[0 0 -1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
VAG_AUPrun1=[0 0 0 0 -1 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
```

%

```
VAP_VAGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 -1 0]
```

```

VAP_VWGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 -1 0 0 0]
VAP_AUGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 1 -1 0 0 0 0 0]
AUG_VAPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 -1 1 0 0 0 0 0]
AUG_VWPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 1 -1 0 0 0 0]
AUG_AUPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 -1 0 0]
VWP_AUGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 -1 1 0 0 0 0]
VWP_VWGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -1 0 0 0]
VWP_VAGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 -1 0]
VWG_VAPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 1 0 0]
VWG_VWPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 1 0 0 0]
VWG_AUPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -1 0 0]
AUP_AUGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 1 0 0]
AUP_VWGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 1 0 0]
AUP_VAGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -1 0]
VAG_VAPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 1 0]
VAG_VWPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 1 0]
VAG_AUPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 1 0]
%
VisP_AUGrun1=[1 -2 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUG_VisPrun1=[-1 2 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
VisG_AUPrun1=[0 0 0 1 -2 1 0 0 0 0 0 0 0 0]
AUP_VisGrun1=[0 0 0 -1 2 -1 0 0 0 0 0 0 0 0]
%
VisP_AUGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 1 -2 1 0 0 0 0]
AUG_VisPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 -1 2 -1 0 0 0 0]
VisG_AUPrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 -2 1 0]
AUP_VisGrun2=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 2 -1 0]
%
%gleicher Block, mit und ohne Tasten:
VAPrun1_run2=[1 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0]
VAPrun2_run1=[-1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0]
AUGrun1_run2=[0 1 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0]
AUGrun2_run1=[0 -1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0]
VWPrun1_run2=[0 0 1 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0]
VWPrun2_run1=[0 0 -1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0]
VWGrun1_run2=[0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0]
VWGrun2_run1=[0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0]
AUPrun1_run2=[0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 -1 0 0]
AUPrun2_run1=[0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 1 0 0]
VAGrun1_run2=[0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 -1 0]
VAGrun2_run1=[0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 1 0]
%
%gleiche Aufgabe, verschiedene Bedingung, mit und ohne Tasten:
%(VAP-VWPrun1)-(VAP-VWPrun2)=VAP1-VWP1-VAP2+VWP2
KVAP_VWPrun1K_KVAP_VWPrun2K=[1 0 -1 0 0 0 0 -1 0 1 0 0 0 0]
%(VAP-VWPrun2)-(VAP-VWPrun1)=VAP2-VWP2-VAP1+VWP1
KVAP_VWPrun2K_KVAP_VWPrun1K=[-1 0 1 0 0 0 0 1 0 -1 0 0 0 0]

%(VAG-VWGrun1)-(VAG-VWGrun2)=VAG1-VWG1-VAG2+VWG2
KVAG_VWGrun1K_KVAG_VWGrun2K=[0 0 0 -1 0 1 0 0 0 0 1 0 -1 0]
%(VAG-VWGrun2)-(VAG-VWGrun1)=VAG2-VWG2-VAG1+VWG1
KVAG_VWGrun2K_KVAG_VWGrun1K=[0 0 0 1 0 -1 0 0 0 0 -1 0 1 0]

%(VAP-AUPrun1)-(VAP-AUPrun2)=VAP1-AUP1-VAP2+AUP2
KVAP_AUPrun1K_KVAP_AUPrun2K=[1 0 0 0 -1 0 0 -1 0 0 0 1 0 0]
%(VAP-AUPrun2)-(VAP-AUPrun1)=VAP2-AUP2-VAP1+AUP1
KVAP_AUPrun2K_KVAP_AUPrun1K=[-1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 -1 0 0]

%(VAG-AUGrun1)-(VAG-AUGrun2)=VAG1-AUG1-VAG2+AUG2
KVAG_AUGrun1K_KVAG_AUGrun2K=[0 -1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 -1 0]
%(VAG-AUGrun2)-(VAG-AUGrun1)=VAG2-AUG2-VAG1+AUG1

```

```

KVAG_AUGrun2K_KVAG_AUGrun1K=[0 1 0 0 0 -1 0 0 -1 0 0 0 1 0]

%(VWP-AUPrun1)-(VWP-AUPrun2)=VWP1-AUP1-VWP2+AUP2
KVWP_AUPrun1K_KVWP_AUPrun2K=[0 0 1 0 -1 0 0 0 0 -1 0 1 0 0]
%(VWP-AUPrun2)-(VWP-AUPrun1)=VWP2-AUP2-VWP1+AUP1
KVWP_AUPrun2K_KVWP_AUPrun1K=[0 0 -1 0 1 0 0 0 0 1 0 -1 0 0]

%(VWG-AUGrun1)-(VWG-AUGrun2)=VWG1-AUG1-VWG2+AUG2
KVWG_AUGrun1K_KVWG_AUGrun2K=[0 -1 0 1 0 0 0 0 1 0 -1 0 0 0]
%(VWG-AUGrun2)-(VWG-AUGrun1)=VWG2-AUG2-VWG1+AUG1
KVWG_AUGrun2K_KVWG_AUGrun1K=[0 1 0 -1 0 0 0 0 -1 0 1 0 0 0]

%(VisP-AUPrun1)-(VisP-AUPrun2)=VisP1-AUP1-VisP2+AUP2
KVisP_AUPrun1K_KVisP_AUPrun2K=[1 0 1 0 -2 0 0 -1 0 -1 0 2 0 0]
%(VisP-AUPrun2)-(VisP-AUPrun1)=VisP2-AUP2-VisP1+AUP1
KVisP_AUPrun2K_KVisP_AUPrun1K=[-1 0 -1 0 2 0 0 1 0 1 0 -2 0 0]

%(VisG-AUGrun1)-(VisG-AUGrun2)=VisG1-AUG1-VisG2+AUG2
KVisG_AUGrun1K_KVisG_AUGrun2K=[0 -2 0 1 0 1 0 0 2 0 -1 0 -1 0]
%(VisG-AUGrun2)-(VisG-AUGrun1)=VisG2-AUG2-VisG1+AUG1
KVisG_AUGrun2K_KVisG_AUGrun1K=[0 2 0 -1 0 -1 0 0 -2 0 1 0 1 0]

```

9.4. SPM-Ergebnisdrucke

(Reihenfolge der Abbildungen wie im Text)

Einflüsse von Notation, Modalität und Aufgabenstellung:

Zweiter Durchgang – erster Durchgang (alle Bedingungen)	118
Erster Durchgang – zweiter Durchgang (alle Bedingungen)	119

Notationsspezifische Kontraste der Größenvergleichsaufgabe:

Arabische Zahlen – visuelle Zahlwörter.....	122
Visuelle Zahlwörter – arabische Zahlen.....	125

Modalitätsspezifische Kontraste der Größenvergleichsaufgabe

Arabische Zahlen – auditive Zahlwörter	126
Auditive Zahlwörter – arabische Zahlen	128
Visuelle Zahlwörter – auditive Zahlwörter	132
Auditive Zahlwörter – visuelle Zahlwörter	134

Notationsspezifische Kontraste der Paritätsaufgabe

Arabische Zahlen – visuelle Zahlwörter.....	137
Visuelle Zahlwörter – arabische Zahlen.....	144

Modalitätsspezifische Kontraste der Paritätsaufgabe

Arabische Zahlen – auditive Zahlwörter	144
Auditive Zahlwörter – arabische Zahlen	148
Visuelle Zahlwörter – auditive Zahlwörter	149
Auditive Zahlwörter – visuelle Zahlwörter	151

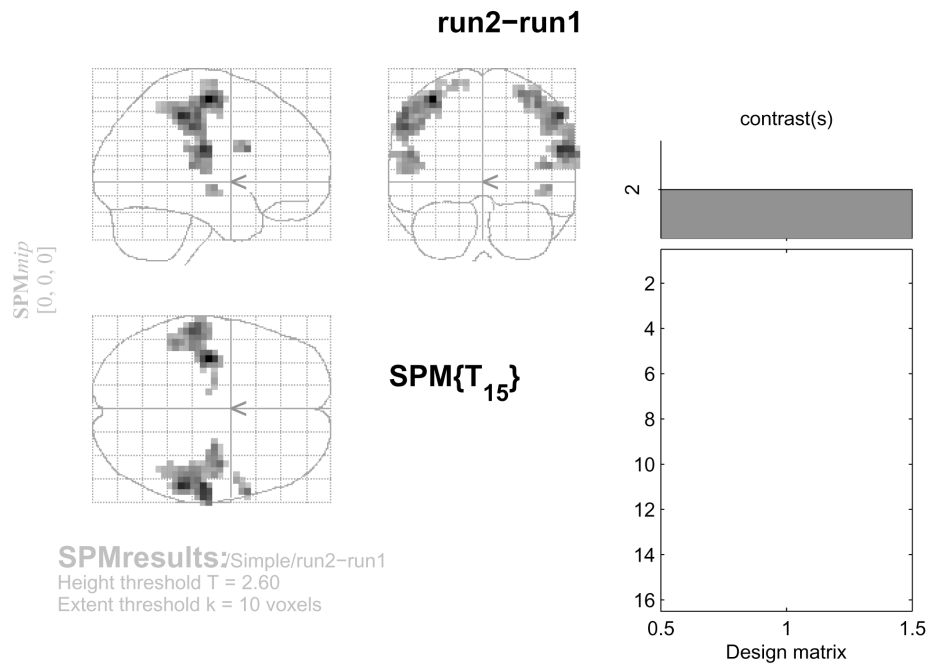
Aufgabenspezifische Kontraste

Arabische Zahlen: Größenvergleich – Paritätsaufgabe	155
Visuelle Zahlwörter: Größenvergleich – Paritätsaufgabe	156
Auditive Zahlwörter: Größenvergleich – Paritätsaufgabe.....	157
Arabische Zahlen: Paritätsaufgabe – Größenvergleich	158
Visuelle Zahlwörter: Paritätsaufgabe – Größenvergleich	160
Auditive Zahlwörter: Paritätsaufgabe – Größenvergleich.....	161

Antwort-assozierte/räumliche Kontraste

Arabische Zahlen, Paritätsaufgabe: Zweiter Durchgang – erster Durchgang	163
Arabische Zahlen, Größenvergleich: Zweiter Durchgang – erster Durchgang	164
Visuelle Zahlwörter, Paritätsaufgabe: Zweiter Durchgang – erster Durchgang	165
Auditive Zahlwörter, Paritätsaufgabe: Zweiter Durchgang – erster Durchgang.....	166

Zweiter Durchgang - erster Durchgang

**Statistics: Nebenmaxima**

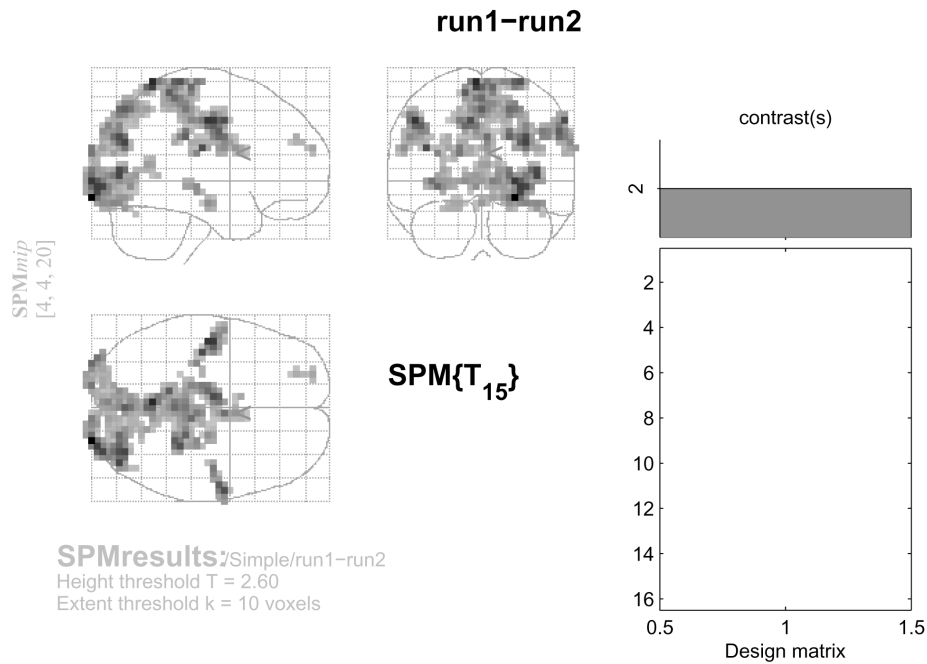
set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z [mm] Talairach		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{corrected}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorrected}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>p</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _u)	<i>p</i> _{uncorrected}			
0.701	4	0.000	207	0.000	0.150	0.133	6.38	4.37	0.000	-36	-13	56
					0.994	0.157	5.11	3.83	0.000	-55	-25	38
					0.999	0.177	4.87	3.71	0.000	-55	-21	45
					1.000	0.198	4.38	3.46	0.000	-51	-22	20
					1.000	0.203	4.13	3.33	0.000	-48	-36	50
					1.000	0.207	4.07	3.29	0.001	-48	-25	53
					1.000	0.207	4.02	3.26	0.001	-44	-25	42
					1.000	0.235	3.65	3.04	0.001	-55	-19	8
					1.000	0.240	3.59	3.00	0.001	-40	-21	45
					1.000	0.266	3.45	2.91	0.002	-20	-8	67
		0.000	220	0.000	1.000	0.284	3.31	2.82	0.002	-63	-18	19
					1.000	0.336	3.00	2.62	0.004	-12	-12	67
					0.460	0.133	5.76	4.12	0.000	55	-33	46
					0.611	0.133	5.60	4.05	0.000	55	-18	23
					1.000	0.198	4.52	3.53	0.000	40	-5	52
					1.000	0.198	4.42	3.48	0.000	51	-21	42
					1.000	0.203	4.28	3.41	0.000	28	-9	59
					1.000	0.205	4.10	3.31	0.000	48	-27	12
					1.000	0.235	3.61	3.02	0.001	44	-21	49
					1.000	0.327	3.06	2.65	0.004	67	-19	12
		0.979	11	0.035	1.000	0.198	4.48	3.52	0.000	59	13	21
					1.000	0.263	3.47	2.93	0.002	51	5	22
		0.992	10	0.043	1.000	0.214	3.75	3.10	0.001	48	-12	-3

table shows 100 local maxima more than 5.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.043$ (0.992)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.389$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.77$
Expected false discovery rate, ≤ 0.48

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.8 9.4 {mm} = 2.1 2.2 2.3 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1928.6 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 10.95 voxels)

Erster Durchgang - zweiter Durchgang

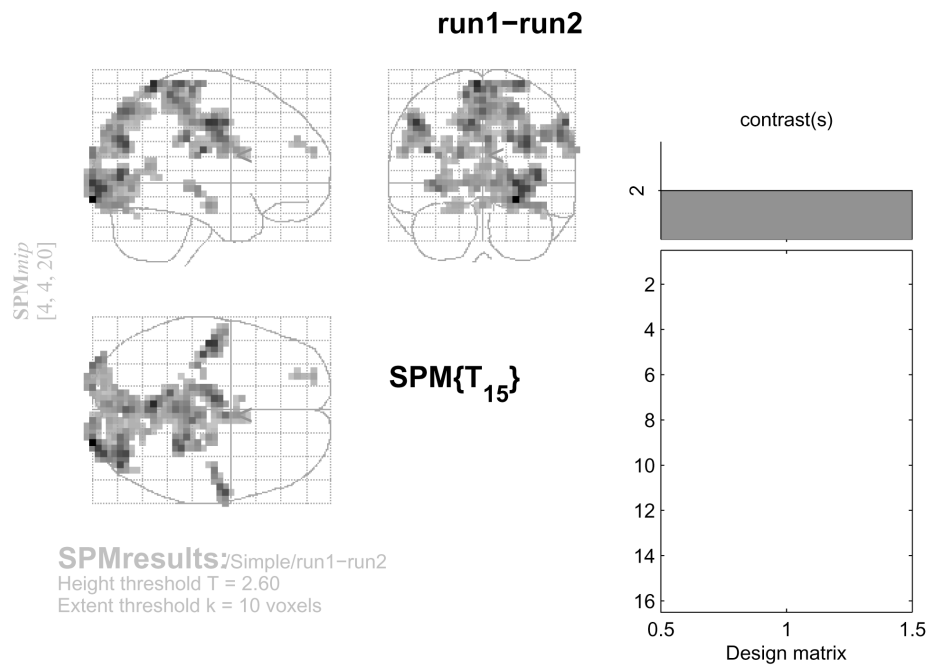
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
p	c	p _{corrected}	k _E	p _{uncorrected}	p _{FWE-corr}	p _{FDR-corr}	T	(Z _u)	p _{uncorrected}	Talairach		
0.010	11	0.000	237	0.000	0.042	0.039	7.13	4.64	0.000	24	-97	-5
					0.276	0.039	6.04	4.24	0.000	24	-97	5
					0.329	0.039	5.94	4.20	0.000	28	-93	1
					0.437	0.039	5.79	4.13	0.000	40	-77	8
					1.000	0.073	4.54	3.55	0.000	32	-81	8
					1.000	0.073	4.45	3.50	0.000	8	-97	5
					1.000	0.080	4.25	3.39	0.000	32	-82	-9
					1.000	0.080	4.18	3.35	0.000	40	-78	-10
					1.000	0.084	4.10	3.31	0.000	-12	-78	4
					1.000	0.087	4.04	3.27	0.001	-4	-70	0
					1.000	0.098	3.91	3.20	0.001	20	-78	-6
					1.000	0.106	3.80	3.13	0.001	0	-82	-9
					1.000	0.107	3.75	3.10	0.001	-4	-66	7
					1.000	0.107	3.69	3.06	0.001	4	-58	14
					1.000	0.113	3.62	3.02	0.001	8	-86	-6
					1.000	0.142	3.22	2.76	0.003	0	-90	-6
					1.000	0.151	3.11	2.69	0.004	16	-78	1
					1.000	0.161	3.01	2.62	0.004	4	-50	6
					1.000	0.182	2.82	2.49	0.006	44	-67	-17
		0.000	402	0.000	0.147	0.039	6.39	4.38	0.000	-4	-51	69
					0.488	0.039	5.73	4.11	0.000	32	-72	29
					0.755	0.057	5.49	4.00	0.000	28	-32	68
					0.990	0.057	5.18	3.86	0.000	-12	-40	61
					0.990	0.057	5.17	3.86	0.000	0	-71	51
					0.995	0.057	5.06	3.81	0.000	20	-30	31
					0.999	0.062	4.91	3.73	0.000	0	-36	57

table shows 100 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: T = 2.60, p = 0.010 (1.000)
Extent threshold: k = 10 voxels, p = 0.043 (0.992)
Expected voxels per cluster, <k> = 2.389
Expected number of clusters, <c> = 4.77
Expected false discovery rate, <= 0.22

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.8 9.4 {mm} = 2.1 2.2 2.3 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1928.6 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 10.95 voxels)
Page 1



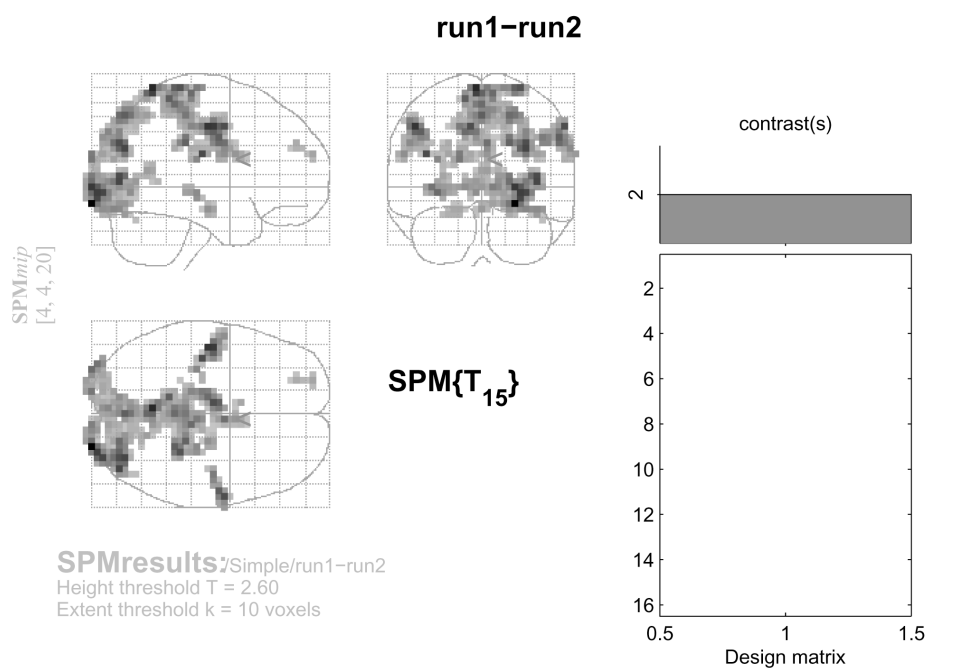
Statistics: *Nebenmaxima*

set-level		cluster-level			voxel-level				x,y,z {mm} Talairach
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	
					0.999	0.062	4.89	3.72	8 -24 64
					0.999	0.063	4.88	3.72	20 -75 52
					1.000	0.067	4.66	3.61	0 -29 49
					1.000	0.073	4.50	3.52	4 -20 67
					1.000	0.080	4.26	3.40	-4 -83 41
					1.000	0.080	4.24	3.38	16 -28 68
					1.000	0.107	3.70	3.07	16 -56 51
					1.000	0.111	3.64	3.03	24 -88 27
					1.000	0.131	3.33	2.84	12 -17 45
					1.000	0.131	3.31	2.82	16 -33 46
					1.000	0.144	3.19	2.74	-16 -40 50
					1.000	0.154	3.10	2.68	12 -68 48
		0.000	83	0.000	0.228	0.039	6.14	4.28	-48 -13 41
					0.548	0.039	5.66	4.08	-40 -18 23
					1.000	0.080	4.23	3.38	-32 -22 20
					1.000	0.083	4.15	3.33	-51 -6 30
					1.000	0.084	4.10	3.31	-55 -3 22
					1.000	0.151	3.12	2.70	-28 -18 27
		0.014	48	0.000	0.662	0.041	5.56	4.04	59 -2 41
					0.991	0.057	5.16	3.86	55 -6 33
					1.000	0.073	4.57	3.56	44 -10 34
					1.000	0.080	4.18	3.35	63 -3 26
		0.000	86	0.000	0.664	0.041	5.56	4.03	-8 -10 41
					0.999	0.062	4.88	3.72	-12 -14 38
					0.999	0.064	4.82	3.69	4 -2 30
					1.000	0.073	4.52	3.54	-16 -17 41

table shows 100 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.043$ (0.992)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.389$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.77$
Expected false discovery rate, ≤ 0.22

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.8 9.4 {mm} = 2.1 2.2 2.3 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1928.6 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 10.95 voxels)
Page 2

**Statistics: Nebenmaxima**

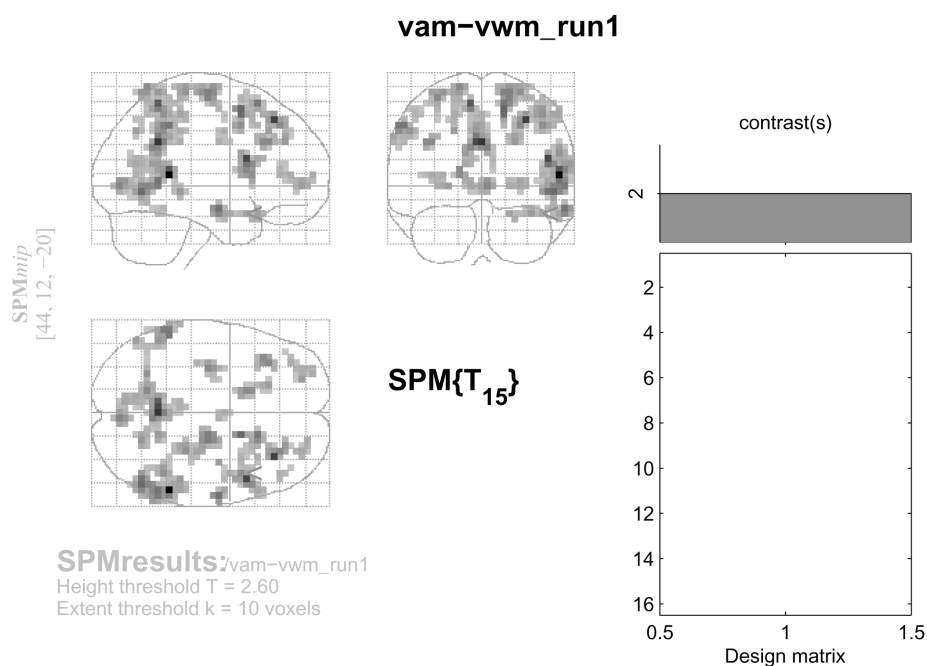
set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm} Talairach
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	$p_{\text{uncorrected}}$	
1.000					1.000	0.080	4.27	3.40	0.000	-16 -25 42
1.000					1.000	0.103	3.86	3.16	0.001	4 5 22
1.000					1.000	0.128	3.37	2.86	0.002	-8 9 22
1.000					1.000	0.202	2.69	2.39	0.008	12 -10 34
		0.004	58	0.000	0.998	0.062	4.93	3.75	0.000	-32 -97 1
1.000					1.000	0.066	4.75	3.65	0.000	-36 -93 5
1.000					1.000	0.073	4.59	3.57	0.000	-16 -96 23
1.000					1.000	0.107	3.73	3.09	0.001	-16 -101 5
1.000					1.000	0.113	3.61	3.02	0.001	-16 -80 22
1.000					1.000	0.117	3.51	2.95	0.002	-28 -89 12
1.000					1.000	0.136	3.28	2.80	0.003	-8 -88 27
1.000					1.000	0.156	3.07	2.66	0.004	-28 -92 19
		0.992	10	0.043	1.000	0.084	4.11	3.31	0.000	24 -23 -2
		0.835	15	0.016	1.000	0.088	4.01	3.25	0.001	20 -16 -13
		0.958	12	0.029	1.000	0.108	3.67	3.05	0.001	-12 -29 35
1.000					1.000	0.128	3.36	2.85	0.002	-12 -26 27
1.000					1.000	0.137	3.27	2.80	0.003	-16 -37 28
		0.992	10	0.043	1.000	0.117	3.54	2.97	0.001	-24 59 19
1.000					1.000	0.137	3.27	2.80	0.003	-24 48 27
		0.777	16	0.014	1.000	0.123	3.42	2.90	0.002	-16 -90 -9
1.000					1.000	0.140	3.24	2.78	0.003	-24 -86 -13

table shows 100 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.043$ (0.992)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.389$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.77$
Expected false discovery rate, ≤ 0.22

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.8 9.4 {mm} = 2.1 2.2 2.3 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1928.6 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 10.95 voxels)
Page 3/3

Größenvergleich: Arabische Zahlen - visuelle Zahlwörter

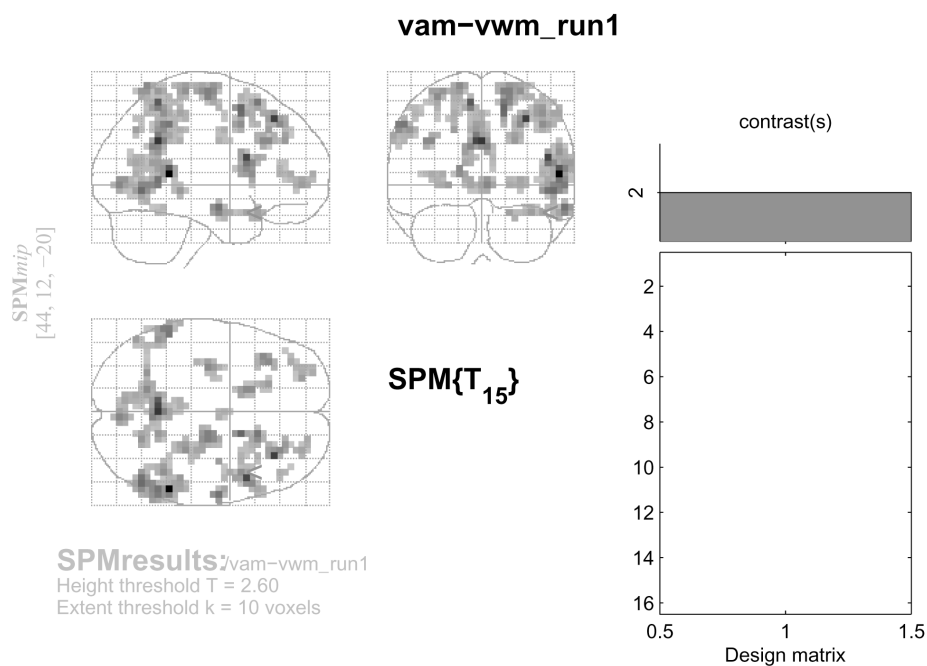
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z [mm]		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	$p_{\text{uncorrected}}$			
0.000	21	0.000	123	0.000	0.045	0.045	7.09	4.63	0.000	56	-44	8
					0.999	0.240	4.90	3.73	0.000	52	-64	-4
					1.000	0.240	4.71	3.64	0.000	56	-52	4
					1.000	0.240	3.86	3.17	0.001	56	-52	24
					1.000	0.240	3.80	3.13	0.001	48	-36	-4
					1.000	0.244	3.20	2.75	0.003	56	-68	8
					1.000	0.244	3.05	2.65	0.004	60	-64	20
					1.000	0.244	3.04	2.64	0.004	52	-48	-16
					1.000	0.244	2.89	2.54	0.006	48	-60	12
		0.000	153	0.000	0.224	0.091	6.15	4.28	0.000	0	-52	32
					0.985	0.175	5.23	3.89	0.000	-8	-52	60
					1.000	0.240	4.32	3.43	0.000	4	-56	28
					1.000	0.240	4.15	3.33	0.000	-16	-60	72
					1.000	0.240	3.89	3.18	0.001	-28	-60	68
					1.000	0.240	3.69	3.06	0.001	-52	-68	40
					1.000	0.244	3.40	2.88	0.002	-12	-68	16
					1.000	0.244	3.25	2.78	0.003	-4	-36	40
					1.000	0.244	3.09	2.67	0.004	0	-48	52
					1.000	0.244	3.03	2.63	0.004	-48	-60	52
					1.000	0.245	2.85	2.51	0.006	-48	-68	48
		0.116	32	0.001	0.332	0.091	5.94	4.19	0.000	-52	-48	56
					1.000	0.240	4.11	3.31	0.000	28	36	44
					1.000	0.240	3.75	3.10	0.001	24	40	32

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.044$ (0.992)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.402$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.80$
Expected false discovery rate, ≤ 0.26

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.7 9.4 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1918.5 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.01 voxels)
Page 1

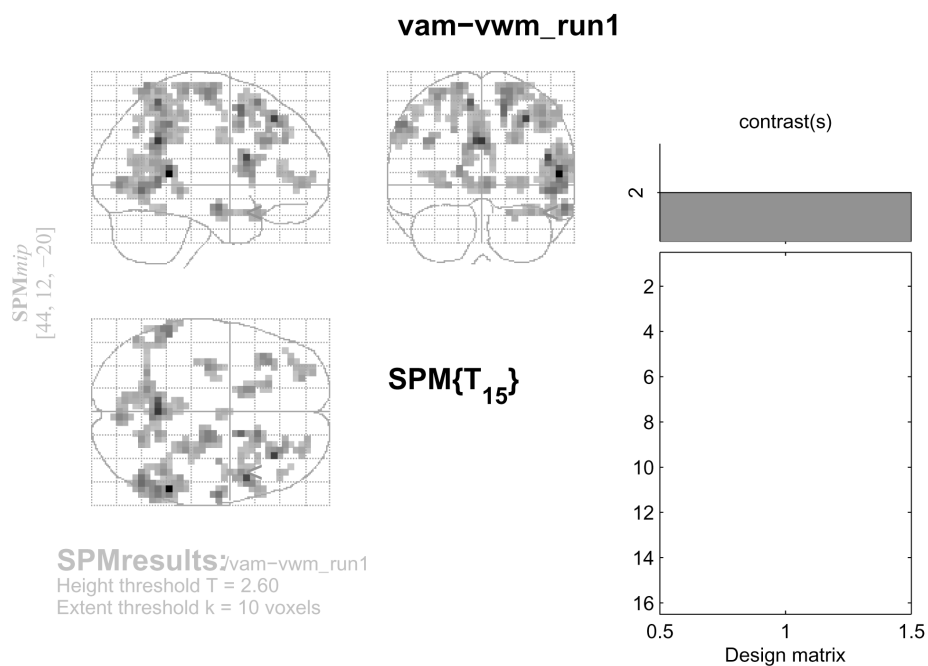
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	$p_{\text{uncorrected}}$			
		0.151	30	0.001	0.453	0.091	5.77	4.12	0.000	48	12	20
					1.000	0.244	3.39	2.88	0.002	56	20	20
					1.000	0.244	3.36	2.86	0.002	48	16	4
		0.078	35	0.001	0.997	0.235	5.01	3.78	0.000	16	8	56
					1.000	0.240	4.62	3.59	0.000	16	20	60
					1.000	0.244	3.13	2.70	0.003	32	8	64
					1.000	0.245	2.87	2.52	0.006	28	12	68
		0.929	13	0.024	1.000	0.240	4.70	3.63	0.000	60	-8	-16
		0.101	33	0.001	1.000	0.240	4.58	3.57	0.000	-56	-44	44
					1.000	0.240	3.84	3.16	0.001	-52	-52	40
					1.000	0.244	3.45	2.91	0.002	-64	-44	36
					1.000	0.244	3.24	2.78	0.003	-64	-36	32
		0.003	61	0.000	1.000	0.240	4.41	3.48	0.000	16	-16	68
					1.000	0.240	3.96	3.22	0.001	28	-32	68
		0.197	28	0.002	1.000	0.240	4.21	3.37	0.000	4	-80	0
					1.000	0.240	3.49	2.94	0.002	-8	-76	0
		0.838	15	0.017	1.000	0.240	4.18	3.35	0.000	-40	24	32
		0.959	12	0.029	1.000	0.240	4.15	3.33	0.000	-16	12	12
		0.477	21	0.006	1.000	0.240	4.11	3.31	0.000	-32	-16	64
					1.000	0.244	3.12	2.70	0.003	-36	-24	68
		0.888	14	0.020	1.000	0.240	4.07	3.29	0.001	44	8	44
		0.008	53	0.000	1.000	0.240	4.00	3.25	0.001	44	-48	52
					1.000	0.240	3.51	2.95	0.002	52	-36	52
					1.000	0.244	3.13	2.70	0.003	52	-40	44
					1.000	0.244	3.01	2.62	0.004	44	-44	64
					1.000	0.245	2.84	2.50	0.006	52	-44	60

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.044$ (0.992)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.402$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.80$
Expected false discovery rate, ≤ 0.26

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.7 9.4 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1918.5 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.01 voxels)
Page 2

**Statistics: Nebenmaxima**

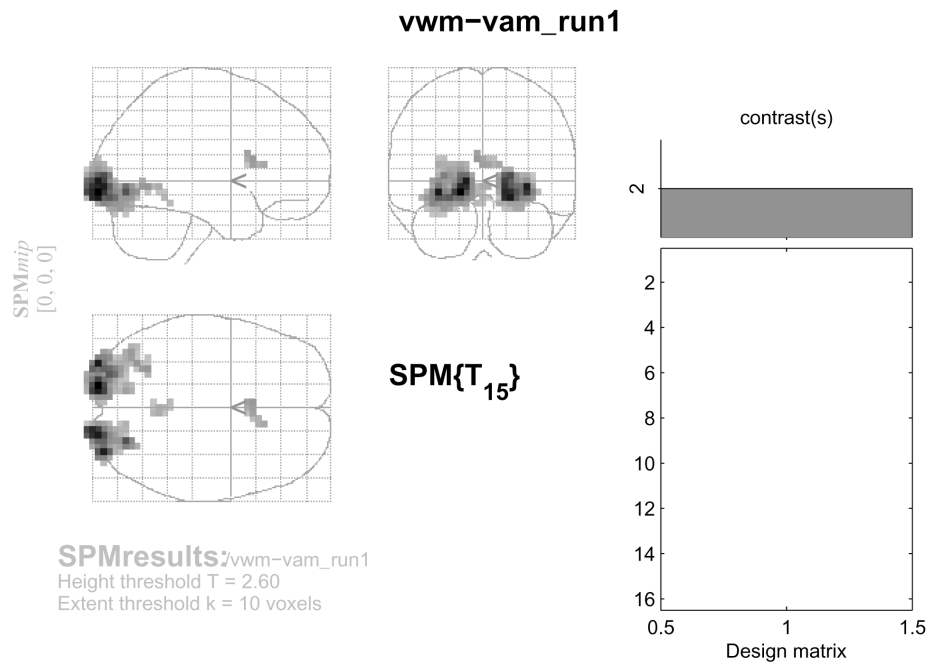
set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	$(Z_{\equiv})$	$p_{\text{uncorrected}}$	
		0.375	23	0.004	1.000	0.240	3.83	3.15	0.001	20 -64 68
					1.000	0.240	3.80	3.13	0.001	16 -52 68
					1.000	0.244	3.12	2.70	0.004	12 -60 72
		0.424	22	0.005	1.000	0.240	3.72	3.08	0.001	36 -8 -20
					1.000	0.240	3.61	3.02	0.001	20 20 -20
					1.000	0.240	3.53	2.96	0.002	44 12 -20
					1.000	0.244	3.34	2.85	0.002	44 0 -20
					1.000	0.244	3.09	2.67	0.004	32 20 -20
					1.000	0.244	3.07	2.66	0.004	48 -4 -16
		0.595	19	0.008	1.000	0.240	3.69	3.07	0.001	-24 52 0
					1.000	0.244	3.31	2.83	0.002	-28 60 8
					1.000	0.244	3.27	2.79	0.003	-36 44 8
		0.959	12	0.029	1.000	0.240	3.63	3.03	0.001	-20 28 40
					1.000	0.244	3.34	2.84	0.002	-20 24 52
		0.929	13	0.024	1.000	0.240	3.47	2.93	0.002	28 52 4
					1.000	0.244	3.26	2.79	0.003	20 56 0
		0.992	10	0.044	1.000	0.244	3.25	2.78	0.003	0 -4 40
					1.000	0.244	3.21	2.75	0.003	4 -8 32
		0.992	10	0.044	1.000	0.244	3.10	2.68	0.004	44 36 8
					1.000	0.261	2.63	2.35	0.010	40 44 4

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.044$ (0.992)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.402$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.80$
Expected false discovery rate, ≤ 0.26

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.7 9.4 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1918.5 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.01 voxels)
Page 3/3

Größenvergleich: Visuelle Zahlwörter - arabische Zahlen

**Statistics: Nebenmaxima**

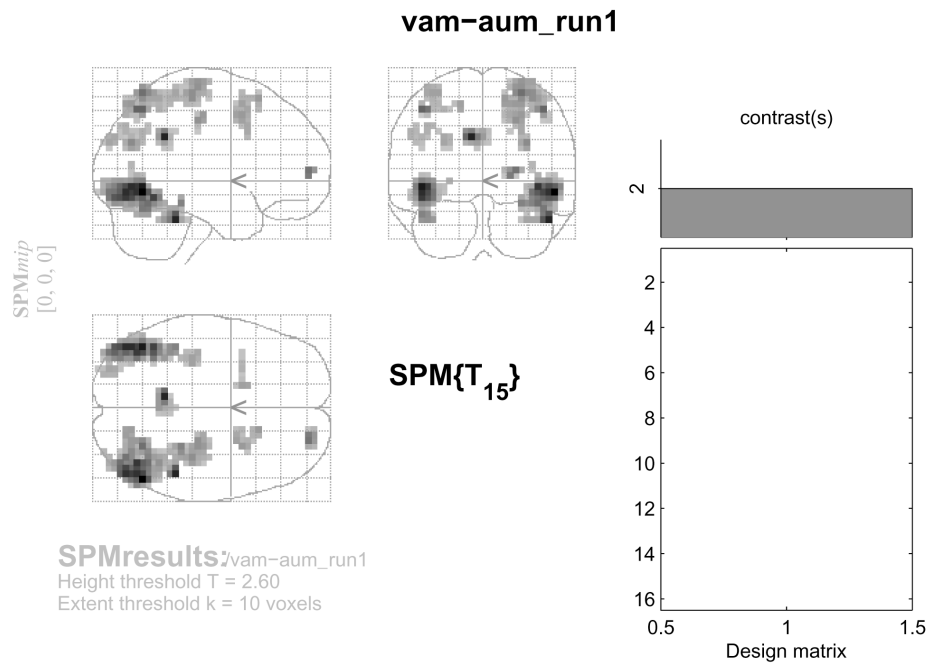
set-level		cluster-level			voxel-level				x,y,z {mm}		
p	c	$p_{corrected}$	k_E	$p_{uncorrected}$	$p_{FWE-corr}$	$p_{FDR-corr}$	T	(Z_{α})	$p_{uncorrected}$	Talairach	
0.706	4	0.000	276	0.000	0.008	0.005	8.15	4.96	0.000	-16	-93
					0.019	0.005	7.63	4.81	0.000	-32	-93
					0.019	0.005	7.60	4.80	0.000	-12	-93
					0.366	0.012	5.88	4.17	0.000	-24	-86
					0.999	0.034	4.83	3.69	0.000	-28	-85
					1.000	0.071	4.16	3.34	0.000	-28	-58
					1.000	0.074	4.11	3.31	0.000	-32	-66
					1.000	0.076	4.07	3.29	0.001	-40	-70
					1.000	0.103	3.80	3.13	0.001	-12	-74
					1.000	0.139	3.51	2.95	0.002	-32	-92
		0.000	201	0.000	1.000	0.336	2.81	2.48	0.007	-36	-58
					0.018	0.005	7.64	4.81	0.000	20	-94
					0.024	0.005	7.47	4.75	0.000	32	-89
					0.034	0.005	7.25	4.68	0.000	16	-97
					0.183	0.010	6.27	4.33	0.000	20	-89
					0.237	0.010	6.12	4.27	0.000	24	-74
					1.000	0.200	3.21	2.76	0.003	12	-74
					1.000	0.137	3.53	2.97	0.002	12	24
					0.781	0.080	4.02	3.26	0.001	-4	16
					0.980	0.151	3.44	2.91	0.002	0	-51
					1.000	0.212	3.15	2.72	0.003	0	-47
					1.000	0.244	3.04	2.64	0.004	-4	-43

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
 Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.044$ (0.992)
 Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.402$
 Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.80$
 Expected false discovery rate, ≤ 0.44

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
 Smoothness FWHM = 8.5 8.7 9.4 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
 Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1918.5 resels
 Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.01 voxels)

Größenvergleich: Arabische Zahlen - auditive Zahlwörter

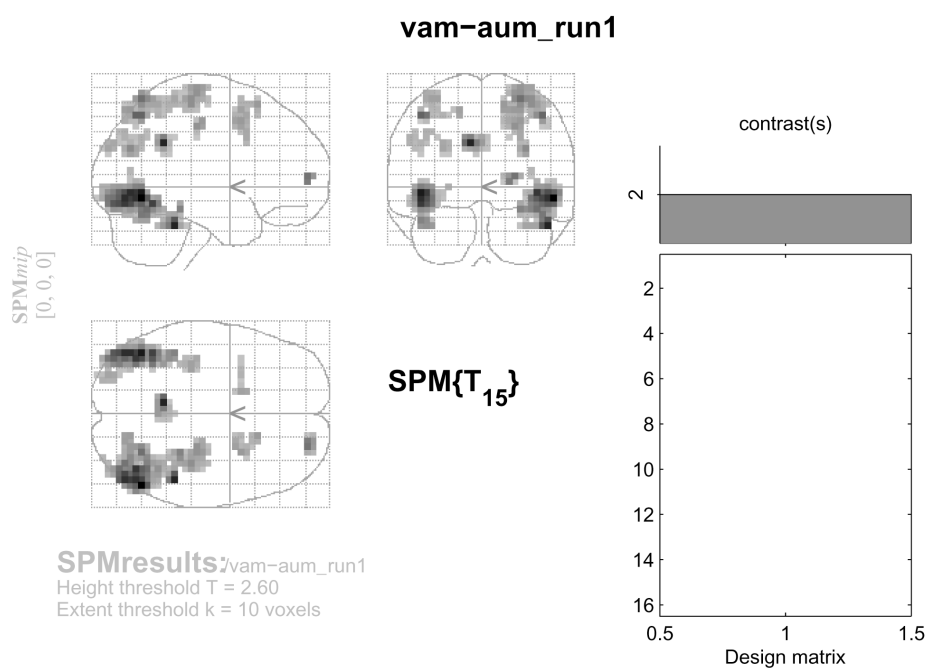
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level				$p_{\text{uncorrected}}$	x,y,z {mm} Talairach
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})		
0.005	13	0.000	212	0.000	0.079	0.040	6.75	4.51	0.000	51 -62 -4
					0.220	0.040	6.16	4.29	0.000	48 -40 -22
					0.328	0.040	5.94	4.20	0.000	48 -74 -3
					0.365	0.040	5.88	4.17	0.000	40 -66 -0
					1.000	0.068	4.62	3.59	0.000	40 -59 -11
					1.000	0.071	4.52	3.54	0.000	36 -74 -3
					1.000	0.072	4.47	3.51	0.000	44 -63 -14
					1.000	0.095	4.17	3.34	0.000	28 -36 -12
					1.000	0.127	3.87	3.17	0.001	40 -51 -8
					1.000	0.226	3.02	2.63	0.004	36 -69 15
		0.000	155	0.000	0.152	0.040	6.37	4.37	0.000	-44 -62 -0
					0.283	0.040	6.03	4.23	0.000	-44 -74 -3
					0.671	0.045	5.55	4.03	0.000	-44 -55 -7
					1.000	0.219	3.15	2.72	0.003	-24 -89 4
		0.126	35	0.001	0.225	0.040	6.15	4.28	0.000	-8 -45 32
					0.996	0.058	4.92	3.74	0.000	-44 -63 51
		0.990	11	0.048	0.999	0.058	4.81	3.69	0.000	44 -60 51
		0.000	138	0.000	1.000	0.068	4.63	3.59	0.000	28 -59 62
					1.000	0.110	3.98	3.24	0.001	36 -24 60
					1.000	0.131	3.84	3.15	0.001	28 -20 64
					1.000	0.146	3.72	3.08	0.001	28 -67 55
					1.000	0.153	3.62	3.02	0.001	16 -67 55
					1.000	0.174	3.44	2.91	0.002	28 -36 61
					1.000	0.219	3.14	2.71	0.003	44 -40 57
					1.000	0.219	3.14	2.71	0.003	36 -48 50

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
 Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.058$ (0.996)
 Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.764$
 Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.57$
 Expected false discovery rate, ≤ 0.29

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
 Smoothness FWHM = 8.9 9.1 9.9 {mm} = 2.2 2.3 2.5 {voxels}
 Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1667.1 resels
 Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 12.67 voxels)
 Page 1

**Statistics: Nebenmaxima**

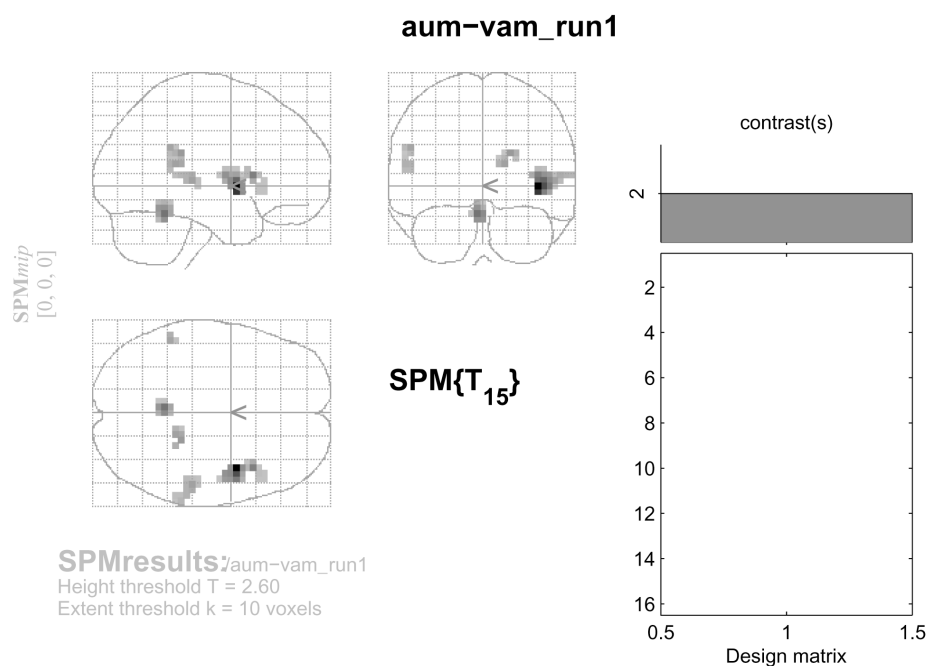
set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	$(Z_{\equiv})$	$p_{\text{uncorrected}}$	Talairach		
		0.996	10	0.058	1.000	0.071	4.53	3.54	0.000	24	55	5
		0.858	16	0.020	1.000	0.095	4.17	3.35	0.000	-44	-40	-18
		0.900	15	0.024	1.000	0.107	4.04	3.27	0.001	32	-68	29
		0.934	14	0.028	1.000	0.124	3.89	3.18	0.001	24	-21	42
					1.000	0.146	3.70	3.07	0.001	28	-17	45
					1.000	0.190	3.30	2.82	0.002	20	-17	45
		0.079	39	0.001	1.000	0.147	3.65	3.04	0.001	28	10	44
					1.000	0.147	3.65	3.04	0.001	16	22	54
					1.000	0.220	3.11	2.69	0.004	28	11	55
		0.397	25	0.005	1.000	0.164	3.52	2.96	0.002	-36	-24	60
		0.961	13	0.034	1.000	0.170	3.48	2.93	0.002	-16	10	51
					1.000	0.225	3.05	2.65	0.004	-28	10	47
					1.000	0.237	2.95	2.58	0.005	-32	11	58
		0.180	32	0.002	1.000	0.175	3.43	2.90	0.002	-28	-84	30
					1.000	0.209	3.20	2.75	0.003	-40	-72	37
					1.000	0.220	3.12	2.70	0.003	-51	-60	36
					1.000	0.220	3.10	2.69	0.004	-44	-68	33

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.058$ (0.996)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.764$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.57$
Expected false discovery rate, ≤ 0.29

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.9 9.1 9.9 {mm} = 2.2 2.3 2.5 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1667.1 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 12.67 voxels)
Page 2/2

Größenvergleich: auditive Zahlwörter - arabische Zahlen

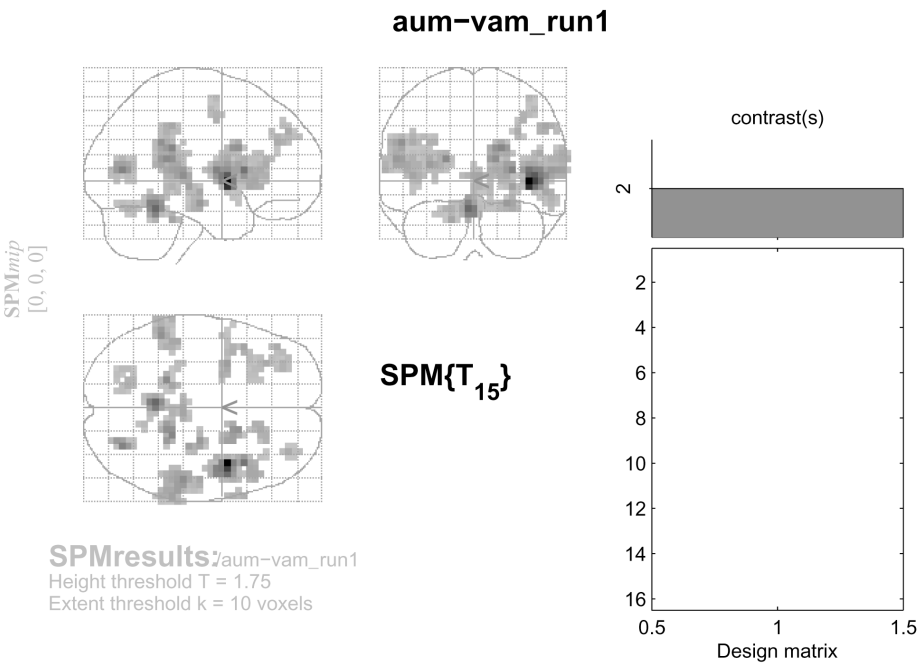
**Statistics: p -values adjusted for search volume**

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
p	c	$p_{corrected}$	k_E	$p_{uncorrected}$	$p_{FWE-corr}$	$p_{FDR-corr}$	T	(Z_{α})	$p_{uncorrected}$	Talairach		
0.654	5	0.017	53	0.000	0.010	0.035	8.03	4.93	0.000	40	4	-0
					0.999	0.487	4.76	3.66	0.000	40	16	7
					1.000	1.000	2.81	2.48	0.007	48	19	-4
		0.593	21	0.009	0.986	0.251	5.13	3.84	0.000	-4	-47	-14
		0.996	10	0.058	1.000	0.527	4.07	3.29	0.000	20	-34	24
					1.000	0.722	3.84	3.16	0.001	16	-38	17
		0.758	18	0.015	1.000	0.724	3.82	3.14	0.001	51	-27	5
		0.996	10	0.058	1.000	0.842	3.64	3.03	0.001	-51	-41	28
					1.000	1.000	3.36	2.85	0.002	-55	-42	17

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.058$ (0.996)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.764$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.57$
Expected false discovery rate, ≤ 1.00

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.9 9.1 9.9 {mm} = 2.2 2.3 2.5 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1667.1 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 12.67 voxels)



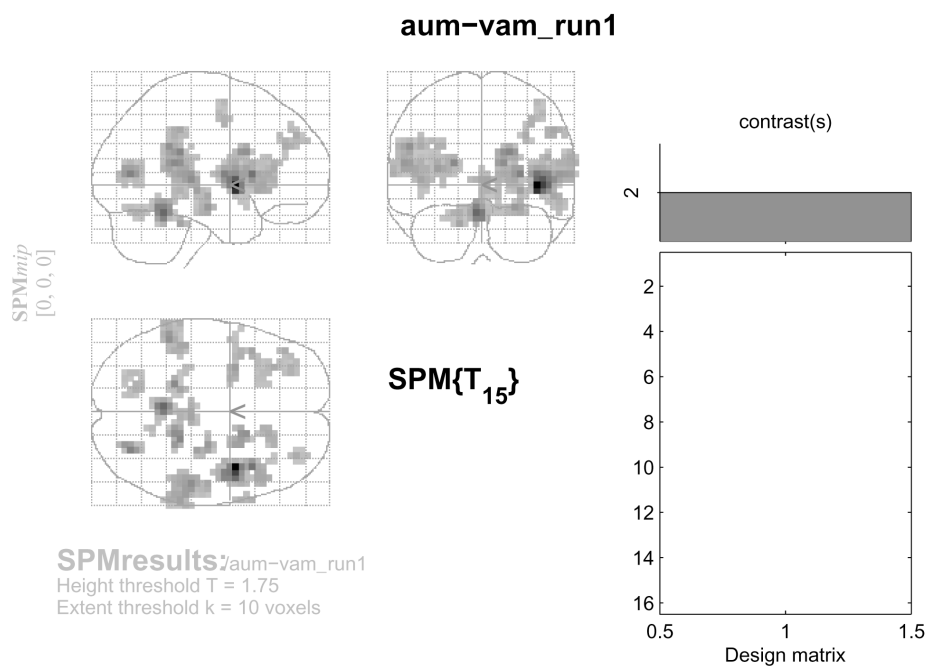
Statistics: Nebenmaxima

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}	
p	c	p _{corrected}	k _E	p _{uncorrected}	p _{FWE-corr}	p _{FDR-corr}	T	(Z _≡)	p _{uncorrected}	Talairach	
1.000	17	0.143	145	0.001	0.010	0.035	8.03	4.93	0.000	40	4 -0
					0.999	0.487	4.76	3.66	0.000	40	16 7
					1.000	1.000	2.81	2.48	0.007	48	19 -4
					1.000	1.000	2.35	2.14	0.016	48	5 18
					1.000	1.000	1.98	1.84	0.033	51	11 -14
					1.000	1.000	1.91	1.78	0.037	48	7 -10
		0.605	92	0.006	0.986	0.300	5.13	3.84	0.000	-4	-47 -14
					1.000	1.000	3.02	2.63	0.004	-16	-36 -22
					1.000	1.000	2.99	2.61	0.005	4	-27 5
					1.000	1.000	2.47	2.23	0.013	4	-35 -2
					1.000	1.000	2.38	2.16	0.015	12	-39 -1
					1.000	1.000	2.16	1.99	0.023	12	-55 -11
		1.000	21	0.150	1.000	0.508	4.19	3.36	0.000	28	-69 11
		1.000	23	0.133	1.000	0.528	4.07	3.29	0.000	20	-34 24
					1.000	0.724	3.84	3.16	0.001	16	-38 17
		1.000	17	0.193	1.000	0.701	3.89	3.19	0.001	-20	-38 17
					1.000	1.000	2.08	1.92	0.027	-28	-30 20
		0.347	114	0.003	1.000	0.724	3.82	3.14	0.001	51	-27 5
					1.000	1.000	2.91	2.55	0.005	51	-16 -6
					1.000	1.000	2.79	2.47	0.007	63	-42 21
					1.000	1.000	2.79	2.47	0.007	48	-34 20
					1.000	1.000	2.51	2.26	0.012	59	-30 16
					1.000	1.000	2.45	2.22	0.013	67	-30 16
		1.000	38	0.060	1.000	0.838	3.66	3.05	0.001	16	13 21
					1.000	1.000	3.10	2.68	0.004	24	8 7

table shows 100 local maxima more than 5.0mm apart

Height threshold: T = 1.75, p = 0.049 (1.000)
Extent threshold: k = 10 voxels, p = 0.315 (1.000)
Expected voxels per cluster, <k> = 10.688
Expected number of clusters, <c> = 46.94
Expected false discovery rate, <= 1.00

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.9 9.1 9.9 {mm} = 2.2 2.3 2.5 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1667.1 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 12.67 voxels)
Page 1

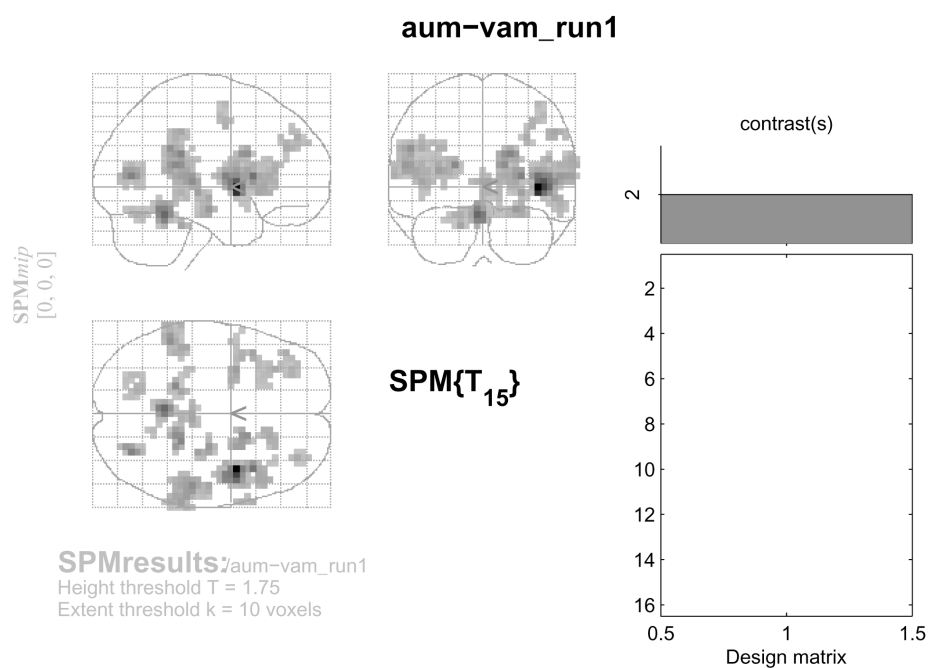
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm} Talairach
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{eq})	$p_{\text{uncorrected}}$	
		0.687	86	0.008	1.000	0.842	3.64	3.03	0.001	-51 -41 28
					1.000	1.000	3.36	2.85	0.002	-55 -42 17
					1.000	1.000	2.83	2.49	0.006	-48 -34 13
					1.000	1.000	2.58	2.31	0.010	-63 -35 9
					1.000	1.000	2.48	2.24	0.013	-63 -42 13
		1.000	27	0.106	1.000	1.000	3.33	2.84	0.002	24 -16 -13
					1.000	1.000	3.15	2.72	0.003	28 -23 -2
		0.514	99	0.005	1.000	1.000	3.32	2.83	0.002	-32 4 11
					1.000	1.000	2.96	2.59	0.005	-44 16 3
					1.000	1.000	2.75	2.44	0.007	-44 40 24
					1.000	1.000	2.70	2.40	0.008	-32 32 9
					1.000	1.000	2.54	2.28	0.011	-40 8 11
					1.000	1.000	2.46	2.22	0.013	-32 44 24
					1.000	1.000	2.16	1.99	0.023	-36 48 27
					1.000	1.000	2.10	1.94	0.026	-24 20 14
					1.000	1.000	2.06	1.91	0.028	-36 28 17
					1.000	1.000	1.98	1.84	0.033	-44 11 -7
					1.000	1.000	1.88	1.76	0.039	-59 8 7
		1.000	12	0.271	1.000	1.000	2.82	2.49	0.006	51 -33 38
					1.000	1.000	2.19	2.01	0.022	59 -29 35
		1.000	18	0.181	1.000	1.000	2.78	2.46	0.007	16 27 6
					1.000	1.000	2.55	2.29	0.011	20 31 2
		1.000	11	0.292	1.000	1.000	2.70	2.40	0.008	32 48 31
					1.000	1.000	2.07	1.91	0.028	32 56 27

table shows 100 local maxima more than 5.0mm apart

Height threshold: $T = 1.75$, $p = 0.049$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.315$ (1.000)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 10.688$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 46.94$
Expected false discovery rate, ≤ 1.00

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.9 9.1 9.9 {mm} = 2.2 2.3 2.5 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1667.1 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 12.67 voxels)
Page 2


Statistics: Nebenmaxima

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	$(Z_{\equiv})$	$p_{\text{uncorrected}}$	Talairach		
1.000		1.000	12	0.271	1.000	1.000	2.67	2.38	0.009	63	8	3
					1.000	1.000	2.64	2.35	0.009	63	16	14
1.000		1.000	17	0.193	1.000	1.000	2.66	2.37	0.009	-16	-67	-13
1.000		1.000	12	0.271	1.000	1.000	2.60	2.33	0.010	36	-2	41
					1.000	1.000	2.17	2.00	0.023	40	-1	55
1.000		1.000	13	0.252	1.000	1.000	2.20	2.02	0.022	-28	-69	11
					1.000	1.000	2.05	1.90	0.029	-24	-73	15

table shows 100 local maxima more than 5.0mm apart

Height threshold: $T = 1.75$, $p = 0.049$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.315$ (1.000)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 10.688$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 46.94$
Expected false discovery rate, ≤ 1.00

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.9 9.1 9.9 {mm} = 2.2 2.3 2.5 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1667.1 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 12.67 voxels)
Page 3/3

Größenvergleich: Visuelle Zahlwörter - auditive Zahlwörter

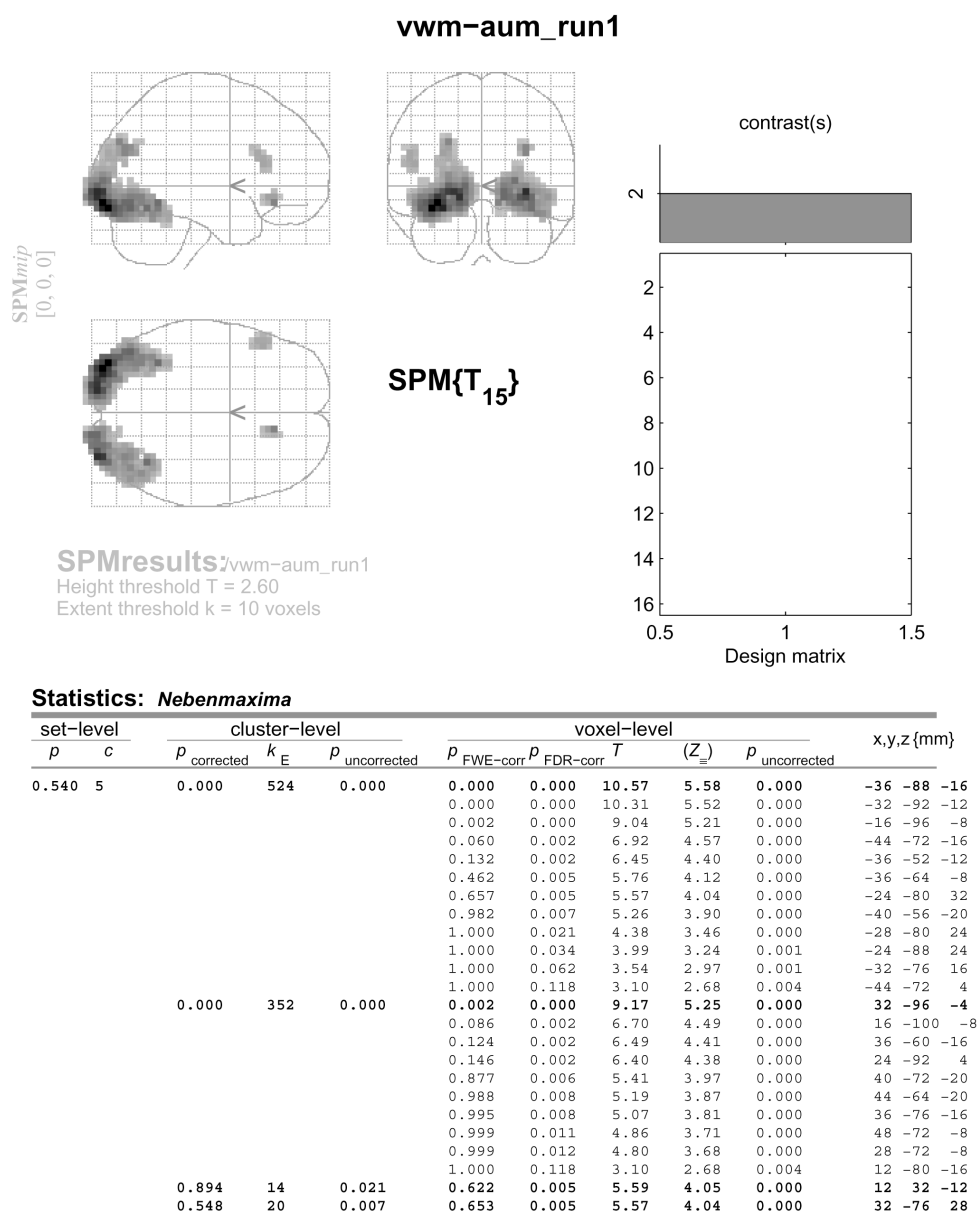
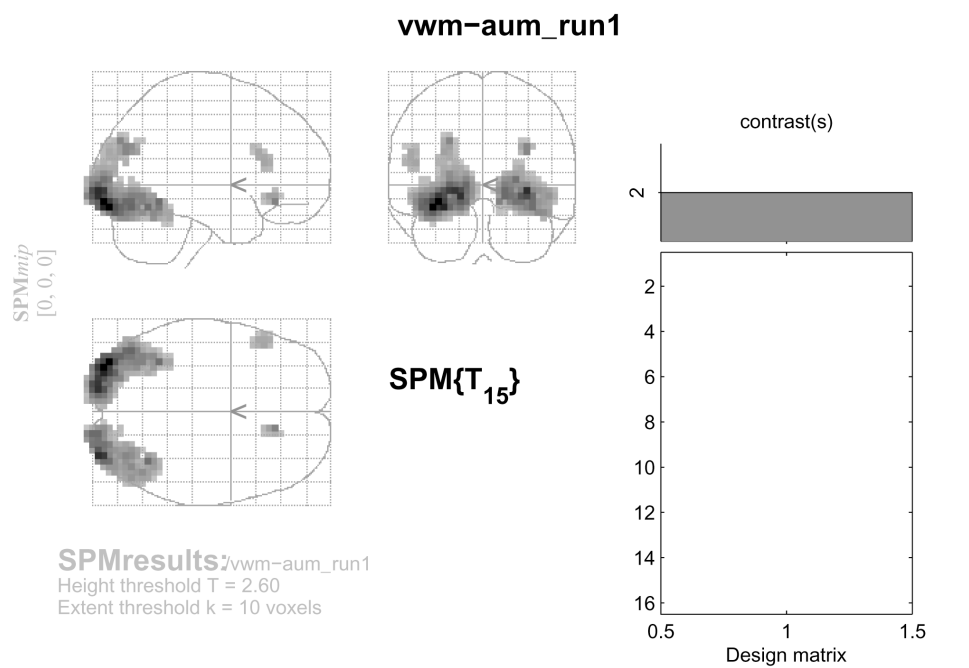


table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.045$ (0.992)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.441$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.89$
Expected false discovery rate, ≤ 0.24

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.8 9.5 {mm} = 2.2 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1887.6 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.19 voxels)
Page 1

**Statistics: Nebenmaxima**

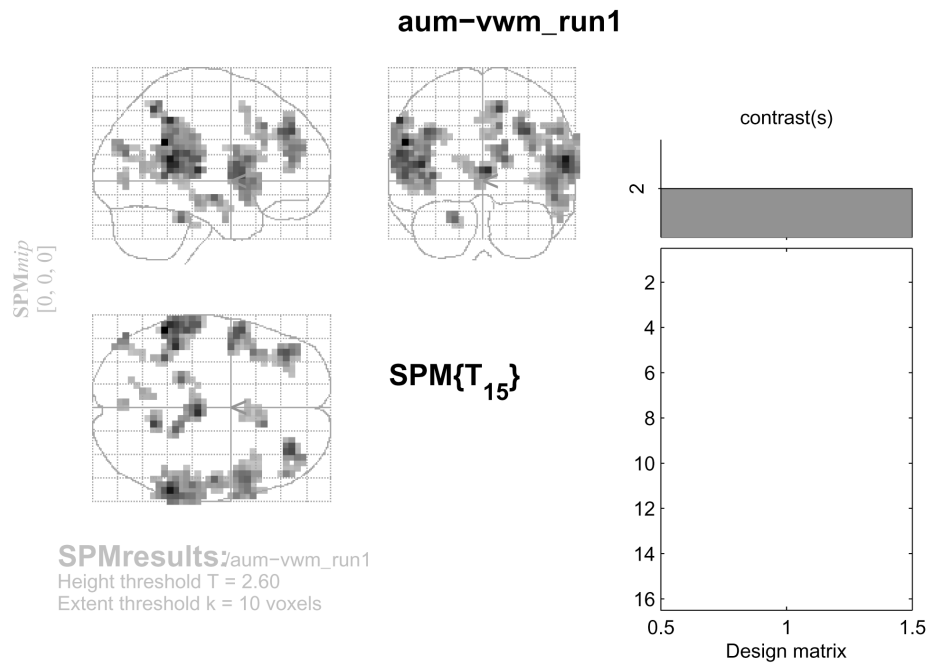
set-level		cluster-level			voxel-level				x,y,z {mm}		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	$(Z_{\equiv})$			
		0.303	25	0.003	1.000	0.026	4.19	3.36	0.000	-48	24
					1.000	0.031	4.07	3.29	0.001	-52	20
										16	24

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
 Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.045$ (0.992)
 Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.441$
 Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.89$
 Expected false discovery rate, ≤ 0.24

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
 Smoothness FWHM = 8.6 8.8 9.5 {mm} = 2.2 2.2 2.4 {voxels}
 Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1887.6 resels
 Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.19 voxels)
 Page 2/2

Größenvergleich: Auditive Zahlwörter - visuelle Zahlwörter

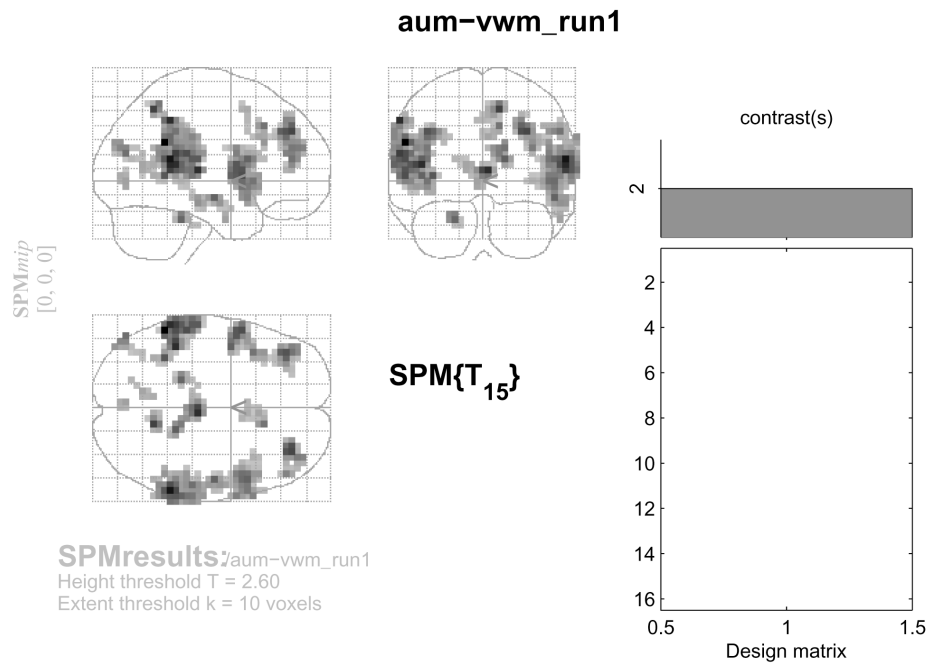
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm} Talairach
p	c	$p_{corrected}$	k_E	$p_{uncorrected}$	$p_{FWE-corr}$	$p_{FDR-corr}$	T	(Z_{α})	$p_{uncorrected}$	
0.001	14	0.000	204	0.000	0.172	0.078	6.30	4.34	0.000	-55 -45 28
					0.581	0.078	5.63	4.07	0.000	-44 -38 13
					0.603	0.078	5.61	4.06	0.000	-59 -41 43
					0.971	0.078	5.35	3.94	0.000	-59 -38 20
					0.996	0.078	5.01	3.78	0.000	-55 -30 20
					0.999	0.078	4.85	3.71	0.000	-36 -46 6
					0.999	0.078	4.81	3.68	0.000	-59 -26 16
					1.000	0.101	3.95	3.22	0.001	-63 -26 31
					1.000	0.103	3.90	3.19	0.001	-63 -26 23
					1.000	0.152	3.21	2.76	0.003	-36 -54 6
		0.000	224	0.000	0.270	0.078	6.05	4.24	0.000	59 -42 17
					1.000	0.080	4.64	3.60	0.000	51 -12 -9
					1.000	0.083	4.39	3.46	0.000	55 -26 16
					1.000	0.083	4.36	3.45	0.000	55 -37 35
					1.000	0.083	4.28	3.41	0.000	63 -26 20
					1.000	0.110	3.76	3.11	0.001	67 -26 31
					1.000	0.114	3.68	3.06	0.001	55 -24 -12
					1.000	0.114	3.68	3.06	0.001	55 -8 -13
					1.000	0.114	3.64	3.04	0.001	48 -45 35
					1.000	0.114	3.64	3.04	0.001	48 -30 27
		0.005	58	0.000	1.000	0.114	3.64	3.03	0.001	63 -18 19
					1.000	0.128	3.44	2.91	0.002	55 -5 -23
					0.526	0.078	5.69	4.09	0.000	4 -23 9
					1.000	0.078	4.72	3.64	0.000	16 -38 17
					1.000	0.083	4.38	3.46	0.000	16 -38 24
					1.000	0.089	4.19	3.35	0.000	12 -34 20

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
 Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.045$ (0.992)
 Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.441$
 Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.89$
 Expected false discovery rate, ≤ 0.22

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
 Smoothness FWHM = 8.6 8.8 9.5 {mm} = 2.2 2.2 2.4 {voxels}
 Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1887.6 resels
 Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.19 voxels)
 Page 1

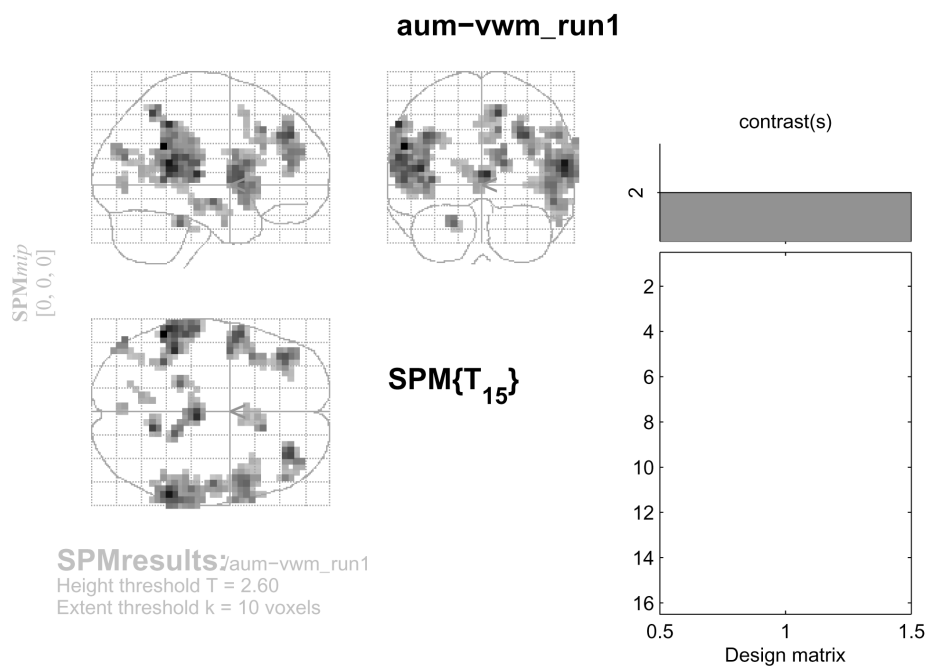

Statistics: Nebenmaxima

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}	
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{eq})	$p_{\text{uncorrected}}$	Talairach	
		0.731	17	0.012	0.984	0.078	5.24	3.89	0.000	12	-52 50
		0.009	53	0.000	0.990	0.078	5.16	3.86	0.000	32	44 31
					1.000	0.089	4.20	3.36	0.000	36	48 20
					1.000	0.097	4.03	3.27	0.001	48	40 16
		0.000	85	0.000	0.997	0.078	5.00	3.78	0.000	-55	8 3
					0.999	0.078	4.88	3.72	0.000	-51	4 11
					1.000	0.078	4.67	3.61	0.000	-44	0 4
					1.000	0.083	4.31	3.42	0.000	-40	16 -1
		0.002	67	0.000	0.997	0.078	4.98	3.77	0.000	-40	40 31
					1.000	0.083	4.36	3.45	0.000	-40	43 13
					1.000	0.083	4.28	3.41	0.000	-40	44 20
					1.000	0.114	3.68	3.06	0.001	-40	25 25
					1.000	0.157	3.14	2.71	0.003	-36	25 36
		0.000	145	0.000	1.000	0.078	4.64	3.60	0.000	51	12 14
					1.000	0.082	4.52	3.54	0.000	51	8 -0
					1.000	0.092	4.14	3.33	0.000	63	4 3
					1.000	0.095	4.09	3.30	0.000	48	5 18
					1.000	0.097	4.01	3.25	0.001	51	11 -11
					1.000	0.161	3.09	2.68	0.004	36	16 -1
		0.933	13	0.025	1.000	0.080	4.60	3.58	0.000	-20	-36 -22
					1.000	0.189	2.82	2.49	0.006	-16	-25 -26
		0.608	19	0.009	1.000	0.083	4.38	3.46	0.000	-51	-73 22
					1.000	0.183	2.87	2.52	0.006	-40	-61 21
		0.846	15	0.017	1.000	0.083	4.31	3.42	0.000	12	25 36
					1.000	0.141	3.34	2.84	0.002	4	21 28
					1.000	0.182	2.88	2.53	0.006	0	13 32

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.045$ (0.992)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.441$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.89$
Expected false discovery rate, ≤ 0.22

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.8 9.5 {mm} = 2.2 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1887.6 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.19 voxels)
Page 2

**Statistics: Nebenmaxima**

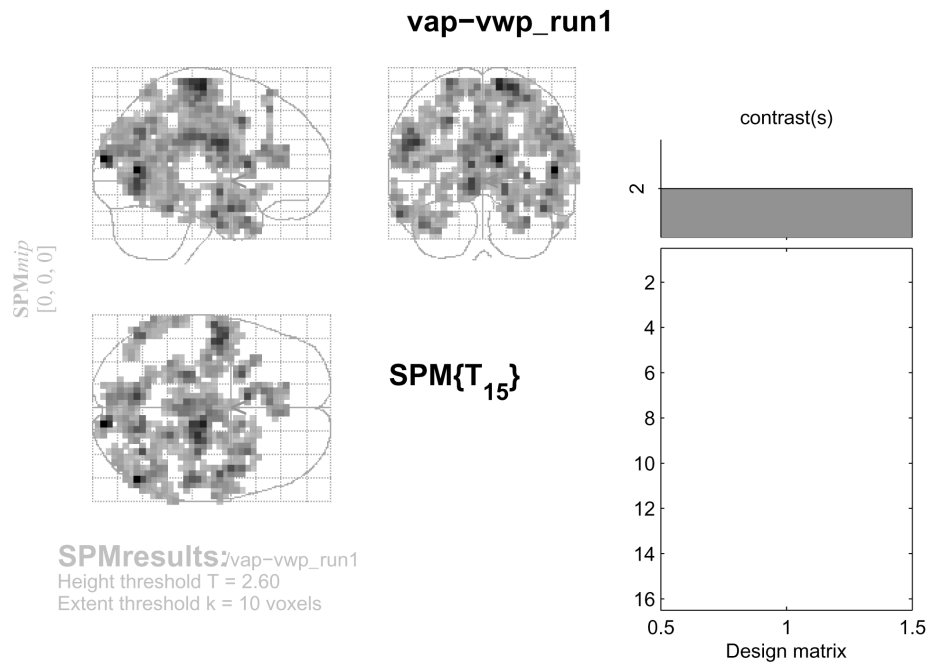
set-level		cluster-level			voxel-level				x,y,z {mm}		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	$(Z_{\equiv})$	$p_{\text{uncorrected}}$	Talairach	
		0.992	10	0.045	1.000	0.135	3.37	2.87	0.002	-4	-74 4
		0.982	11	0.037	1.000	0.141	3.33	2.84	0.002	-12	-61 14
					1.000	0.153	3.17	2.73	0.003	-8	-54 14
					1.000	0.177	2.93	2.56	0.005	-20	-69 18
		0.992	10	0.045	1.000	0.153	3.20	2.75	0.003	4	14 47
					1.000	0.171	2.97	2.60	0.005	-4	14 40

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.045$ (0.992)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.441$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.89$
Expected false discovery rate, ≤ 0.22

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.8 9.5 {mm} = 2.2 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1887.6 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.19 voxels)
Page 3/3

Paritätsaufgabe: Arabische Zahlen - visuelle Zahlwörter

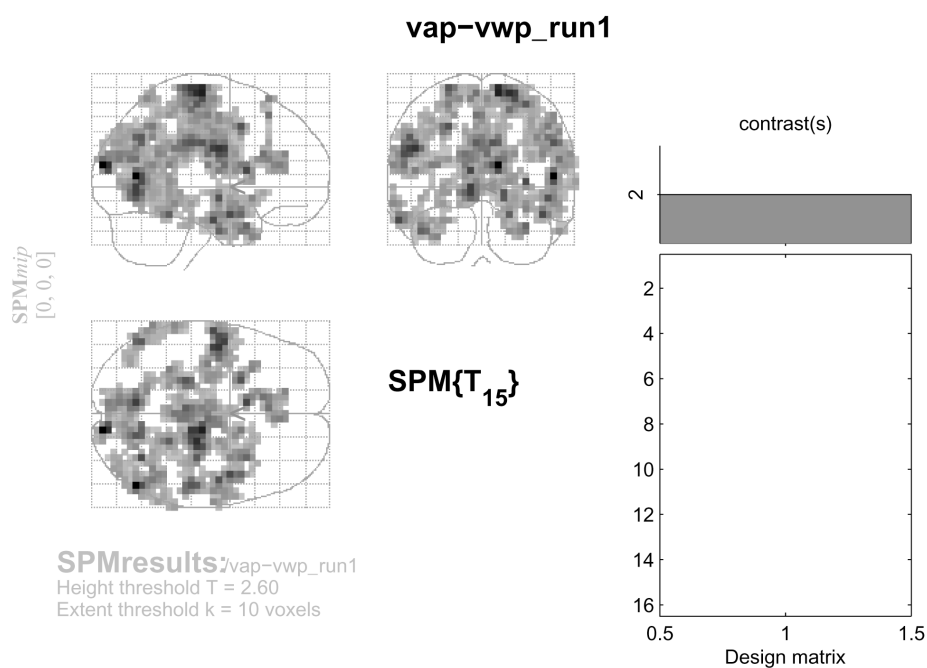
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
p	c	$p_{corrected}$	k_E	$p_{uncorrected}$	$p_{FWE-corr}$	$p_{FDR-corr}$	T	(Z_{max})	$p_{uncorrected}$			
0.000	23	0.000	381	0.000	0.052	0.027	7.01	4.60	0.000	12	-92	16
					0.378	0.030	5.86	4.17	0.000	-8	-68	0
					0.975	0.030	5.31	3.92	0.000	16	-68	-4
					0.993	0.037	5.09	3.82	0.000	20	-44	-20
					0.994	0.037	5.07	3.81	0.000	12	-64	32
					1.000	0.051	4.57	3.56	0.000	16	-72	20
					1.000	0.052	4.44	3.50	0.000	-8	-80	20
					1.000	0.054	4.29	3.41	0.000	-8	-88	20
					1.000	0.062	4.01	3.26	0.001	24	-68	24
					1.000	0.064	3.97	3.23	0.001	8	-76	0
					1.000	0.064	3.94	3.21	0.001	20	-44	4
					1.000	0.068	3.78	3.12	0.001	-28	-44	0
					1.000	0.071	3.71	3.08	0.001	-24	-36	-4
					1.000	0.072	3.65	3.04	0.001	24	-44	-8
					1.000	0.076	3.52	2.96	0.002	-24	-56	4
					1.000	0.076	3.50	2.94	0.002	-8	-68	28
					1.000	0.080	3.41	2.89	0.002	16	-40	16
					1.000	0.084	3.27	2.80	0.003	24	-52	8
					1.000	0.086	3.22	2.77	0.003	16	-92	32
					1.000	0.088	3.18	2.74	0.003	-16	-92	24
					1.000	0.093	3.04	2.64	0.004	4	-76	32
					1.000	0.094	3.04	2.64	0.004	28	-48	-4
					1.000	0.094	3.03	2.63	0.004	16	-80	40
					1.000	0.097	2.88	2.53	0.006	12	-44	-4

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.047$ (0.993)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.486$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.99$
Expected false discovery rate, ≤ 0.11

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.9 9.6 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1853.3 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.40 voxels)
Page 1

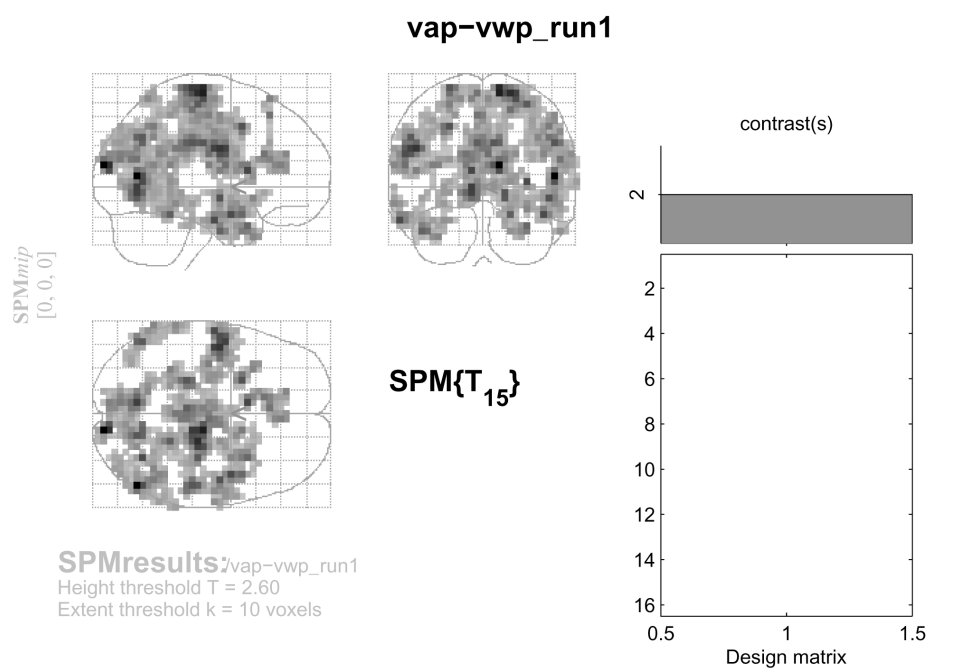
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level				x,y,z {mm}	
p	c	p _{corrected}	k _E	p _{uncorrected}	p _{FWE-corr}	p _{FDR-corr}	T	(Z _≡)		
		0.000	196	0.000	0.055	0.030	6.97	4.59	0.000	52 -68 8
					0.643	0.030	5.58	4.04	0.000	32 -64 4
					1.000	0.051	4.66	3.61	0.000	56 -68 20
					1.000	0.068	3.76	3.11	0.001	44 -68 -8
					1.000	0.069	3.75	3.10	0.001	44 -80 32
					1.000	0.072	3.64	3.03	0.001	52 -68 -12
					1.000	0.072	3.63	3.03	0.001	68 -40 4
					1.000	0.073	3.61	3.02	0.001	64 -52 16
					1.000	0.076	3.55	2.98	0.001	36 -80 44
					1.000	0.076	3.53	2.97	0.002	48 -76 36
					1.000	0.078	3.46	2.92	0.002	60 -48 12
					1.000	0.078	3.46	2.92	0.002	52 -76 28
					1.000	0.080	3.40	2.88	0.002	32 -84 32
					1.000	0.084	3.25	2.78	0.003	28 -64 12
					1.000	0.094	3.01	2.62	0.004	36 -72 44
					1.000	0.095	2.96	2.59	0.005	28 -76 0
					1.000	0.106	2.69	2.39	0.008	44 -68 48
		0.000	638	0.000	0.129	0.030	6.47	4.40	0.000	12 -20 68
					0.189	0.030	6.25	4.32	0.000	20 -24 68
					0.972	0.030	5.34	3.94	0.000	8 -20 32
					0.974	0.030	5.32	3.93	0.000	52 -28 32
					0.984	0.031	5.23	3.89	0.000	32 -24 60
					0.990	0.034	5.14	3.84	0.000	-4 -32 32
					0.999	0.049	4.80	3.68	0.000	4 -16 24
					1.000	0.049	4.77	3.66	0.000	20 -28 56
					1.000	0.051	4.55	3.55	0.000	0 -40 28

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: T = 2.60, p = 0.010 (1.000)
Extent threshold: k = 10 voxels, p = 0.047 (0.993)
Expected voxels per cluster, <k> = 2.486
Expected number of clusters, <c> = 4.99
Expected false discovery rate, <= 0.11

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.9 9.6 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1853.3 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.40 voxels)
Page 2

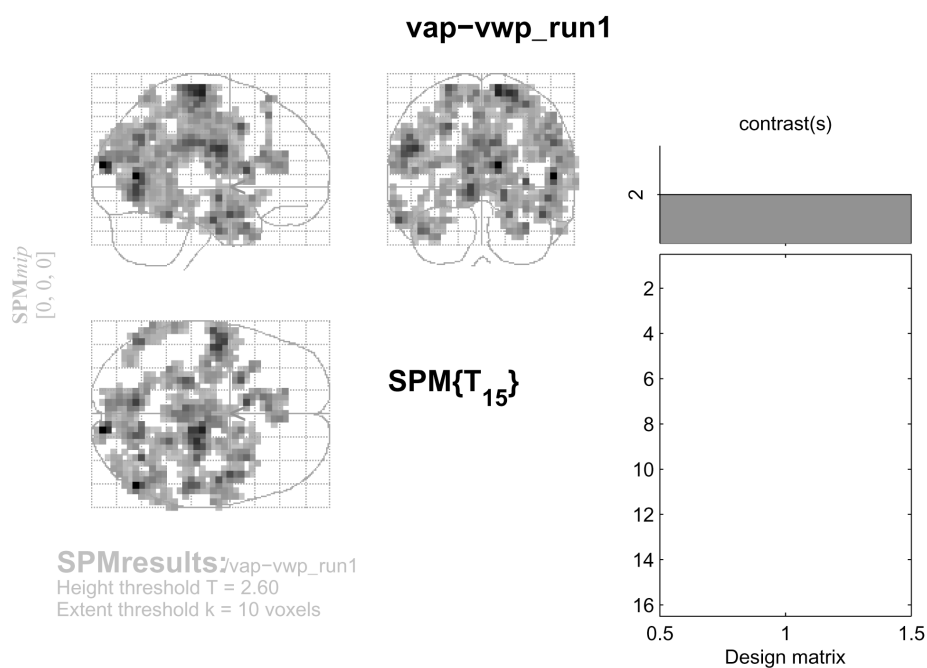

Statistics: Nebenmaxima

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	$p_{\text{uncorrected}}$			
1.000					1.000	0.052	4.48	3.52	0.000	12	8	16
1.000					1.000	0.052	4.38	3.46	0.000	0	-16	52
1.000					1.000	0.052	4.37	3.45	0.000	-4	-20	32
1.000					1.000	0.056	4.15	3.33	0.000	-4	-12	32
1.000					1.000	0.057	4.14	3.33	0.000	52	-8	52
1.000					1.000	0.057	4.13	3.32	0.000	4	-12	64
1.000					1.000	0.057	4.12	3.32	0.000	56	-12	40
1.000					1.000	0.057	4.11	3.31	0.000	-4	-24	52
1.000					1.000	0.060	4.06	3.28	0.001	64	-12	24
1.000					1.000	0.064	3.99	3.24	0.001	16	4	12
1.000					1.000	0.066	3.85	3.16	0.001	-4	-16	44
1.000					1.000	0.066	3.85	3.16	0.001	16	4	24
1.000					1.000	0.067	3.83	3.15	0.001	60	-4	16
1.000					1.000	0.068	3.77	3.11	0.001	20	-40	56
1.000					1.000	0.072	3.67	3.05	0.001	60	4	24
1.000					1.000	0.073	3.62	3.02	0.001	36	-28	48
1.000					1.000	0.074	3.59	3.00	0.001	-12	-36	40
1.000					1.000	0.076	3.54	2.97	0.001	36	-56	64
1.000					1.000	0.076	3.54	2.97	0.001	28	-56	68
1.000					1.000	0.076	3.51	2.95	0.002	52	-4	28
1.000					1.000	0.076	3.50	2.95	0.002	-8	-36	24
1.000					1.000	0.079	3.43	2.90	0.002	12	-36	40
1.000					1.000	0.080	3.41	2.89	0.002	16	-52	52
1.000					1.000	0.080	3.40	2.88	0.002	12	8	44
1.000					1.000	0.084	3.29	2.81	0.002	16	-44	60
1.000					1.000	0.084	3.27	2.79	0.003	-4	0	44

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
 Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.047$ (0.993)
 Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.486$
 Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.99$
 Expected false discovery rate, ≤ 0.11

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
 Smoothness FWHM = 8.5 8.9 9.6 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
 Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1853.3 resels
 Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.40 voxels)
 Page 3

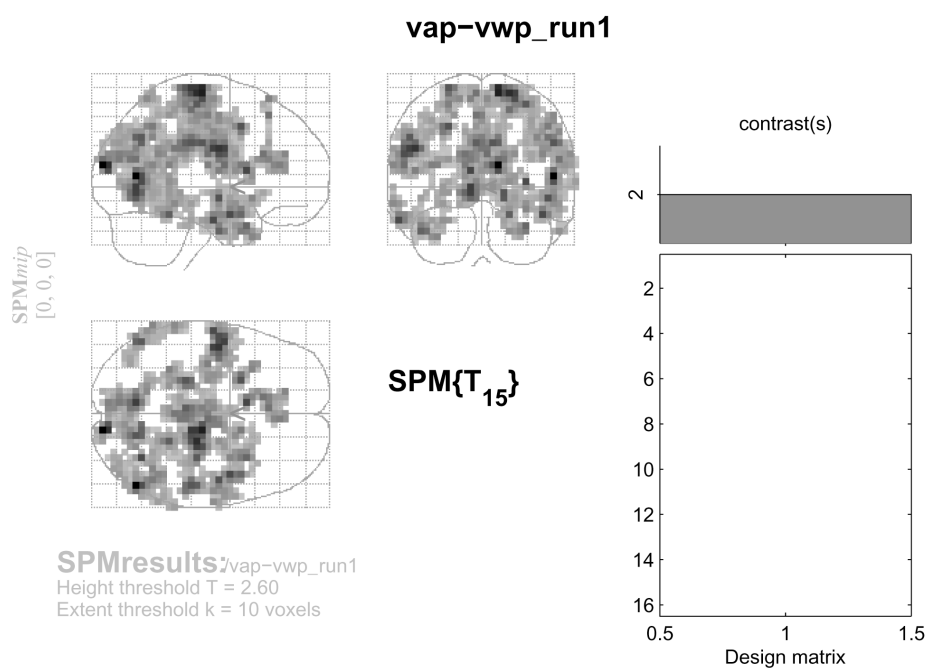
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	$p_{\text{uncorrected}}$			
					1.000	0.086	3.23	2.77	0.003	0	-4	48
					1.000	0.089	3.17	2.73	0.003	16	-32	48
					1.000	0.090	3.14	2.71	0.003	-12	-40	20
					1.000	0.090	3.12	2.70	0.003	-4	0	32
					1.000	0.092	3.08	2.67	0.004	24	-52	56
					1.000	0.095	2.96	2.58	0.005	4	-44	16
					1.000	0.098	2.85	2.51	0.006	-16	-32	20
		0.000	105	0.000	0.267	0.030	6.06	4.24	0.000	-48	-8	28
					0.726	0.030	5.51	4.01	0.000	-56	-8	24
					0.999	0.049	4.78	3.67	0.000	-56	-4	16
					1.000	0.052	4.40	3.47	0.000	-48	-8	12
					1.000	0.052	4.36	3.45	0.000	-36	-16	16
					1.000	0.080	3.38	2.87	0.002	-60	4	16
		0.000	101	0.000	1.000	0.097	2.89	2.54	0.006	-36	-8	0
					0.558	0.030	5.65	4.08	0.000	-8	12	12
					1.000	0.051	4.63	3.59	0.000	-4	28	52
					1.000	0.051	4.63	3.59	0.000	-12	24	24
					1.000	0.052	4.40	3.47	0.000	4	36	16
					1.000	0.053	4.31	3.43	0.000	-8	28	64
					1.000	0.056	4.22	3.38	0.000	-16	40	24
					1.000	0.065	3.91	3.20	0.001	-12	16	8
					1.000	0.076	3.56	2.98	0.001	-8	28	32
					1.000	0.085	3.25	2.78	0.003	-4	24	60
		0.000	88	0.000	0.583	0.030	5.63	4.07	0.000	-60	-12	-24
					0.995	0.039	5.04	3.79	0.000	-44	-8	-32
					1.000	0.076	3.53	2.96	0.002	-44	0	-8

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.047$ (0.993)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.486$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.99$
Expected false discovery rate, ≤ 0.11

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.9 9.6 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1853.3 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.40 voxels)
Page 4

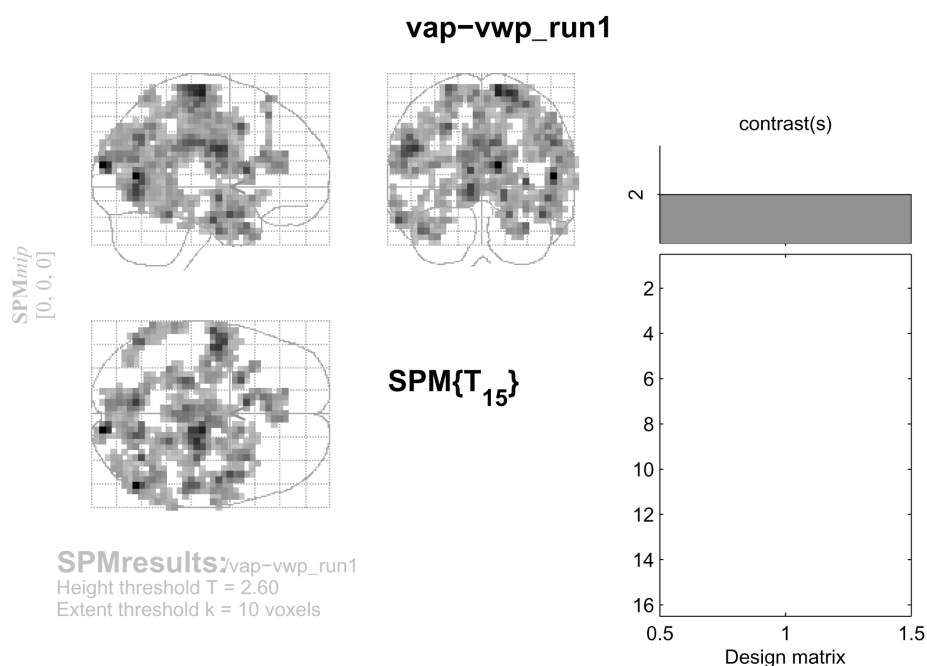

Statistics: Nebenmaxima

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	$p_{\text{uncorrected}}$	
		0.000	114	0.000	1.000	0.084	3.29	2.81	0.002	-40 4 -4
					1.000	0.095	2.99	2.61	0.005	-48 4 -16
					0.584	0.030	5.63	4.07	0.000	44 0 -20
					0.859	0.030	5.42	3.97	0.000	48 -8 -8
					0.997	0.039	4.98	3.77	0.000	44 8 -20
					1.000	0.056	4.18	3.35	0.000	32 0 -16
					1.000	0.064	3.96	3.22	0.001	56 -4 -32
					1.000	0.076	3.50	2.95	0.002	24 16 -12
					1.000	0.089	3.17	2.73	0.003	16 16 -8
					1.000	0.089	3.16	2.72	0.003	36 20 -8
		0.100	34	0.001	0.842	0.030	5.43	3.98	0.000	-24 8 44
					1.000	0.072	3.63	3.03	0.001	-36 0 48
					1.000	0.095	2.99	2.61	0.005	-24 4 56
		0.001	76	0.000	0.971	0.030	5.34	3.94	0.000	-24 -32 72
					1.000	0.051	4.64	3.60	0.000	-4 -28 68
					1.000	0.052	4.37	3.46	0.000	-24 -32 60
					1.000	0.067	3.84	3.15	0.001	-20 -44 52
					1.000	0.095	2.98	2.60	0.005	-12 -12 72
					1.000	0.097	2.89	2.54	0.006	-20 -24 52
					1.000	0.098	2.86	2.51	0.006	-8 -36 60
		0.000	89	0.000	0.988	0.033	5.17	3.86	0.000	-52 -64 36
					1.000	0.053	4.31	3.42	0.000	-56 -68 28
					1.000	0.056	4.21	3.37	0.000	-64 -56 16
					1.000	0.075	3.57	2.99	0.001	-36 -72 40
					1.000	0.084	3.29	2.81	0.002	-40 -72 24
					1.000	0.092	3.08	2.67	0.004	-56 -52 44

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.047$ (0.993)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.486$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.99$
Expected false discovery rate, ≤ 0.11

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.9 9.6 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1853.3 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.40 voxels)
Page 5

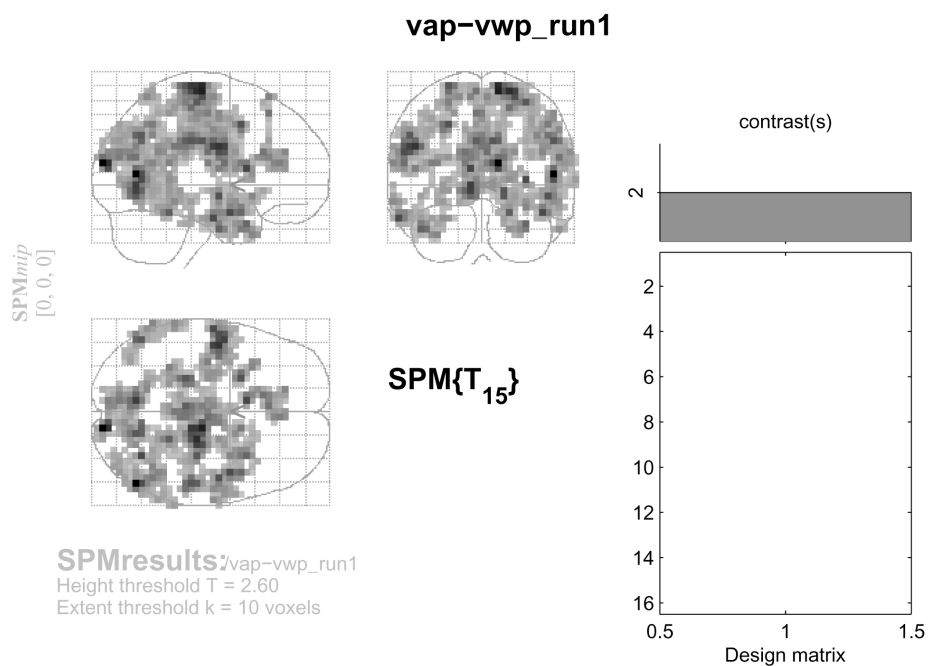

Statistics: Nebenmaxima

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	$p_{\text{uncorrected}}$	
					1.000	0.094	3.01	2.62	0.004	-60 -52 36
					1.000	0.095	2.95	2.58	0.005	-56 -72 8
					1.000	0.102	2.77	2.45	0.007	-44 -68 20
		0.028	44	0.000	0.997	0.040	4.96	3.76	0.000	32 12 -28
					1.000	0.064	3.95	3.22	0.001	20 -8 -32
					1.000	0.076	3.57	2.99	0.001	16 -28 -24
					1.000	0.084	3.29	2.81	0.002	24 -16 -28
		0.684	18	0.011	1.000	0.052	4.50	3.53	0.000	48 -56 44
					1.000	0.056	4.23	3.38	0.000	40 -56 36
		0.403	23	0.005	1.000	0.055	4.26	3.39	0.000	-32 -44 16
					1.000	0.068	3.81	3.14	0.001	-24 -40 20
					1.000	0.087	3.20	2.75	0.003	-24 -52 20
		0.938	13	0.026	1.000	0.056	4.18	3.35	0.000	-12 16 -8
					1.000	0.078	3.45	2.91	0.002	-12 24 -4
		0.684	18	0.011	1.000	0.056	4.17	3.34	0.000	44 -52 24
		0.983	11	0.038	1.000	0.056	4.17	3.34	0.000	-32 16 -36
		0.983	11	0.038	1.000	0.056	4.16	3.34	0.000	-16 -60 64
		0.191	29	0.002	1.000	0.060	4.07	3.29	0.001	-64 -40 -12
					1.000	0.082	3.33	2.83	0.002	-64 -52 0
					1.000	0.090	3.14	2.71	0.003	-60 -48 -12
					1.000	0.091	3.10	2.69	0.004	-64 -52 -8
		0.114	33	0.001	1.000	0.064	3.97	3.23	0.001	-28 -12 -24
					1.000	0.068	3.79	3.13	0.001	-28 -8 -12
					1.000	0.072	3.66	3.05	0.001	-36 -20 -24

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
 Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.047$ (0.993)
 Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.486$
 Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.99$
 Expected false discovery rate, ≤ 0.11

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
 Smoothness FWHM = 8.5 8.9 9.6 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
 Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1853.3 resels
 Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.40 voxels)
 Page 6


Statistics: Nebenmaxima

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	$(Z_{\equiv})$	$p_{\text{uncorrected}}$	
		0.993	10	0.047	1.000	0.066	3.90	3.19	0.001	-24 -16 60
		0.983	11	0.038	1.000	0.073	3.62	3.02	0.001	32 -28 -12
					1.000	0.091	3.10	2.68	0.004	36 -24 -8
					1.000	0.103	2.74	2.43	0.008	32 -44 -20
		0.938	13	0.026	1.000	0.076	3.51	2.95	0.002	-32 -20 44
					1.000	0.080	3.37	2.86	0.002	-40 -12 48
		0.983	11	0.038	1.000	0.078	3.46	2.92	0.002	36 -32 20

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
 Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.047$ (0.993)
 Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.486$
 Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.99$
 Expected false discovery rate, ≤ 0.11

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
 Smoothness FWHM = 8.5 8.9 9.6 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
 Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1853.3 resels
 Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.40 voxels)
 Page 7/7

Paritätsaufgabe: Visuelle Zahlwörter - arabische Zahlen

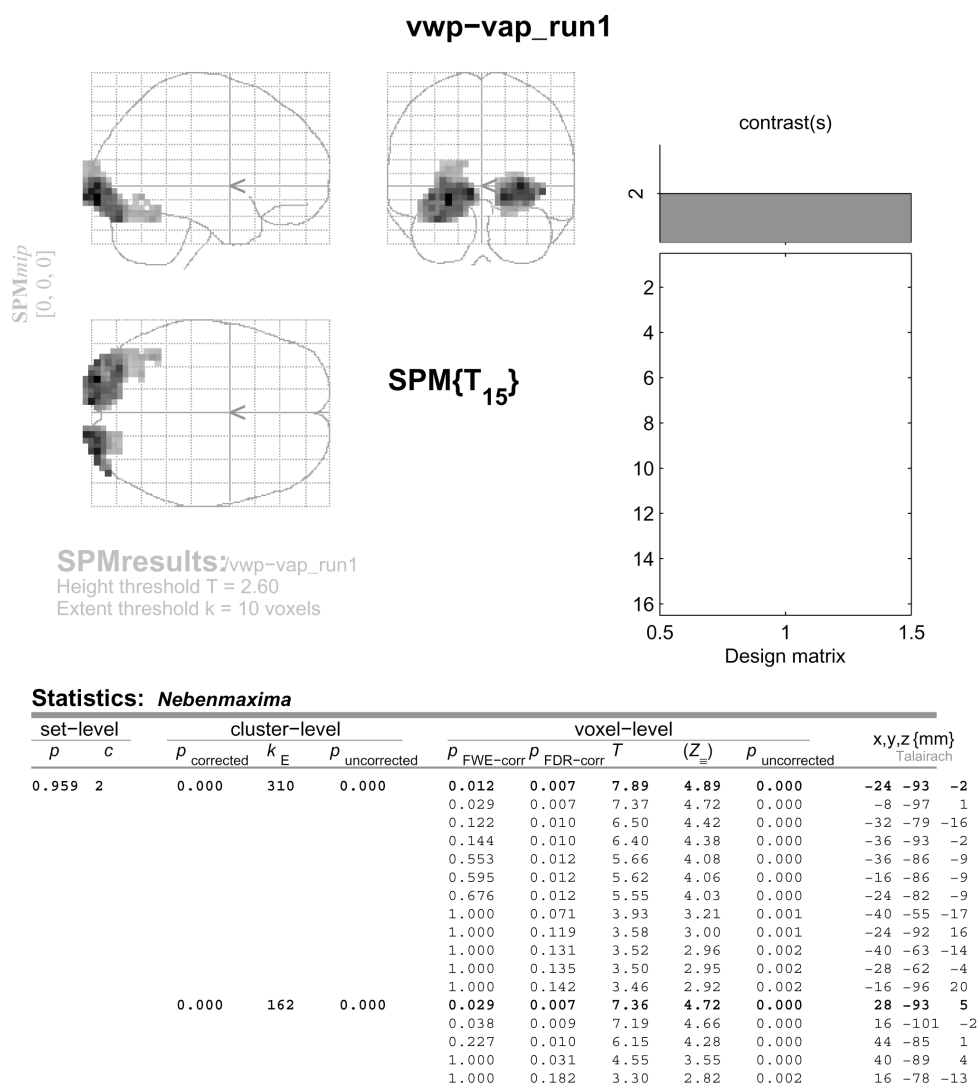
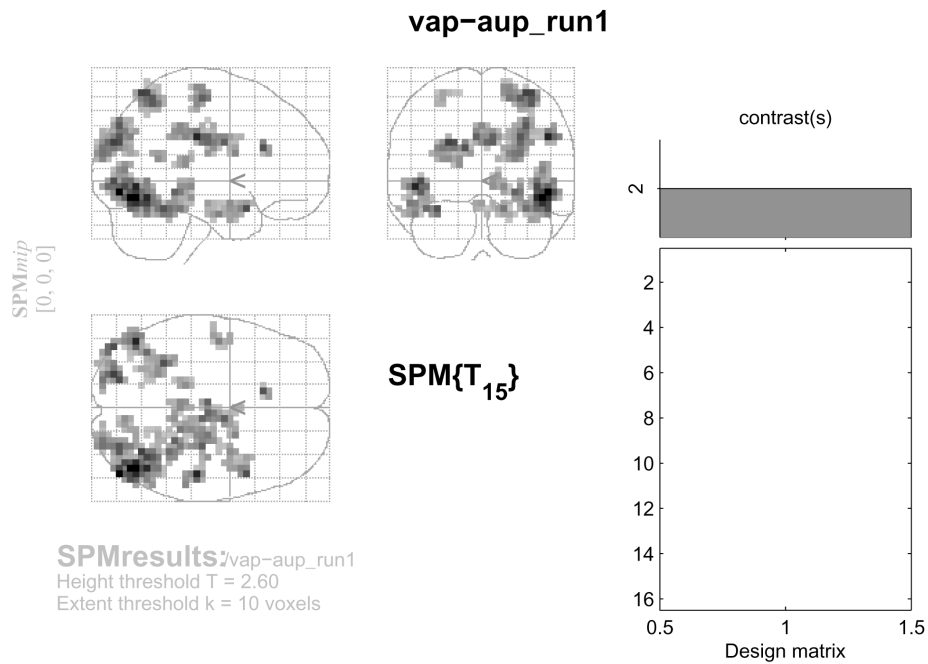


table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.047$ (0.993)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.486$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.99$
Expected false discovery rate, ≤ 0.51

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.9 9.6 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1853.3 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.40 voxels)

Paritätsaufgabe: Arabische Zahlen - auditive Zahlwörter

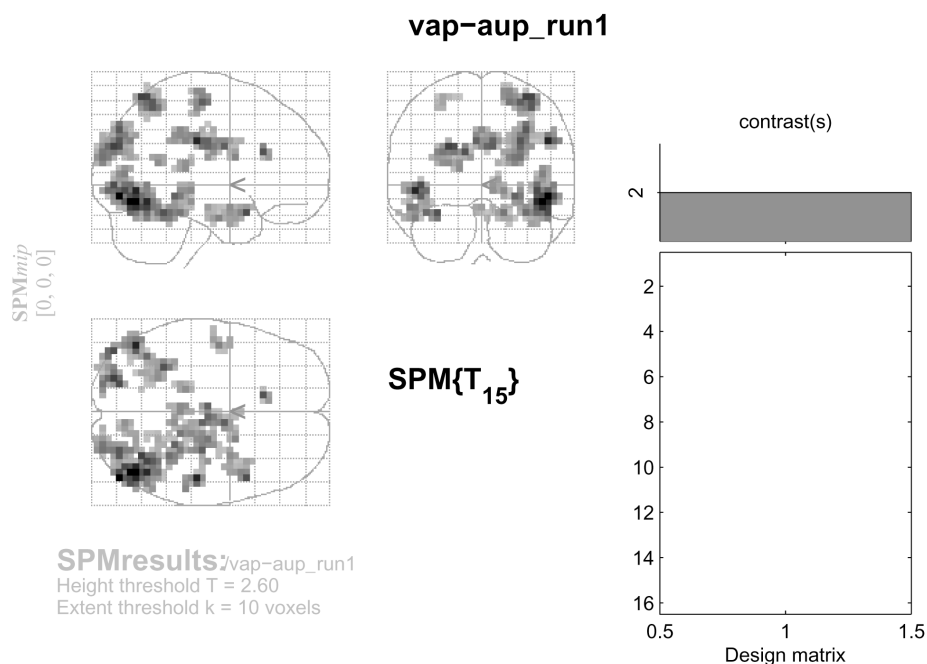
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
p	c	$p_{corrected}$	k_E	$p_{uncorrected}$	$p_{FWE-corr}$	$p_{FDR-corr}$	T	(Z_{α})	$p_{uncorrected}$	Talairach		
0.000	19	0.000	151	0.000	0.549	0.172	5.66	4.08	0.000	48	-78	-3
					0.550	0.172	5.66	4.08	0.000	44	-70	-7
					0.986	0.172	5.17	3.86	0.000	44	-59	-7
					1.000	0.173	4.66	3.61	0.000	40	-74	0
					1.000	0.178	4.00	3.25	0.001	44	-51	-14
					1.000	0.178	3.78	3.12	0.001	51	-58	3
					1.000	0.178	3.77	3.12	0.001	44	-73	11
					1.000	0.178	3.77	3.11	0.001	48	-59	-17
					1.000	0.182	3.49	2.94	0.002	55	-55	-4
					1.000	0.221	2.89	2.54	0.006	32	-63	-10
		0.000	85	0.000	0.979	0.172	5.25	3.89	0.000	-48	-66	-0
					1.000	0.173	4.60	3.58	0.000	-44	-81	4
					1.000	0.173	4.56	3.56	0.000	-32	-47	-14
					1.000	0.178	4.17	3.34	0.000	-40	-59	-14
					1.000	0.178	3.88	3.18	0.001	-51	-67	-10
		0.275	27	0.003	0.981	0.172	5.23	3.88	0.000	48	-22	31
					1.000	0.178	3.73	3.09	0.001	55	-30	31
					1.000	0.189	3.43	2.90	0.002	36	-14	27
					1.000	0.211	3.04	2.64	0.004	36	-18	38
		0.063	39	0.001	0.999	0.173	4.81	3.69	0.000	-24	-80	30
					1.000	0.178	3.95	3.22	0.001	-20	-88	27
					1.000	0.215	2.93	2.57	0.005	-32	-92	19
		0.012	53	0.000	0.999	0.173	4.78	3.67	0.000	32	-59	62
					1.000	0.202	3.25	2.78	0.003	20	-63	62
					1.000	0.203	3.14	2.71	0.003	20	-48	58
					1.000	0.228	2.83	2.49	0.006	16	-47	65

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
 Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.051$ (0.995)
 Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.595$
 Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.23$
 Expected false discovery rate, ≤ 0.26

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
 Smoothness FWHM = 8.7 8.9 9.9 {mm} = 2.2 2.2 2.5 {voxels}
 Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1775.8 resels
 Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.89 voxels)
 Page 1

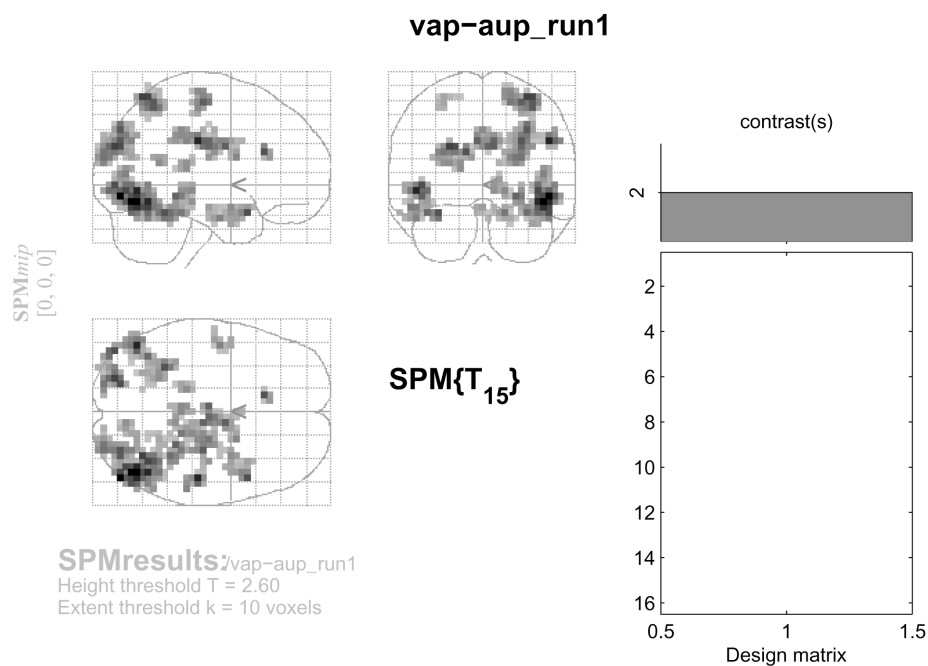

Statistics: Nebenmaxima

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm} Talairach
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	$p_{\text{uncorrected}}$	
		0.091	36	0.001	1.000	0.245	2.71	2.40	0.008	20 -55 69
					1.000	0.173	4.59	3.57	0.000	48 11 -17
					1.000	0.182	3.60	3.01	0.001	32 -1 -13
					1.000	0.198	3.29	2.81	0.002	36 -1 -23
					1.000	0.202	3.25	2.78	0.003	36 11 -14
					1.000	0.236	2.79	2.46	0.007	32 -8 -13
		0.995	10	0.051	1.000	0.173	4.54	3.55	0.000	-12 24 21
					1.000	0.192	3.41	2.89	0.002	-8 28 17
		0.000	91	0.000	1.000	0.173	4.45	3.50	0.000	28 -76 33
					1.000	0.173	4.42	3.48	0.000	32 -76 41
					1.000	0.178	4.04	3.27	0.001	28 -88 23
					1.000	0.202	3.18	2.74	0.003	28 -69 22
					1.000	0.211	3.01	2.62	0.004	12 -88 19
		0.031	45	0.000	1.000	0.173	4.38	3.46	0.000	8 -3 26
					1.000	0.176	4.31	3.42	0.000	8 -18 30
					1.000	0.176	4.30	3.42	0.000	-4 -14 30
					1.000	0.176	4.23	3.38	0.000	4 -14 27
					1.000	0.178	3.71	3.07	0.001	20 5 18
					1.000	0.213	2.95	2.58	0.005	0 9 29
		0.116	34	0.001	1.000	0.173	4.36	3.45	0.000	28 -17 56
					1.000	0.178	4.00	3.25	0.001	20 -13 56
		0.006	59	0.000	1.000	0.176	4.27	3.40	0.000	24 -39 -5
					1.000	0.178	4.13	3.32	0.000	32 -43 -15
					1.000	0.178	3.94	3.22	0.001	16 -36 -15
					1.000	0.178	3.68	3.06	0.001	16 -27 -2
					1.000	0.182	3.50	2.95	0.002	28 -28 -9

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.051$ (0.995)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.595$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.23$
Expected false discovery rate, ≤ 0.26

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.7 8.9 9.9 {mm} = 2.2 2.2 2.5 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1775.8 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.89 voxels)
Page 2


Statistics: Nebenmaxima

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm} Talairach
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	$(Z_{\equiv})$	$p_{\text{uncorrected}}$	
					1.000	0.202	3.23	2.77	0.003	8 -27 1
					1.000	0.230	2.81	2.48	0.007	16 -43 -11
		0.972	12	0.035	1.000	0.178	3.77	3.11	0.001	-48 -9 -20
					1.000	0.202	3.21	2.75	0.003	-48 -1 -17
		0.542	21	0.008	1.000	0.178	3.65	3.04	0.001	-4 -33 35
					1.000	0.182	3.56	2.98	0.001	8 -37 35
					1.000	0.211	3.02	2.63	0.004	-4 -41 32
		0.986	11	0.042	1.000	0.182	3.58	3.00	0.001	-16 -30 13
		0.986	11	0.042	1.000	0.182	3.58	2.99	0.001	-24 -50 17
		0.916	14	0.024	1.000	0.182	3.52	2.96	0.002	8 -74 0
					1.000	0.202	3.22	2.76	0.003	16 -70 -3
		0.986	11	0.042	1.000	0.182	3.51	2.95	0.002	24 -11 23
					1.000	0.206	3.09	2.68	0.004	24 -10 37
		0.773	17	0.015	1.000	0.194	3.32	2.83	0.002	0 -16 -13
					1.000	0.203	3.16	2.72	0.003	20 -13 -20
					1.000	0.218	2.90	2.55	0.005	4 -9 -20
					1.000	0.224	2.86	2.52	0.006	8 -12 -13
		0.827	16	0.017	1.000	0.202	3.23	2.77	0.003	-28 -59 58

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.051$ (0.995)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.595$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.23$
Expected false discovery rate, ≤ 0.26

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.7 8.9 9.9 {mm} = 2.2 2.2 2.5 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1775.8 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.89 voxels)
Page 3/3

Paritätsaufgabe: Auditive Zahlwörter - arabische Zahlen

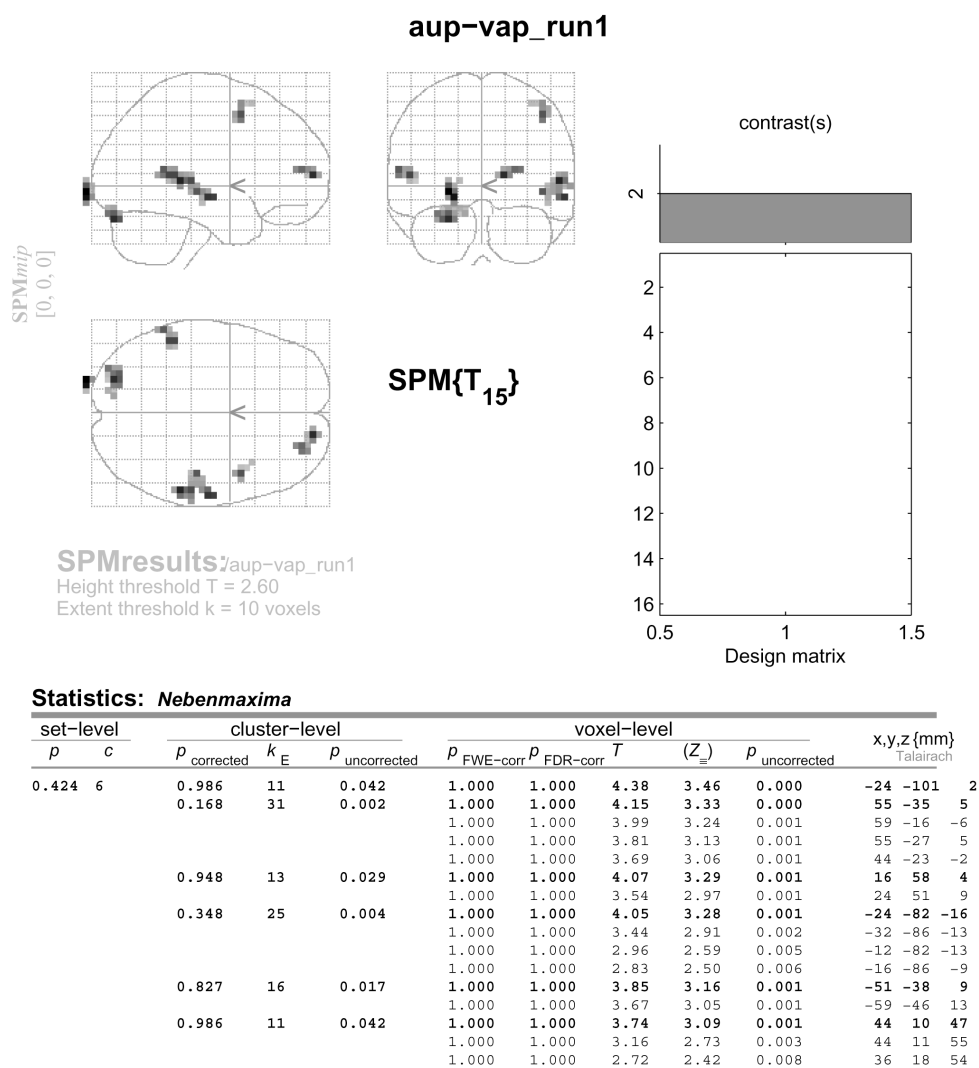
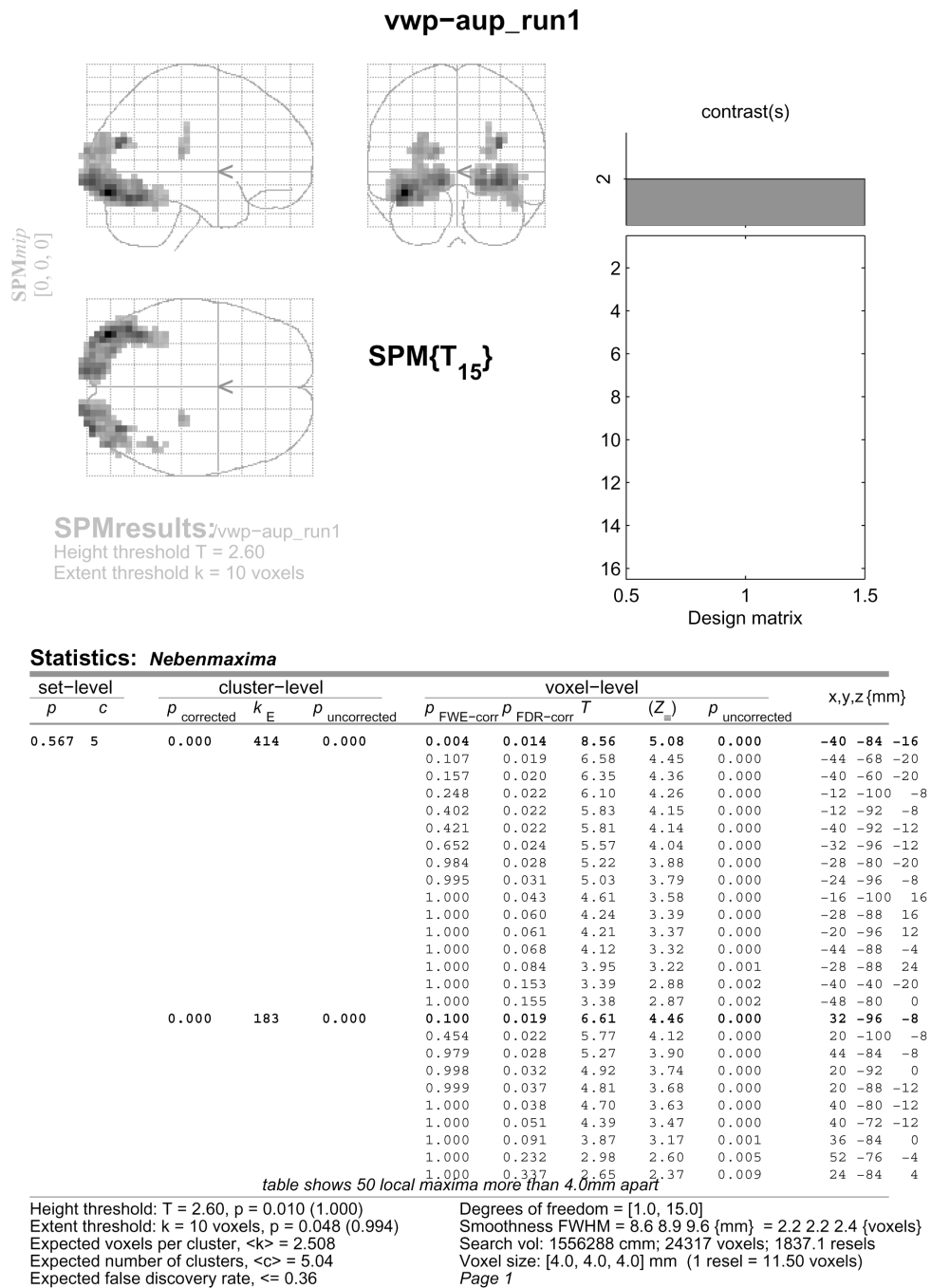


table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

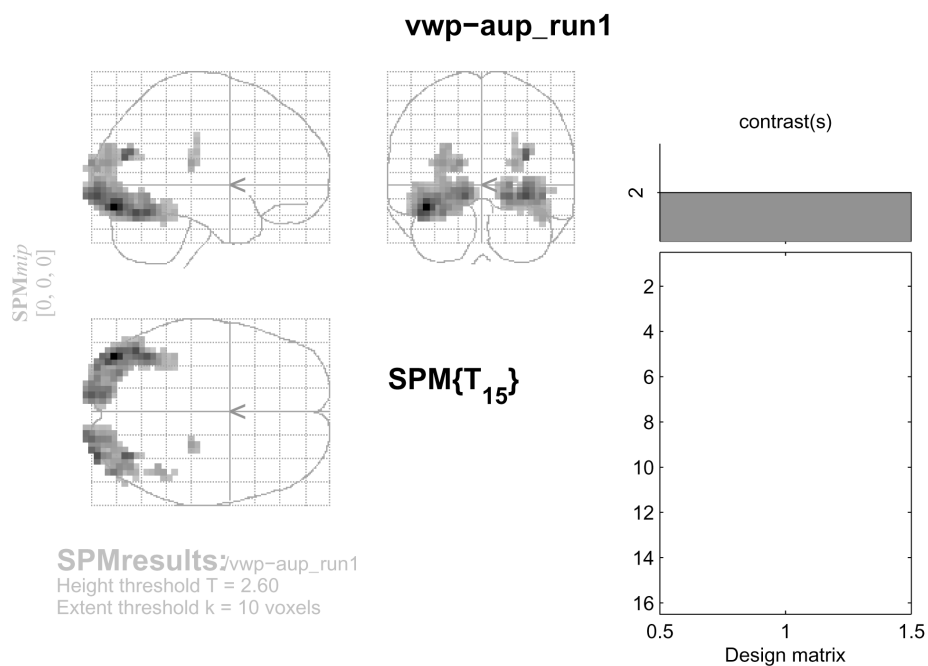
Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.051$ (0.995)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.595$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.23$
Expected false discovery rate, ≤ 1.00

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.7 8.9 9.9 {mm} = 2.2 2.2 2.5 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1775.8 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.89 voxels)

Paritätsaufgabe: Visuelle Zahlwörter - auditive Zahlwörter



SPM2 (hartmut): 15:39:58 - 11/03/2004



Statistics: *Nebenmaxima*

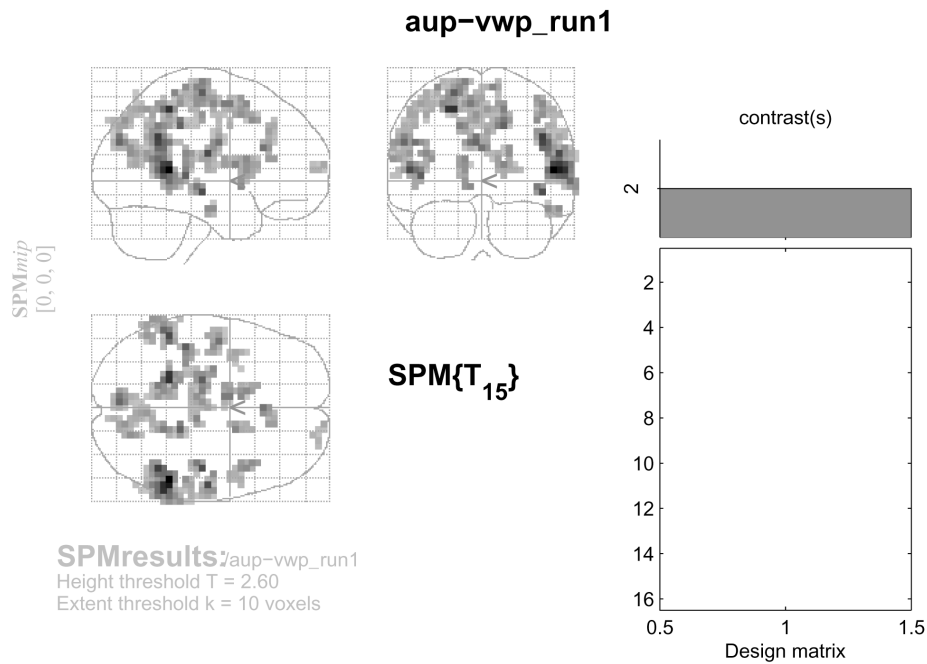
set-level		cluster-level			voxel-level				x,y,z {mm}
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	$(Z_{\equiv})$	
		0.750	17	0.013	0.248	0.022	6.10	4.26	32 -76 20
		0.904	14	0.022	1.000	0.079	4.00	3.25	24 -28 16
					1.000	0.178	3.24	2.78	24 -24 24
					1.000	0.186	3.20	2.75	24 -24 32
		0.904	14	0.022	1.000	0.086	3.92	3.20	44 -48 -24
					1.000	0.095	3.83	3.15	40 -52 -20

table shows 50 local maxima more than 4.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.048$ (0.994)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.508$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.04$
Expected false discovery rate, ≤ 0.36

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.9 9.6 {mm} = 2.2 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1837.1 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.50 voxels)
Page 2/2

Paritätsaufgabe: Auditive Zahlwörter - visuelle Zahlwörter

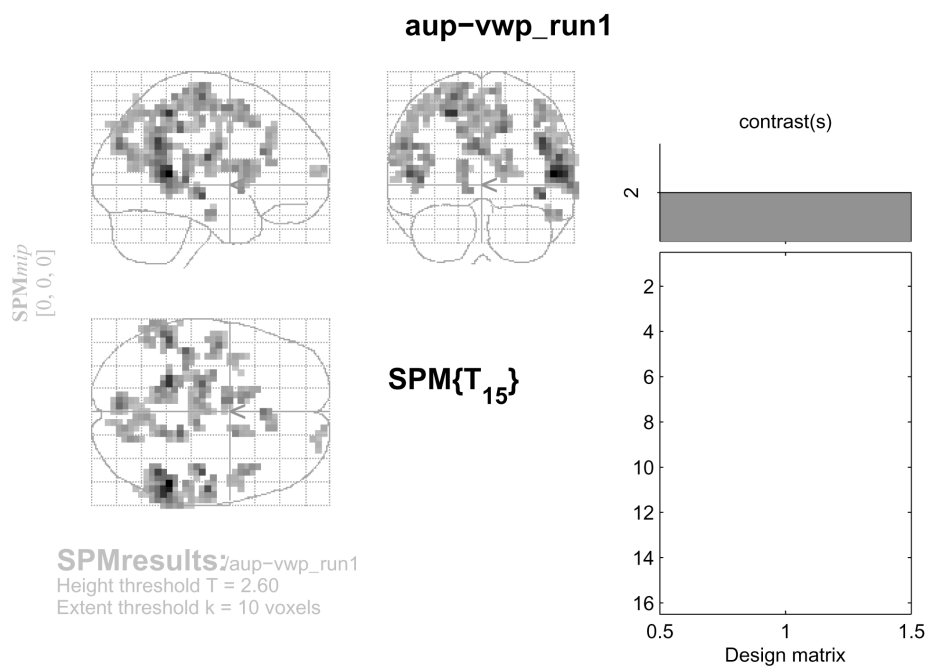
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	$p_{\text{uncorrected}}$	Talairach		
0.000	19	0.000	145	0.000	0.268	0.143	6.05	4.24	0.000	51	-42	9
					0.987	0.143	5.19	3.87	0.000	44	-49	32
					1.000	0.188	4.26	3.40	0.000	63	-43	2
					1.000	0.229	3.19	2.75	0.003	55	-57	32
					1.000	0.232	2.76	2.45	0.007	55	-65	22
		0.000	258	0.000	0.969	0.143	5.35	3.94	0.000	-20	-40	50
					1.000	0.185	4.58	3.57	0.000	-20	-16	60
					1.000	0.185	4.53	3.54	0.000	16	-33	38
					1.000	0.185	4.42	3.49	0.000	-4	-76	30
					1.000	0.218	4.04	3.27	0.001	16	-44	50
					1.000	0.229	3.98	3.24	0.001	-16	-49	39
					1.000	0.229	3.94	3.21	0.001	-12	-16	67
					1.000	0.229	3.84	3.16	0.001	-16	-36	61
					1.000	0.229	3.83	3.15	0.001	8	-20	64
					1.000	0.229	3.81	3.13	0.001	-28	-9	52
					1.000	0.229	3.72	3.08	0.001	-32	-28	64
					1.000	0.229	3.61	3.02	0.001	-8	-20	56
					1.000	0.229	3.60	3.01	0.001	12	-72	44
					1.000	0.229	3.58	3.00	0.001	-4	-17	45
					1.000	0.229	3.57	2.99	0.001	-20	-32	53
					1.000	0.229	3.49	2.94	0.002	4	-56	51
					1.000	0.229	3.49	2.94	0.002	-8	-48	54
					1.000	0.229	3.47	2.93	0.002	-4	-17	52
					1.000	0.229	3.31	2.82	0.002	0	-13	56
					1.000	0.229	3.07	2.66	0.004	20	-72	44
					1.000	0.229	3.05	2.65	0.004	-8	-68	48

table shows 100 local maxima more than 5.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
 Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.048$ (0.994)
 Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.508$
 Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.04$
 Expected false discovery rate, ≤ 0.24

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
 Smoothness FWHM = 8.6 8.9 9.6 {mm} = 2.2 2.2 2.4 {voxels}
 Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1837.1 resels
 Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.50 voxels)
 Page 1

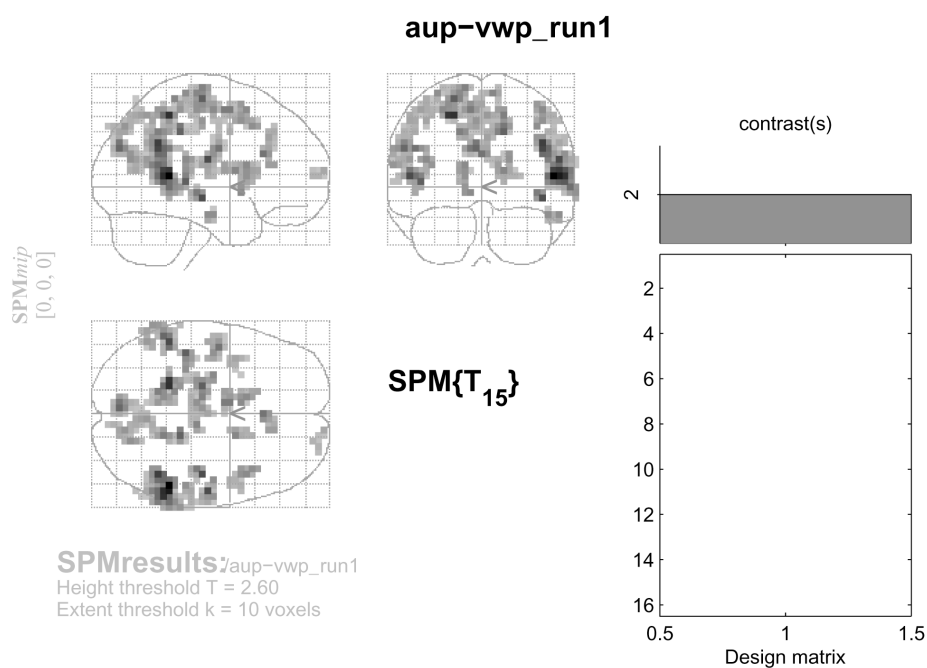
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm} Talairach
p	c	p _{corrected}	k _E	p _{uncorrected}	p _{FWE-corr}	p _{FDR-corr}	T	(Z _≡)	p _{uncorrected}	
					1.000	0.229	3.00	2.62	0.004	-12 -72 44
					1.000	0.229	2.97	2.59	0.005	8 -79 45
					1.000	0.229	2.89	2.54	0.006	-28 -20 67
					1.000	0.233	2.73	2.42	0.008	-4 -63 55
					1.000	0.240	2.66	2.37	0.009	12 -63 62
		0.133	32	0.001	0.997	0.155	4.98	3.77	0.000	55 -15 19
					1.000	0.229	3.67	3.05	0.001	59 -11 23
					1.000	0.229	3.63	3.03	0.001	51 -30 13
					1.000	0.229	3.09	2.67	0.004	63 -26 16
					1.000	0.240	2.67	2.38	0.009	67 -30 20
		0.410	23	0.005	0.998	0.155	4.94	3.75	0.000	-51 -42 9
					1.000	0.229	3.25	2.78	0.003	-48 -43 -1
		0.984	11	0.039	0.999	0.176	4.86	3.71	0.000	44 -20 -6
					1.000	0.206	4.09	3.30	0.000	40 -23 -2
		0.571	20	0.008	1.000	0.185	4.58	3.57	0.000	-44 -31 5
					1.000	0.229	3.82	3.14	0.001	-40 -30 20
		0.043	41	0.000	1.000	0.185	4.46	3.50	0.000	-55 -45 28
					1.000	0.229	3.54	2.97	0.001	-63 -54 17
					1.000	0.229	3.48	2.93	0.002	-51 -57 21
					1.000	0.229	2.96	2.58	0.005	-59 -57 29
		0.222	28	0.002	1.000	0.188	4.25	3.39	0.000	-48 -6 26
					1.000	0.229	3.20	2.75	0.003	-51 -15 12
					1.000	0.229	2.97	2.59	0.005	-55 -11 15
					1.000	0.231	2.82	2.49	0.006	-48 -3 11

table shows 100 local maxima more than 5.0mm apart

Height threshold: T = 2.60, p = 0.010 (1.000)
Extent threshold: k = 10 voxels, p = 0.048 (0.994)
Expected voxels per cluster, <k> = 2.508
Expected number of clusters, <c> = 5.04
Expected false discovery rate, <= 0.24

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.9 9.6 {mm} = 2.2 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1837.1 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.50 voxels)
Page 2

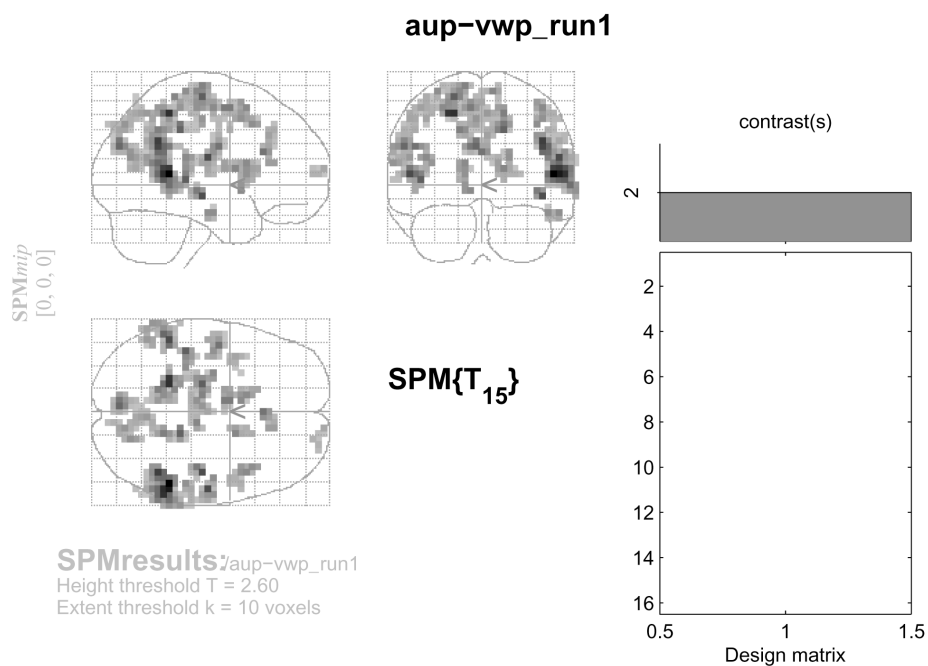
**Statistics: Nebenmaxima**

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{eq})	$p_{\text{uncorrected}}$	Talairach		
		0.285	26	0.003	1.000	0.188	4.25	3.39	0.000	0	24	21
					1.000	0.229	3.44	2.91	0.002	12	28	13
					1.000	0.229	3.35	2.85	0.002	4	29	32
					1.000	0.229	3.15	2.71	0.003	8	33	35
		0.994	10	0.048	1.000	0.203	4.11	3.31	0.000	-8	-1	52
		0.904	14	0.022	1.000	0.229	3.88	3.18	0.001	16	4	11
					1.000	0.229	3.08	2.67	0.004	12	12	10
					1.000	0.229	3.08	2.67	0.004	16	16	7
		0.133	32	0.001	1.000	0.229	3.82	3.14	0.001	-12	12	14
					1.000	0.229	3.81	3.14	0.001	-8	8	-4
					1.000	0.229	3.68	3.06	0.001	-12	12	7
					1.000	0.229	3.40	2.88	0.002	-16	-3	11
		0.103	34	0.001	1.000	0.229	3.78	3.12	0.001	44	14	51
					1.000	0.229	3.75	3.10	0.001	40	18	40
					1.000	0.229	3.67	3.05	0.001	44	10	44
					1.000	0.229	3.49	2.94	0.002	40	11	55
					1.000	0.229	3.06	2.65	0.004	48	2	37
		0.994	10	0.048	1.000	0.229	3.70	3.07	0.001	55	-16	-16
					1.000	0.229	3.69	3.06	0.001	48	-12	-16
		0.940	13	0.027	1.000	0.229	3.62	3.02	0.001	20	-69	22
					1.000	0.229	3.24	2.78	0.003	20	-65	14
		0.630	19	0.009	1.000	0.229	3.39	2.88	0.002	-44	-9	52
					1.000	0.229	3.13	2.70	0.003	-51	-9	48
					1.000	0.229	2.90	2.55	0.005	-48	-6	41

table shows 100 local maxima more than 5.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.048$ (0.994)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.508$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.04$
Expected false discovery rate, ≤ 0.24

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.9 9.6 {mm} = 2.2 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1837.1 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.50 voxels)
Page 3



Statistics: *Nebenmaxima*

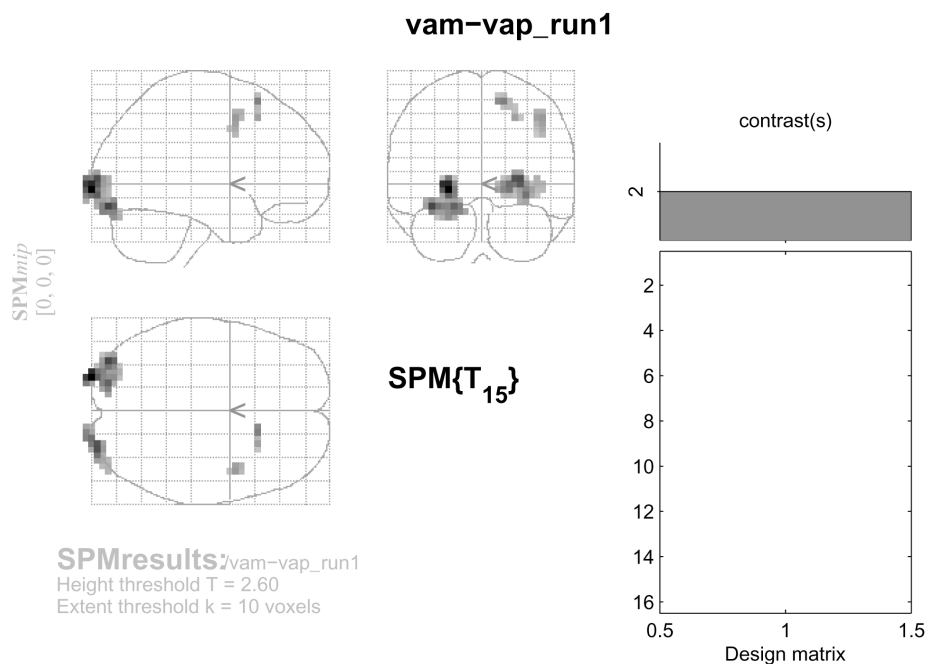
set-level		cluster-level			voxel-level				x,y,z {mm}		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	$(Z_{\equiv})$	$p_{\text{uncorrected}}$	Talairach	
		0.967	12	0.032	1.000	0.229	3.27	2.80	0.003	-51	-52 47
					1.000	0.229	3.14	2.71	0.003	-48	-52 39
					1.000	0.229	3.08	2.67	0.004	-55	-56 40
		0.984	11	0.039	1.000	0.229	3.26	2.79	0.003	-40	6 44
					1.000	0.241	2.62	2.34	0.010	-28	11 55
		0.994	10	0.048	1.000	0.229	3.24	2.77	0.003	12	66 8
					1.000	0.229	3.02	2.63	0.004	20	58 4

table shows 100 local maxima more than 5.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.048$ (0.994)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.508$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.04$
Expected false discovery rate, ≤ 0.24

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.9 9.6 {mm} = 2.2 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1837.1 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.50 voxels)
Page 4/4

Arabische Zahlen: Größenvergleich - Paritätsaufgabe



Statistics: p -values adjusted for search volume

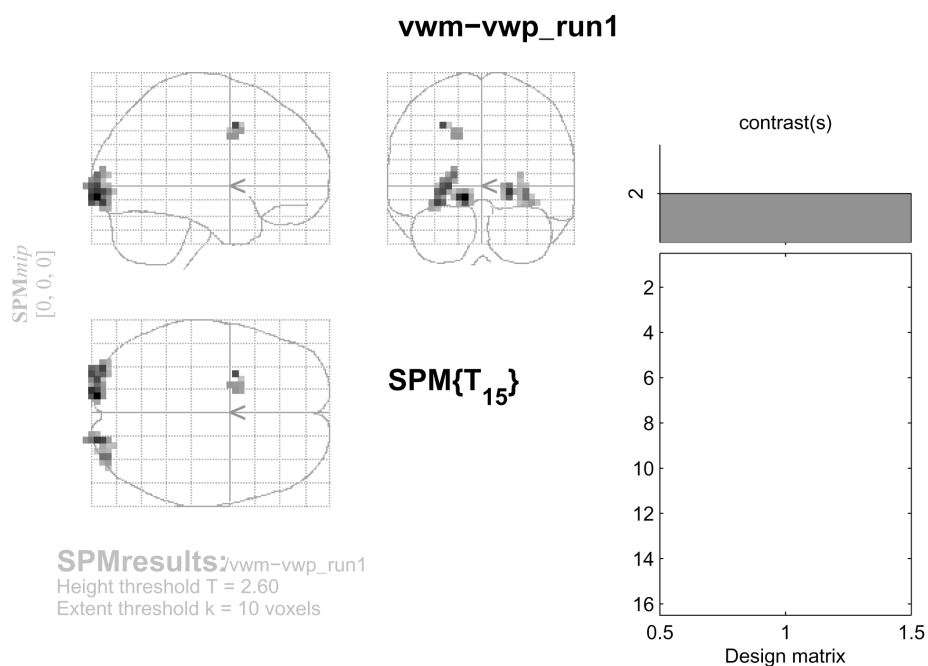
set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z [mm]		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{corrected}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorrected}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>p</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _{max})	<i>p</i> _{uncorrected}	Talairach		
0.771	4	0.000	87	0.000	0.035	0.035	7.24	4.68	0.000	-24	-97	1
					0.360	0.072	5.89	4.18	0.000	-36	-86	-9
					0.985	0.107	5.18	3.86	0.000	-20	-86	-9
		0.004	64	0.000	0.611	0.091	5.60	4.05	0.000	28	-93	8
					0.999	0.158	4.85	3.71	0.000	20	-97	5
					0.999	0.158	4.78	3.67	0.000	32	-93	-2
		0.987	11	0.043	1.000	0.207	4.50	3.52	0.000	16	22	54
					1.000	0.418	3.63	3.03	0.001	24	22	43
					1.000	0.364	3.82	3.14	0.001	44	6	44
		0.919	14	0.025								

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.052$ (0.995)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.615$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.27$
Expected false discovery rate, ≤ 1.00

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.9 10.0 {mm} = 2.2 2.2 2.5 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1761.8 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.99 voxels)

Visuelle Zahlwörter: Größenvergleich - Paritätsaufgabe



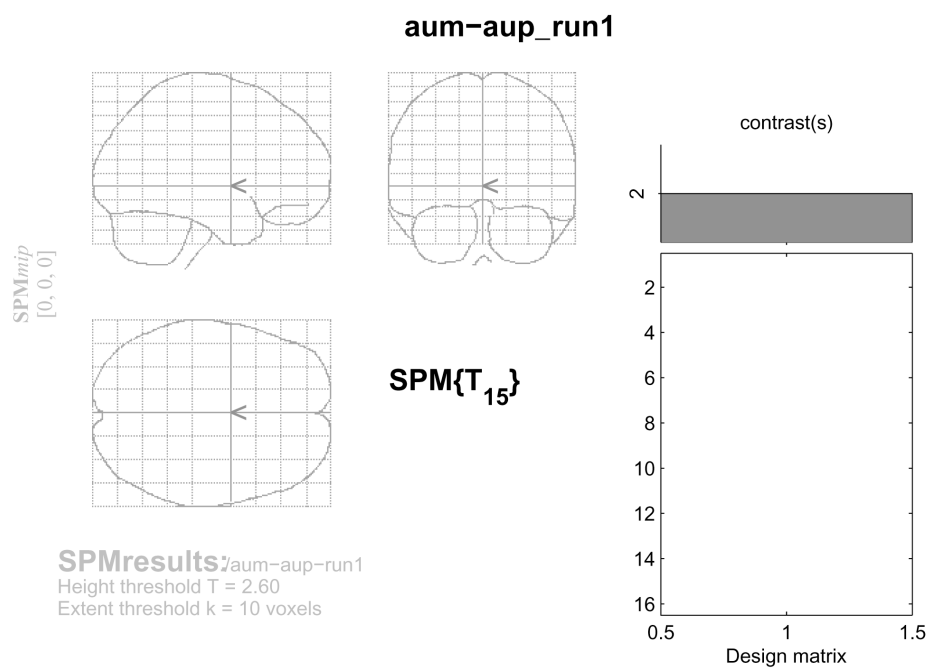
Statistics: *p-values adjusted for search volume*

set-level		cluster-level			voxel-level						x,y,z {mm}		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{u})	$p_{\text{uncorrected}}$		Talairach		
0.836	3	0.003	59	0.000	0.575	0.392	5.64	4.07	0.000		-12	-93	-2
					1.000	0.392	4.77	3.66	0.000		-32	-90	-6
					1.000	0.392	4.75	3.65	0.000		-24	-93	5
		0.039	39	0.000	0.998	0.392	4.99	3.77	0.000		20	-93	1
					1.000	0.614	4.08	3.30	0.000		32	-89	-2
					1.000	1.000	3.02	2.63	0.004		28	-89	12
		0.990	10	0.040	1.000	0.392	4.68	3.62	0.000		-28	6	40
					1.000	0.944	3.49	2.94	0.002		-20	2	33

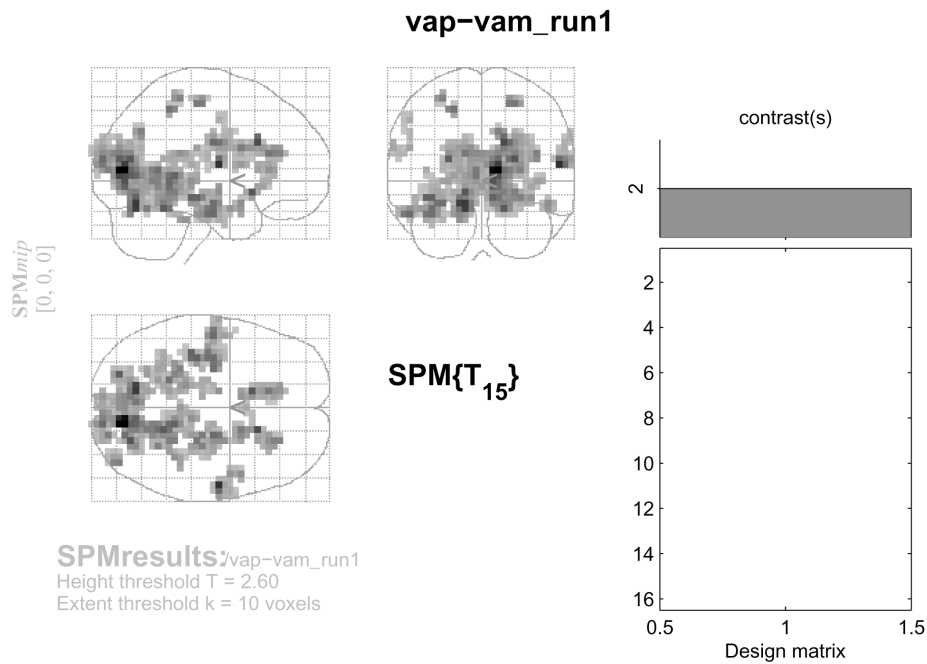
table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.040$ (0.990)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.310$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.59$
Expected false discovery rate, ≤ 1.00

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.4 8.6 9.3 {mm} = 2.1 2.2 2.3 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1994.4 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 10.59 voxels)

Auditive Zahlwörter: Größenvergleich - Paritätsaufgabe

Arabische Zahlen: Paritätsaufgabe - Größenvergleich



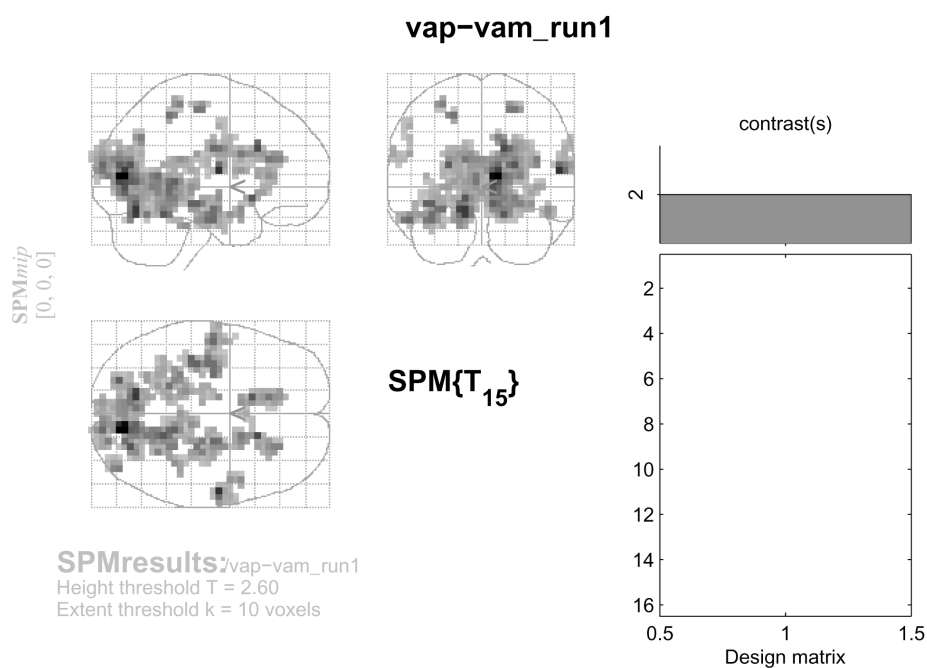
Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level			voxel-level				x,y,z {mm}		
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{p})	$p_{\text{uncorrected}}$	Talairach	
0.000	15	0.000	745	0.000	0.023	0.013	7.49	4.76	0.000	12	-73 11
					0.182	0.026	6.27	4.33	0.000	-12	-67 -10
					0.621	0.039	5.60	4.05	0.000	24	-69 18
		0.195	30	0.002	0.123	0.026	6.49	4.41	0.000	55	-7 11
					1.000	0.112	3.36	2.86	0.002	59	1 22
					1.000	0.122	3.22	2.77	0.003	63	-2 30
		0.000	91	0.000	0.374	0.034	5.87	4.17	0.000	16	21 25
					0.991	0.047	5.09	3.82	0.000	20	-10 26
					1.000	0.056	4.72	3.64	0.000	16	9 22
		0.495	22	0.007	0.575	0.038	5.64	4.07	0.000	-12	15 -7
					1.000	0.082	3.94	3.22	0.001	-8	7 -17
					1.000	0.091	3.69	3.06	0.001	-12	23 -5
		0.000	101	0.000	0.966	0.044	5.34	3.94	0.000	-40	-28 -9
					0.989	0.047	5.12	3.84	0.000	-51	-13 -20
					0.995	0.047	5.02	3.79	0.000	-28	-12 -13
		0.919	14	0.025	0.997	0.047	4.93	3.74	0.000	-20	-40 50
					1.000	0.063	4.44	3.49	0.000	-28	-32 57
		0.973	12	0.035	0.999	0.053	4.77	3.67	0.000	24	-21 53
		0.152	32	0.002	0.999	0.056	4.75	3.66	0.000	-12	28 17
		0.605	20	0.009	1.000	0.059	4.58	3.57	0.000	40	-77 22
		0.315	26	0.004	1.000	0.061	4.49	3.52	0.000	28	-20 -9
					1.000	0.106	3.50	2.95	0.002	12	-12 -13
		0.082	37	0.001	1.000	0.063	4.46	3.51	0.000	24	36 17
					1.000	0.077	4.05	3.28	0.001	24	27 6

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.052$ (0.995)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.615$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.27$
Expected false discovery rate, ≤ 0.18

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.9 10.0 {mm} = 2.2 2.2 2.5 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1761.8 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.99 voxels)
Page 1



Statistics: p -values adjusted for search volume

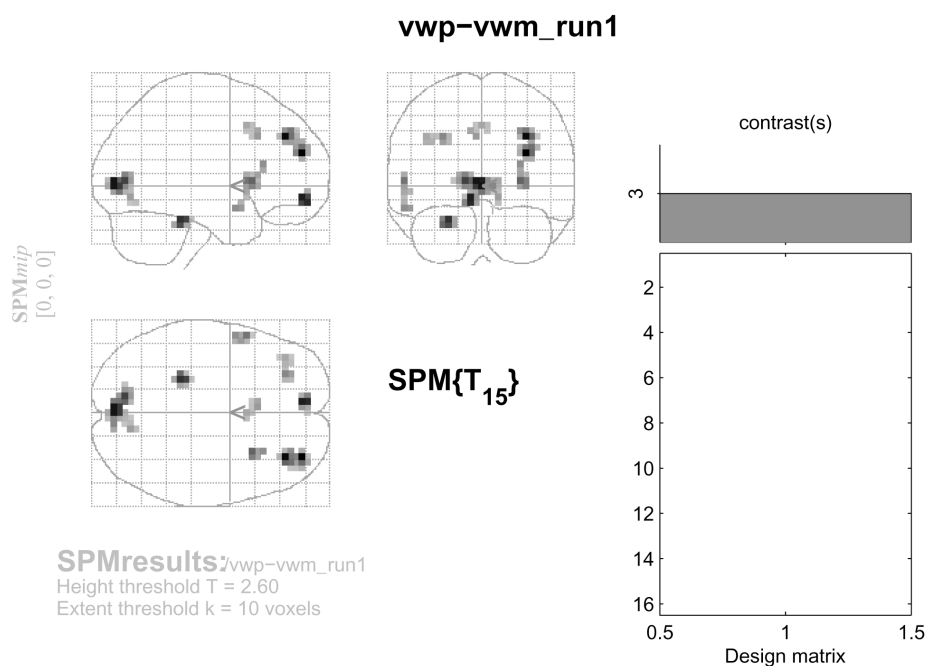
set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm} Talairach
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	$(Z_{\equiv})$	$p_{\text{uncorrected}}$	
		0.919	14	0.025	1.000	0.075	4.17	3.34	0.000	48 7 -14
					1.000	0.081	3.97	3.23	0.001	48 -1 -17
		0.248	28	0.003	1.000	0.077	4.13	3.32	0.000	-24 -34 20
					1.000	0.106	3.51	2.95	0.002	-16 -27 12
					1.000	0.107	3.44	2.91	0.002	-16 -46 17
		0.778	17	0.015	1.000	0.077	4.04	3.27	0.001	-12 -8 -6
					1.000	0.106	3.51	2.95	0.002	-20 -20 -6
					1.000	0.106	3.49	2.94	0.002	-8 -20 -16
		0.354	25	0.004	1.000	0.091	3.68	3.06	0.001	-51 -3 22
					1.000	0.104	3.54	2.97	0.001	-63 -7 22
					1.000	0.114	3.33	2.84	0.002	-51 -6 41

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.052$ (0.995)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.615$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.27$
Expected false discovery rate, ≤ 0.18

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.9 10.0 {mm} = 2.2 2.2 2.5 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1761.8 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.99 voxels)
Page 2/2

Visuelle Zahlwörter: Paritätsaufgabe - Größenvergleich



Statistics: p -values adjusted for search volume

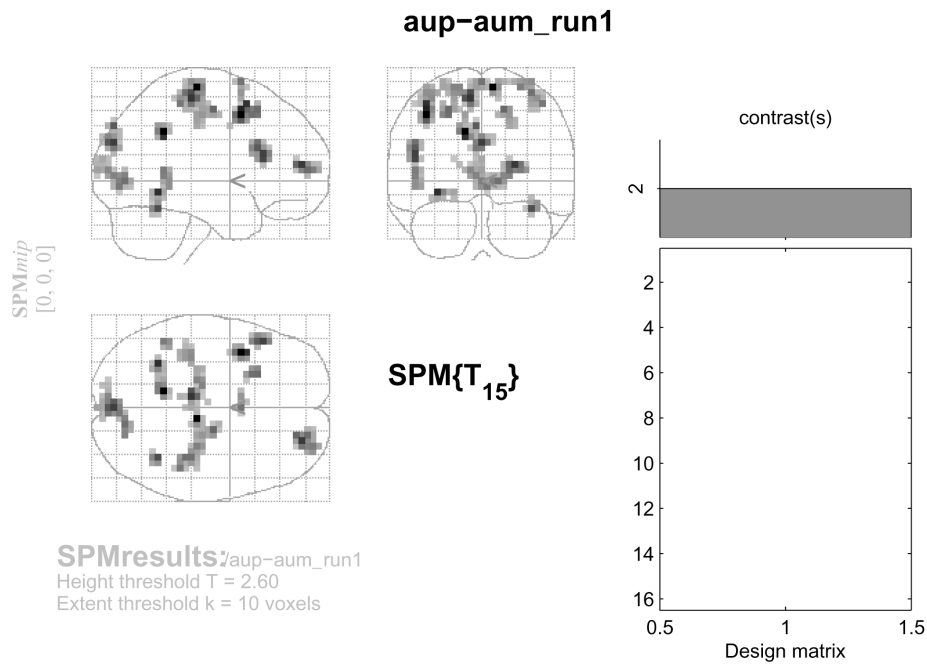
set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z [mm] Talairach		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{corrected}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorrected}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>p</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _{max})	<i>p</i> _{uncorrected}			
0.094	8	0.059	36	0.001	0.714	0.227	5.52	4.02	0.000	32	51	20
					0.906	0.227	5.39	3.96	0.000	32	40	31
		0.006	54	0.000	0.983	0.227	5.29	3.92	0.000	0	-81	4
					1.000	0.281	4.72	3.64	0.000	-12	-73	7
					1.000	0.648	3.32	2.83	0.002	12	-70	-3
		0.871	14	0.018	0.990	0.227	5.21	3.87	0.000	-8	50	-9
			13	0.022	0.999	0.268	4.94	3.75	0.000	-24	-36	-18
			12	0.027	1.000	0.466	4.21	3.37	0.000	28	16	3
		0.952	12	0.027	1.000	0.647	3.55	2.98	0.001	28	24	14
					1.000	0.537	3.98	3.24	0.001	-55	12	3
					1.000	0.647	3.56	2.98	0.001	-55	3	-14
		0.816	15	0.015	1.000	0.632	3.64	3.03	0.001	-28	40	31
					1.000	0.648	3.09	2.68	0.004	-40	40	31
		0.990	10	0.040	1.000	0.648	3.38	2.87	0.002	-4	21	32
					1.000	0.648	3.12	2.70	0.003	0	14	40

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.040$ (0.990)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.310$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.59$
Expected false discovery rate, ≤ 0.66

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.4 8.6 9.3 {mm} = 2.1 2.2 2.3 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1994.4 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 10.59 voxels)

Auditive Zahlwörter: Paritätsaufgabe - Größenvergleich



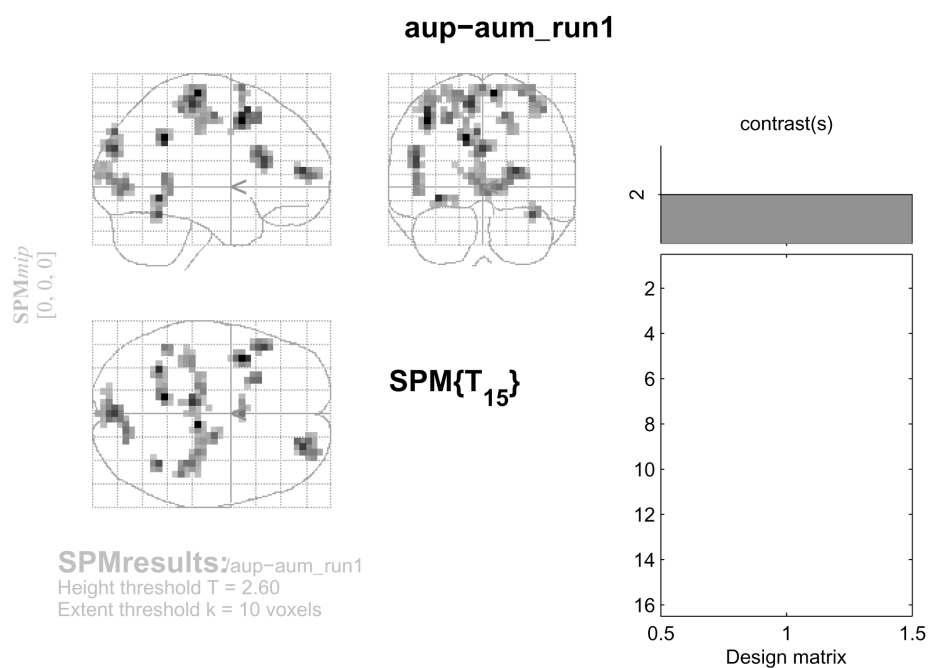
Statistics: *p-values adjusted for search volume*

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm} Talairach
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{corrected}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorrected}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>p</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _u)	<i>p</i> _{uncorrected}	
0.000	15	0.000	89	0.000	0.981	0.364	5.24	3.89	0.000	8 -20 64
					1.000	0.364	4.64	3.60	0.000	-8 -24 56
					1.000	0.364	3.89	3.18	0.001	36 -24 60
		0.909	14	0.023	0.988	0.364	5.16	3.85	0.000	-12 -45 35
		0.470	22	0.006	0.990	0.364	5.14	3.84	0.000	-40 10 44
		0.865	15	0.019	0.999	0.364	4.79	3.67	0.000	-32 -51 -4
					1.000	0.364	3.11	2.69	0.004	-20 -47 -4
		0.139	32	0.001	1.000	0.364	4.63	3.59	0.000	24 51 9
					1.000	0.364	3.73	3.09	0.001	28 58 4
		0.179	30	0.002	1.000	0.364	4.54	3.54	0.000	0 -80 30
					1.000	0.364	4.18	3.35	0.000	-4 -80 41
		0.203	29	0.002	1.000	0.364	4.52	3.53	0.000	-48 24 17
		0.985	11	0.040	1.000	0.364	4.34	3.44	0.000	36 -51 -14
		0.865	15	0.019	1.000	0.364	4.02	3.26	0.001	16 -9 48
					1.000	0.364	3.33	2.83	0.002	20 -17 45
		0.985	11	0.040	1.000	0.364	3.93	3.21	0.001	-24 22 47
		0.012	52	0.000	1.000	0.364	3.88	3.18	0.001	12 -74 4
					1.000	0.364	3.78	3.12	0.001	4 -78 1
					1.000	0.364	3.62	3.02	0.001	-4 -81 8
		0.994	10	0.049	1.000	0.364	3.84	3.16	0.001	0 11 66
					1.000	0.364	3.36	2.86	0.002	-8 11 58
		0.943	13	0.028	1.000	0.364	3.76	3.11	0.001	-48 -46 10
		0.524	21	0.007	1.000	0.364	3.64	3.04	0.001	-16 -16 63
					1.000	0.364	3.23	2.77	0.003	-12 -21 45
					1.000	0.364	3.18	2.74	0.003	-20 -17 49

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.049$ (0.994)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.540$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.11$
Expected false discovery rate, ≤ 0.37

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.9 9.7 {mm} = 2.2 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1814.3 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.64 voxels)
Page 1



Statistics: *p*-values adjusted for search volume

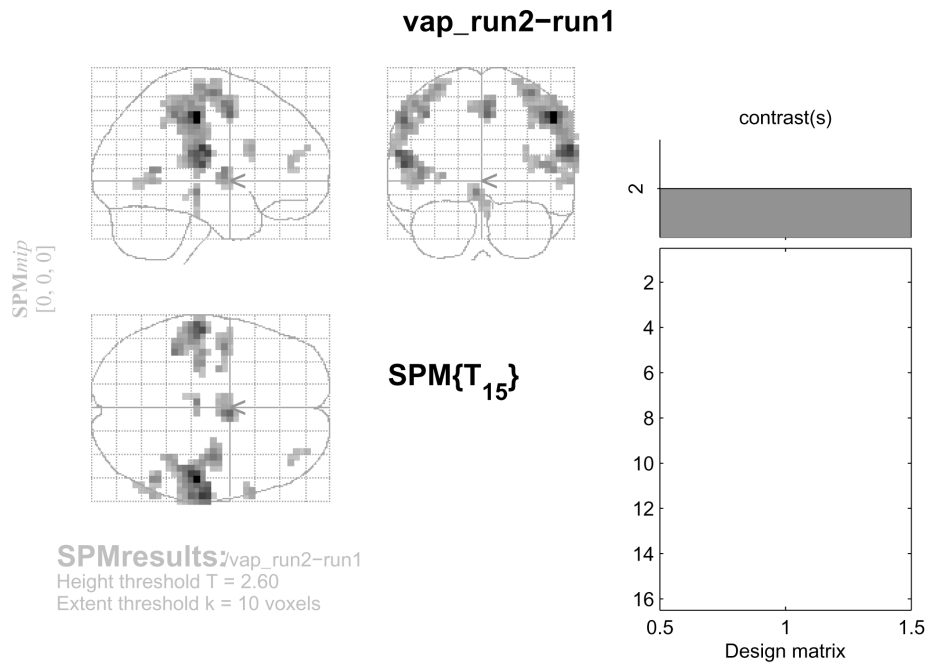
set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{corrected}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorrected}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>p</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _≡)	<i>p</i> _{uncorrected}	Talairach		
		0.374	24	0.004	1.000	0.364	3.49	2.94	0.002	-36	-24	56

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 2.60, *p* = 0.010 (1.000)
 Extent threshold: k = 10 voxels, *p* = 0.049 (0.994)
 Expected voxels per cluster, <*k*> = 2.540
 Expected number of clusters, <*c*> = 5.11
 Expected false discovery rate, <= 0.37

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
 Smoothness FWHM = 8.6 8.9 9.7 {mm} = 2.2 2.2 2.4 {voxels}
 Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1814.3 resels
 Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.64 voxels)
 Page 2/2

Arabische Zahlen, Paritätsaufgabe: Zweiter Durchgang - erster Durchgang



Statistics: p -values adjusted for search volume

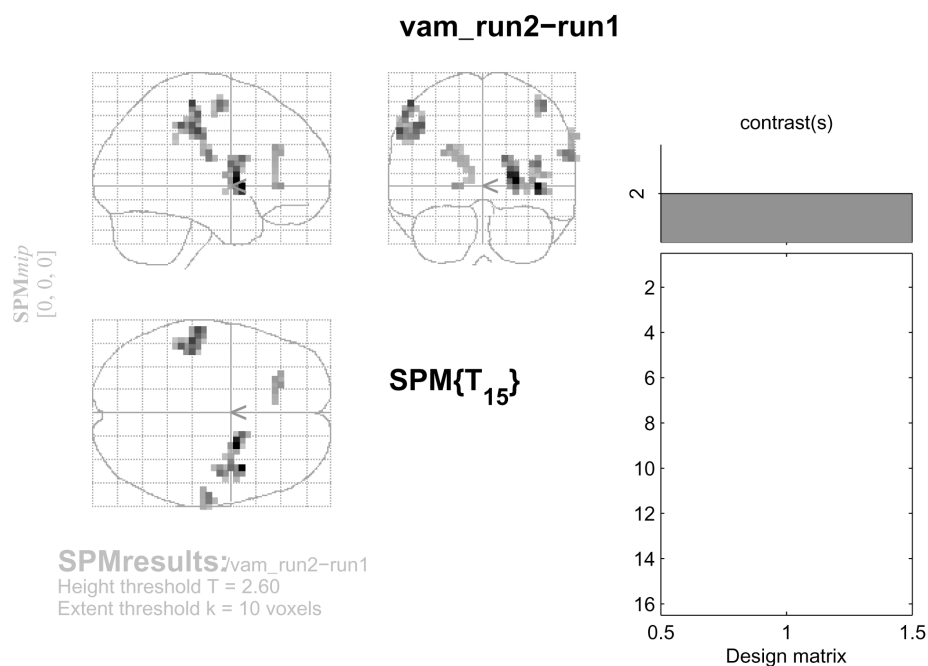
set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm} Talairach
p	c	$p_{\text{corrected}}$	k_E	$p_{\text{uncorrected}}$	$p_{\text{FWE-corr}}$	$p_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	$p_{\text{uncorrected}}$	
0.089	9	0.000	254	0.000	0.026	0.016	7.42	4.74	0.000	51 -21 45
					0.176	0.048	6.29	4.34	0.000	63 -18 23
					0.982	0.072	5.21	3.88	0.000	63 -26 20
		0.000	166	0.000	0.411	0.059	5.82	4.15	0.000	-55 -19 12
					0.692	0.072	5.54	4.03	0.000	-59 -22 20
					0.943	0.072	5.37	3.95	0.000	-55 -21 42
		0.094	36	0.001	0.990	0.072	5.11	3.83	0.000	4 2 44
					1.000	0.233	3.33	2.84	0.002	-8 -1 48
					0.999	0.089	4.80	3.68	0.000	36 -9 59
		0.074	38	0.001	1.000	0.225	3.39	2.87	0.002	28 -8 67
					0.920	0.112	4.47	3.51	0.000	-4 -24 -6
					1.000	0.225	3.37	2.86	0.002	4 -24 -12
		0.222	29	0.002	1.000	0.112	4.47	3.51	0.000	-44 -4 8
					1.000	0.190	3.67	3.05	0.001	-28 -8 4
		0.724	18	0.013	1.000	0.134	4.31	3.42	0.000	51 -54 10
					1.000	0.211	3.54	2.97	0.001	63 -54 3
					1.000	0.310	2.82	2.49	0.006	55 -66 3
		0.987	11	0.043	1.000	0.190	3.67	3.05	0.001	59 17 21
					1.000	0.238	3.26	2.79	0.003	40 43 9
					1.000	0.266	3.05	2.65	0.004	32 55 19
					1.000	0.294	2.92	2.56	0.005	32 47 12

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.052$ (0.995)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.626$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.29$
Expected false discovery rate, ≤ 0.36

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.7 9.1 9.8 {mm} = 2.2 2.3 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1754.8 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 12.04 voxels)

Arabische Zahlen, Größenvergleich: Zweiter Durchgang - erster Durchgang



Statistics: p -values adjusted for search volume

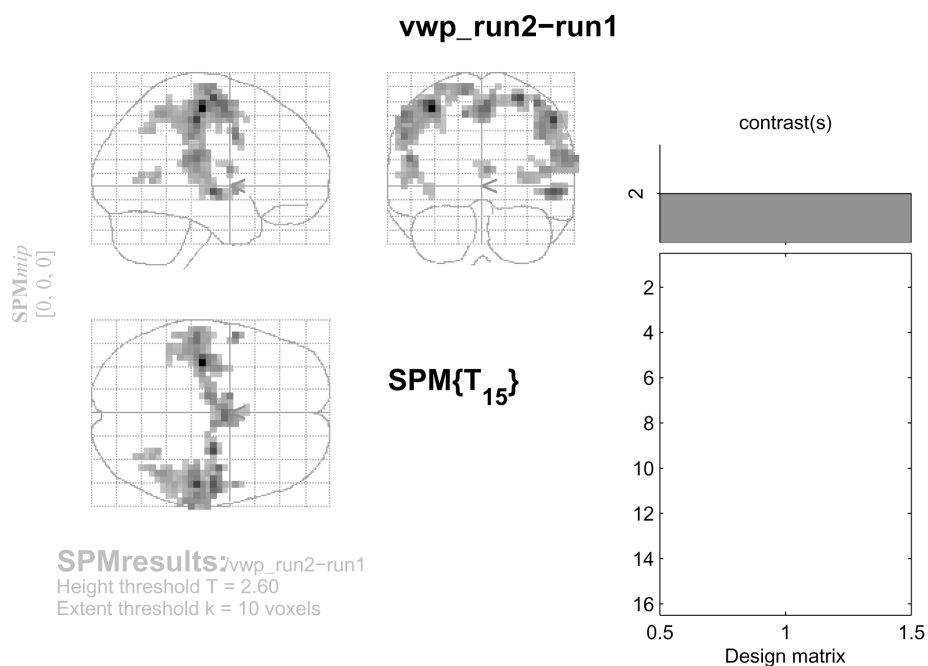
set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm}		
p	c	$p_{corrected}$	k_E	$p_{uncorrected}$	$p_{FWE-corr}$	$p_{FDR-corr}$	T	(Z_{α})	$p_{uncorrected}$	Talairach		
0.571	5	0.027	45	0.000	0.990	0.699	5.14	3.85	0.000	40	8	-0
					0.993	0.699	5.08	3.81	0.000	24	4	3
					1.000	0.815	3.94	3.21	0.001	16	9	18
		0.019	48	0.000	1.000	0.774	4.47	3.51	0.000	-51	-24	56
					1.000	0.802	4.39	3.47	0.000	-59	-21	38
					1.000	0.802	4.15	3.34	0.000	-44	-25	42
		0.984	11	0.040	1.000	0.815	3.86	3.17	0.001	44	-5	56
					1.000	0.821	3.74	3.10	0.001	59	-14	23
					1.000	0.839	3.02	2.63	0.004	67	-18	34
		0.862	15	0.019	1.000	0.832	3.39	2.88	0.002	-20	35	-2
					1.000	0.839	3.28	2.80	0.003	-24	32	24
					1.000	0.839	3.08	2.67	0.004	-16	32	17
		0.575	20	0.008								

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.048$ (0.994)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.520$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.07$
Expected false discovery rate, ≤ 0.92

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.8 9.7 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1828.2 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.55 voxels)

Visuelle Zahlwörter, Paritätsaufgabe: Zweiter Durchgang - erster Durchgang



Statistics: p -values adjusted for search volume

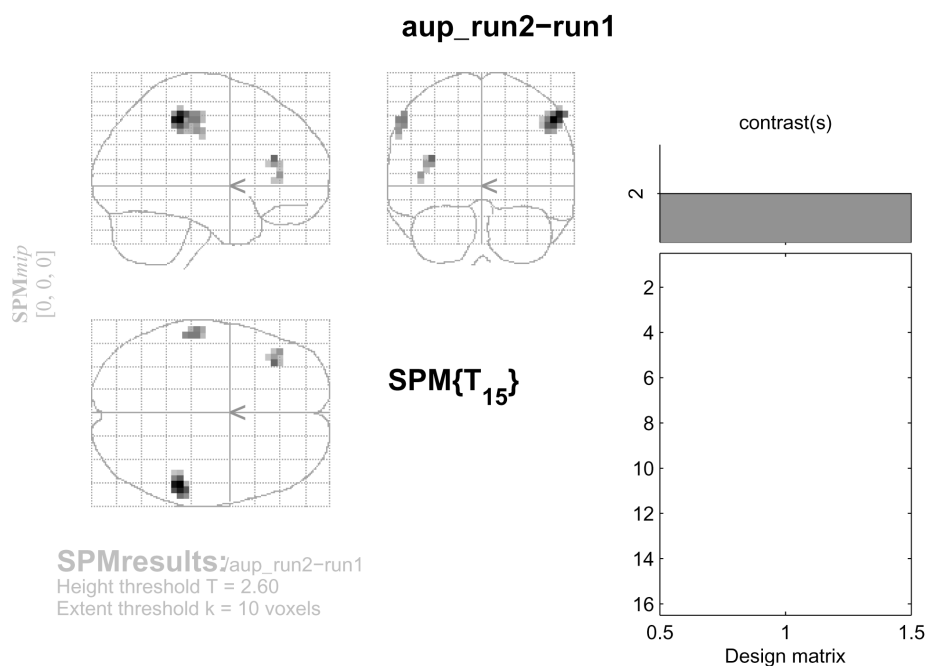
set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z [mm]				
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{corrected}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorrected}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>p</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _α)	<i>p</i> _{uncorrected}	Talairach				
0.370	6	0.000	380	0.000	0.012	0.012	7.91	4.89	0.000	-36	-17	52		
					0.217	0.054	6.17	4.29	0.000	28	-9	59		
					0.964	0.078	5.36	3.95	0.000	4	-1	52		
		0.000	216	0.000	0.127	0.042	6.48	4.41	0.000	51	-21	45		
					0.999	0.104	4.80	3.68	0.000	59	-22	23		
					1.000	0.104	4.65	3.60	0.000	67	-26	20		
		0.161	30	0.002	0.382	0.072	5.86	4.16	0.000	51	-12	-3		
					1.000	0.144	3.96	3.23	0.001	51	4	-4		
					0.996	0.093	5.03	3.79	0.000	-55	6	33		
		0.982	11	0.037	1.000	0.113	4.33	3.43	0.000	4	1	11		
					0.993	0.046	1.000	0.174	3.56	2.99	0.001	28	-50	10
					0.963	0.031	1.000	0.187	3.35	2.85	0.002	32	-62	10

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.046$ (0.993)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.452$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.92$
Expected false discovery rate, ≤ 0.30

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.5 8.7 9.7 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1879.1 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.24 voxels)

Auditive Zahlwörter, Paritätsaufgabe: Zweiter Durchgang - erster Durchgang



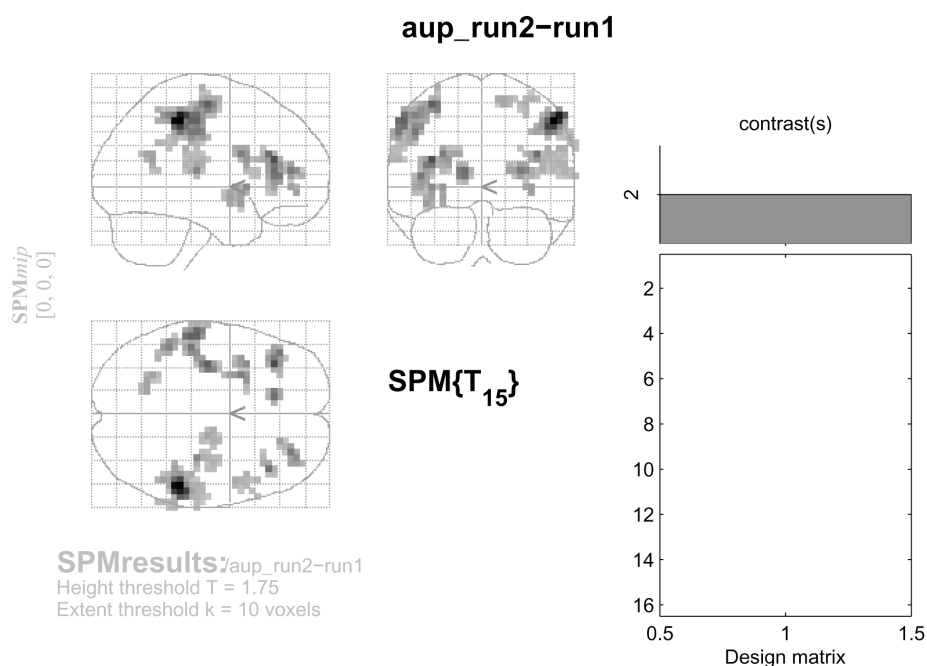
Statistics: *p-values adjusted for search volume*

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z [mm]		
p	c	$p_{corrected}$	k_E	$p_{uncorrected}$	$p_{FWE-corr}$	$p_{FDR-corr}$	T	(Z_{α})	$p_{uncorrected}$	Talairach		
0.863	3	0.119	32	0.001	0.945	0.570	5.37	3.95	0.000	51	-33	46
		0.981	11	0.036	1.000	1.000	4.10	3.31	0.000	-36	32	17
					1.000	1.000	3.36	2.85	0.002	-44	35	6
		0.665	18	0.010	1.000	1.000	3.79	3.12	0.001	-55	-25	45
					1.000	1.000	3.36	2.86	0.002	-59	-21	38

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 2.60$, $p = 0.010$ (1.000)
Extent threshold: $k = 10$ voxels, $p = 0.045$ (0.992)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 2.426$
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 4.86$
Expected false discovery rate, ≤ 1.00

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.8 9.5 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1899.6 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.12 voxels)



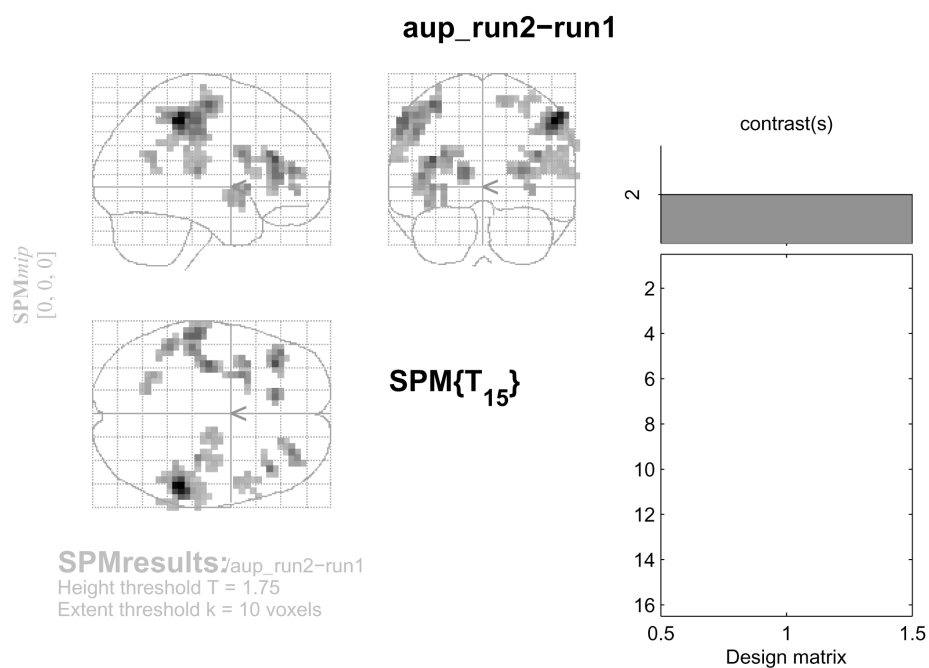
Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level			voxel-level				x,y,z {mm}	
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{corrected}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorrected}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>p</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i>)	<i>p</i> _{uncorrected}	Talairach
1.000	13	0.510	90	0.004	0.945	0.570	5.37	3.95	0.000	51 -33 46
					1.000	1.000	2.55	2.29	0.011	48 -44 50
					1.000	1.000	2.26	2.06	0.020	63 -37 35
		0.985	50	0.025	1.000	1.000	4.10	3.31	0.000	-36 32 17
					1.000	1.000	3.36	2.85	0.002	-44 35 6
		0.072	151	0.000	1.000	1.000	3.81	3.14	0.001	-36 -13 56
					1.000	1.000	3.79	3.12	0.001	-55 -25 45
					1.000	1.000	3.36	2.86	0.002	-59 -21 38
		1.000	17	0.166	1.000	1.000	3.56	2.98	0.001	-12 32 9
		1.000	11	0.261	1.000	1.000	3.55	2.98	0.001	40 28 21
		1.000	28	0.082	1.000	1.000	3.28	2.81	0.003	28 43 9
					1.000	1.000	2.57	2.31	0.011	36 43 -2
					1.000	1.000	2.54	2.28	0.011	20 35 9
		1.000	13	0.222	1.000	1.000	3.25	2.78	0.003	-28 9 22
		1.000	38	0.046	1.000	1.000	3.07	2.66	0.004	32 -23 12
					1.000	1.000	2.29	2.09	0.018	55 -30 27
					1.000	1.000	2.26	2.07	0.019	59 -23 12
		1.000	24	0.104	1.000	1.000	2.99	2.61	0.005	-36 12 -1
					1.000	1.000	2.71	2.41	0.008	-28 4 -0
					1.000	1.000	2.69	2.39	0.008	-40 7 -10
		1.000	15	0.191	1.000	1.000	2.52	2.27	0.012	-28 -53 21
					1.000	1.000	2.50	2.25	0.012	-20 -57 25
		1.000	17	0.166	1.000	1.000	2.46	2.22	0.013	16 -13 56
		1.000	18	0.155	1.000	1.000	2.30	2.10	0.018	48 5 26
					1.000	1.000	2.23	2.04	0.021	44 13 18
					1.000	1.000	2.11	1.95	0.026	51 12 10

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 1.75, *p* = 0.049 (1.000)
Extent threshold: k = 10 voxels, *p* = 0.283 (1.000)
Expected voxels per cluster, <*k*> = 9.380
Expected number of clusters, <*c*> = 47.41
Expected false discovery rate, <= 1.00

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
Smoothness FWHM = 8.6 8.8 9.5 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1899.6 resels
Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.12 voxels)
Page 1



Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level			voxel-level					x,y,z {mm} Talairach
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{corrected}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorrected}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>p</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _≡)	<i>p</i> _{uncorrected}	
		1.000	17	0.166	1.000	1.000	2.18	2.00	0.023	36 -9 59

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 1.75, *p* = 0.049 (1.000)
 Extent threshold: k = 10 voxels, *p* = 0.283 (1.000)
 Expected voxels per cluster, <*k*> = 9.380
 Expected number of clusters, <*c*> = 47.41
 Expected false discovery rate, <= 1.00

Degrees of freedom = [1.0, 15.0]
 Smoothness FWHM = 8.6 8.8 9.5 {mm} = 2.1 2.2 2.4 {voxels}
 Search vol: 1556288 cmm; 24317 voxels; 1899.6 resels
 Voxel size: [4.0, 4.0, 4.0] mm (1 resel = 11.12 voxels)
 Page 2/2

10. Dank

An erster Stelle möchte ich hier Herrn Prof. Dr. K. Willmes-von Hinckeldey für die Möglichkeit der Promotion im Lehr- und Forschungsgebiet Neuropsychologie danken. Während des gesamten Zeitraumes von der Programmierung des Versuchsparadigmas bis zur Fertigstellung der Dissertationsschrift und Vorbereitung auf die mündlichen Prüfung war er für mich jederzeit ansprechbar und unterstützte mich bei allen Schwierigkeiten, die eine solche Arbeit unabdingbar mit sich bringt. Besonders betonen möchte hierbei die große Menschlichkeit, Ruhe und Herzlichkeit, die er bei allen Begegnungen mit mir ausstrahlte und mit welcher er für ein angenehmes und motivierendes Arbeitsklima sorgte.

Ferner möchte ich Herrn Prof. Dr. Hans-Christoph Nürk danken, der diese Arbeit ebenfalls von Beginn an und bis zur fortgeschrittenen Fertigstellung betreute und für mich jederzeit für die unterschiedlichsten Probleme ansprechbar war.

Für die technische Umsetzung und Auswertung des Experimentes gilt es dem umfangreichen Team an Mitarbeitern der zentralen Bildverarbeitungseinrichtung des Bereiches ZNS im interdisziplinären Zentrum für klinische Forschung IZKF BIOMAT der Medizinischen Fakultät zu danken. Besonders hervorheben möchte ich hierbei Herrn Jochen Weber, der mit großem Fleiß und unbrennbarem Einsatz Hilfe bei allen „Notfällen“ verschaffte. Ferner möchte ich Herrn Ralph Schnitker, Frau Dr. Susanne Weis, Herrn Dipl. Psych. Rene Vohn sowie Dr. Guilherme Wood danken für die fachliche Unterstützung sowie die vielen geduldigen Erklärungen und technischen Einweisungen.

Diese Arbeit wäre ohne die Unterstützung meiner Familie und insbesondere meiner Eltern nicht möglich gewesen. Auch die kollektive „Problembewältigung“ im Kreise der Freunde und Kollegen hat großen Beitrag zur Fertigstellung der Arbeit geleistet. Last not least danke ich meiner Freundin Kirsten Michaelis für ihre liebevolle Unterstützung. Euch gilt mein besonders herzlicher Dank.

11. Lebenslauf

Person: Hartmut Becher

Veltmanplatz 20, 52062 Aachen

geboren am 14. Dezember 1975 in Leverkusen

ledig

Schulausbildung: 1982-1986: Grundschule, Brunsbüttel und Dormagen

1986-1992: Norbert Gymnasium Knechtsteden, Dormagen

1992-1993: Valparaiso High School, Indiana/USA

1993-1995: Werner Heisenberg Gymnasium

Abschluss Allgemeine Hochschulreife

Zivildienst: 1995-1996: Ausbildung zum Rettungshelfer und Einsatz für die

Johanniter Unfall Hilfe der Stadt Köln

Studium: 1996-2003: Studium der Humanmedizin an der RWTH-Aachen und

Université Paul Sabatier, Toulouse, Frankreich

Ärztliche Prüfung: 11/2003

Berufliche Tätigkeit: 2/04: Berufserlaubnis für die Tätigkeit als Arzt im Praktikum

10/04: Approbation als Arzt

seit 4/04: Arzt im Praktikum und Assistenzarzt in der Abteilung

Innere Medizin des Medizinischen Zentrums Kreis

Aachen, Betriebsteil Marienhöhe