

Aus der Radiologischen Klinik, Abteilung für Neuroradiologie  
Klinische Medizin der Medizinischen Fakultät  
der Universität des Saarlandes, Homburg/ Saar

# **Kognitive Verarbeitung von Mismatch in Text und Bildsequenzen (Comic)**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin*

**der Medizinischen Fakultät**

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2011

vorgelegt von: Karolina Domke (geb. Trzeciak)

geb. am: 30. März 1983 in Hamburg

*meiner Mutter gewidmet*

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>I.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>1</b>
I.1.	Zusammenfassung in deutscher Sprache	1
I.2.	Zusammenfassung in englischer Sprache (Abstract)	3
<b>II.</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>4</b>
II.1	Geschichte der Neuroanatomie	4
II.2	Fortschritt der Gehirnforschung durch die Entwicklung nicht-invasiver diagnostischer Methoden	7
II.3	Abriss der Anatomie des Gehirns	9
II.4	Comics als Gegenstand der Forschung	11
II.5	Comics in der Forschung und die Rolle des Spiegelneuronensystems	13
II.6	Mismatch-Untersuchungen und Zielsetzung	17
<b>III.</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>19</b>
<b>III.1</b>	<b>Methodische Grundlagen</b>	<b>19</b>
<b>III.1.1</b>	<b>Grundlage MRT</b>	<b>19</b>
III.1.1.1	Relaxation	21
III.1.1.2	Echoplanare Sequenzen	23
III.1.1.3	Aufbau MRT	23
III.1.1.4	BOLD-Kontrast	24
<b>III.1.2</b>	<b>Messdatenverarbeitung</b>	<b>27</b>
III.1.2.1	Bewegungsartefakte und Realignment	28
III.1.2.2	Slice time correction	29
III.1.2.3	Koregistrierung	29
III.1.2.4	Normalisierung	30
III.1.2.5	Smoothing (Glättung)	31
III.1.2.6	Statistische Auswertung	31
<b>III.2</b>	<b>Spezielle Untersuchungen</b>	<b>33</b>

---

<b>III.2.1</b>	<b>Probanden</b>	33
<b>III.2.2</b>	<b>Stimuli</b>	33
<b>III.2.3</b>	<b>Verarbeitung des Comic-Heftes</b>	35
III.2.3.1	Originalbilder (Kondition 0)	35
III.2.3.2	Originalbilder mit Zufallstext in den Sprechblasen (Kondition 1)	36
III.2.3.3	„Fremde“ Bilder aus anderen Asterixbänden mit originalem Erzähltext aus Asterix und Maestia verbunden (Kondition 2).	36
III.2.3.4	Originalbilder mit Erzähltext (Kondition 3)	37
<b>III.2.4</b>	<b>Experimentelles Paradigma</b>	38
III.2.4.1	Kondition 0 (Originalbilder)	38
III.2.4.2	Kondition 1 (Originalbilder mit Zufallstext)	39
III.2.4.3	Kondition 2 („Fremde“ Bilder)	39
III.2.4.4	Kondition 3 (Originalbilder mit indirekte Rede)	39
<b>III.2.5</b>	<b>Versuch und Präsentation</b>	40
<b>III.2.6</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	41
<b>III.2.7</b>	<b>Messung und Parameter der fMRT-Bildgebung</b>	42
<b>III.2.8</b>	<b>Methoden der Datenanalyse und der Bildverarbeitung</b>	43
<b>IV.</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>44</b>
<b>IV.1</b>	<b>Aktivierung der frontalen Regionen bei Mismatch vs. Match-Sequenzen</b>	44
IV.1.1	Rechtsseitige Aktivierung der frontalen Regionen	44
IV.1.2	Linksseitige Aktivierung der frontalen Regionen	45
<b>IV.2</b>	<b>Aktivierung der temporalen Regionen bei Mismatch vs. Match-Sequenzen</b>	51
IV.2.1	Rechtsseitige Aktivierung der temporalen Regionen	51
IV.2.2	Linksseitige Aktivierung der temporalen Regionen	52
<b>IV.3</b>	<b>Aktivierung der parietalen Regionen bei Mismatch vs. Match-Sequenzen</b>	53
IV.3.1	Rechtsseitige Aktivierung der parietalen Regionen	53
IV.3.2	Linksseitige Aktivierung der parietalen Regionen	54
<b>IV.4</b>	<b>Aktivierung der limbischen Areale/Basalganglien Regionen bei Mismatch vs. Match-Sequenzen</b>	56

---

IV.4.1	Rechtsseitige Aktivierung der limbischen Areale/Basalganglien	56
IV.4.2	Linksseitige Aktivierung der limbischen Areale/Basalganglien	56
<b>IV.5</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>58</b>
<b>V.</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>60</b>
V.1	Diskussion der Methodik	60
V.2	Bedeutung Mismatch vs. Match Studien	61
V.3	Anregung archaischer Hirnstrukturen bei Mismatch>Match	62
V.4	Die Rolle des STS und der ToM	63
V.5	Die Bedeutung von Frontalhirn, der Aufmerksamkeit und den Top-down Prozessen	65
V.6	Resümee	68
V.7	Ausblick	70
<b>VI.</b>	<b>ANHANG</b>	<b>71</b>
<b>VII.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>77</b>
<b>VIII.</b>	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>85</b>
<b>IX.</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>87</b>
<b>X.</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>90</b>
<b>XI.</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>91</b>
<b>XII.</b>	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>92</b>

## **I. ZUSAMMENFASSUNG**

### **I.1 Zusammenfassung in deutscher Sprache:**

#### **Kognitive Verarbeitung von Mismatch in Text und Bildsequenzen (Comic)**

Das Literaturmedium Comic ist aus neuroradiologischer Sicht ein noch wenig erforschtes Gebiet, obwohl dieses eine sehr verbreitete Informationsquelle darstellt und auch in der medizinischen Forschung gerne benutzt wird.

Die vorliegende Arbeit untersucht die kognitive Verarbeitung von speziell präparierten Comicsequenzen mit besonderem Augenmerk auf die Dissonanz, die durch Mismatch hervorgerufen werden soll. Mithilfe eines bearbeiteten Asterix-Comics wird eine Geschichte erzählt, zu der in einer weiteren Sequenz die Bilder nicht mehr passen (Mismatch-Sequenz). Es wurde untersucht, was neuronal im menschlichen Gehirn in dieser Situation passiert und wie eine solche Unstimmigkeit kognitiv verarbeitet wird.

Es zeigte sich, dass es zu einer vermehrten Aktivität in bestimmten Arealen kommt, insbesondere dem Broca Areal, dem inferior-parietalen Cortex und dem präfrontalen Cortex. Ferner spielten der ACC, STS und die Temporallappen beidseits eine sehr wichtige Rolle als Kernregionen des neuronalen Theory of Mind (ToM)-Modells bei der Wahrnehmung von eigenen und fremden mentalen Zuständen. Zusätzlich wurden Aktivierungen des präfrontalen, frontalen und parietalen Lappens festgestellt, die als Areale der Aufmerksamkeit und der Top-down-Aufmerksamkeitskontrolle beschrieben sind.

Der Verarbeitungsprozess aktiviert vermehrt die Areale der visuellen Aufmerksamkeitskontrolle, des Aufmerksamkeitswechsels, des bewegungserkennenden Systems sowie des ToM-Modells. Interpretiert wird dieses Ergebnis als eine verstärkte Anstrengung bei einem erhöhten Konzentrationsgrad im Mismatch-Modus. Vermutlich versucht der Proband die Bilder mit den Handlungen und dem Text zu verknüpfen und diese stimmig, anhand seines schon angeeigneten Vorwissens, einzuordnen. Dieses könnte in Form eines Absuchens mehrerer neuronaler Pfade im selben Gebiet stattfinden und eine noch intensivere Aktivität der sowieso beim „normalen“ Comics lesen beanspruchten

Bereiche bedeuten. Diese Areale könnten durch das Mismatch hervorgehoben werden sowie auch deren Verknüpfungen könnten besser untersucht und veranschaulicht werden.

## I.2 Zusammenfassung in englischer Sprache (Abstract)

### **Cognitive processing of mismatch in text and image sequences (comics)**

The literary medium of comics is – from a neuroradiological perspective – barely researched, although it is a very common source of information, which is also used in medical research projects.

The present study investigates the cognitive processing of specially edited comic sequences with a particular focus on the dissonance caused by mismatch. Using an edited Asterix comic, a story is being told while in another sequence the images do not fit (mismatch sequence). We investigated what happens on neuronal level in the human brain in this situation and how such a discrepancy is processed cognitively.

An increased activity was found in certain areas, in particular the Broca area, the inferior-parietal cortex and the prefrontal cortex. Also the ACC, STS and the temporal lobe on both sides play a very important role as the core areas of the Theory of Mind (ToM) neuronal model in the perception of own and others' mental states. In addition, activations were found of the prefrontal, frontal and parietal lobe, which are described as areas of attention and top-down attention control.

The process increases the activity of areas of visual attention control, the change of attention, the motion detection system and the Theory of Mind (ToM)-model. This result is being interpreted as a stronger effort at an increased level of concentration in mismatch modus. Presumably, the subject attempts to combine the images with the actions and the text and these voices on the basis of his already appropriated prior knowledge. This could take place a screening of several neural pathways in the same area and lead to a more intensive activity of the areas activated while reading a "normal", i.e. not manipulated, comic. These areas could be highlighted by the mismatch, so that it would be possible to investigate and illustrate their links better.



## II. EINLEITUNG

### II. 1. Geschichte der Neuroanatomie

Die Faszination und Erforschung des Gehirns in seinem strukturellen Aufbau und seiner Funktion hat die Menschheit seit Jahrtausenden beschäftigt. Die ersten Erkenntnisse reichen bis in die prähistorische Zeit zurück. Als ältestes Dokument einer Beschreibung des Gehirns gilt der ca. 1700 v.Chr. datierte „Edwin Smith Papyrus“. Das Gehirn als der Sitz kognitiver Fähigkeiten konnte erstmals im antiken Griechenland entdeckt werden, seine Funktionsweise blieb jedoch bis zum Ende des Mittelalters weitgehend unbekannt. Erst in der Renaissance wurde durch die Wiederaufnahme von Autopsien die Struktur des Hirns wieder genauer untersucht. Dennoch standen erst seit dem 18. Jahrhundert Methoden zur Verfügung, um anhand von Experimenten an Tieren mehr Informationen über die Funktionsweise zu gewinnen. In diese Zeit fällt auch die erste Beschreibung der Zentralregion des Gehirns (1786) durch den französischen Anatomen Vicq d'Azyr (PARENT 2007), welche von ihm 1805 in einer wissenschaftlichen Arbeit veröffentlicht wurde. In dieser beschreibt er zwei aufsteigende Windungen, den Gyrus praecentralis und postcentralis. Auch der Sulcus centralis wurde erstmal von ihm beschrieben (VICQ D'AZYR 1786), jedoch später von Leuret irrtümlich dem italienischen Anatomen Luigi Rolando (1773-1831) zugeordnet und als Sulcus Rolandi benannt (BOLING et al. 1999).

Die Terminologie der Hirnlappenaufteilung in Frontal-, Parietal-, Temporal- und Occipitallappen wurde 1869 von dem Anthropologen ECKER (1816-1887) vorgeschlagen und wird bis heute noch so gelehrt.

Im Jahre 1878 publizierte der Arzt und Anthropologe BROCA „Le grand lobe limbique“. Darin beschrieb BROCA einen Gürtel (Limbus) von Rindenfeldern, welche an der medialen Hemisphärenwand zwei parallel aneinander liegende Ringsysteme bilden. Das limbische System unterscheidet sich in der Architektur vom Isocortex insbesondere im Zellschicht-Aufbau.

Durchgehend sechsschichtig wird der Iso- oder Neocortex beschrieben, der Archicortex hingegen wird von BROCA als vierschichtig erkannt.

Noch eingehender wurde die Zytoarchitektur der menschlichen Hirnrinde von dem Neurologen CAMPBELL in seiner Arbeit: „Histological Studies of Cerebral Function“ untersucht (1905). Sowie CAMPBELL erforschte auch BRODMANN (1909) mittels der damals neuen Nissl-Methode die unterschiedliche histologische Zytoarchitektur des Gehirns. In seiner Arbeit „Vergleichende Lokalisationslehre der Großhirnrinde“ wurden 52 Rindenfelder beschrieben und kartiert. BRODMANN erkannte, dass obwohl die Gebiete des Neocortex eine ähnliche Entwicklung erfahren haben, es dennoch histologische Unterschiede in der Zytoarchitektur gab (BRODMANN 1909). Diese Informationen nutzte er als Grundlage für seine topologische Kartierung der Großhirnrinde in Felder und Areale, die von ECONOMO et KOSKINAS (1925) übertragen wurde. Diese etablierte sich erfolgreich, nachdem auch elektrophysiologische Studien die spezifische funktionelle Bedeutung der Areale bestätigten, wie in den Arbeiten von VOGT et VOGT (1919), FOESTER (1936) und PENFIELD et BOLDREY (1937).

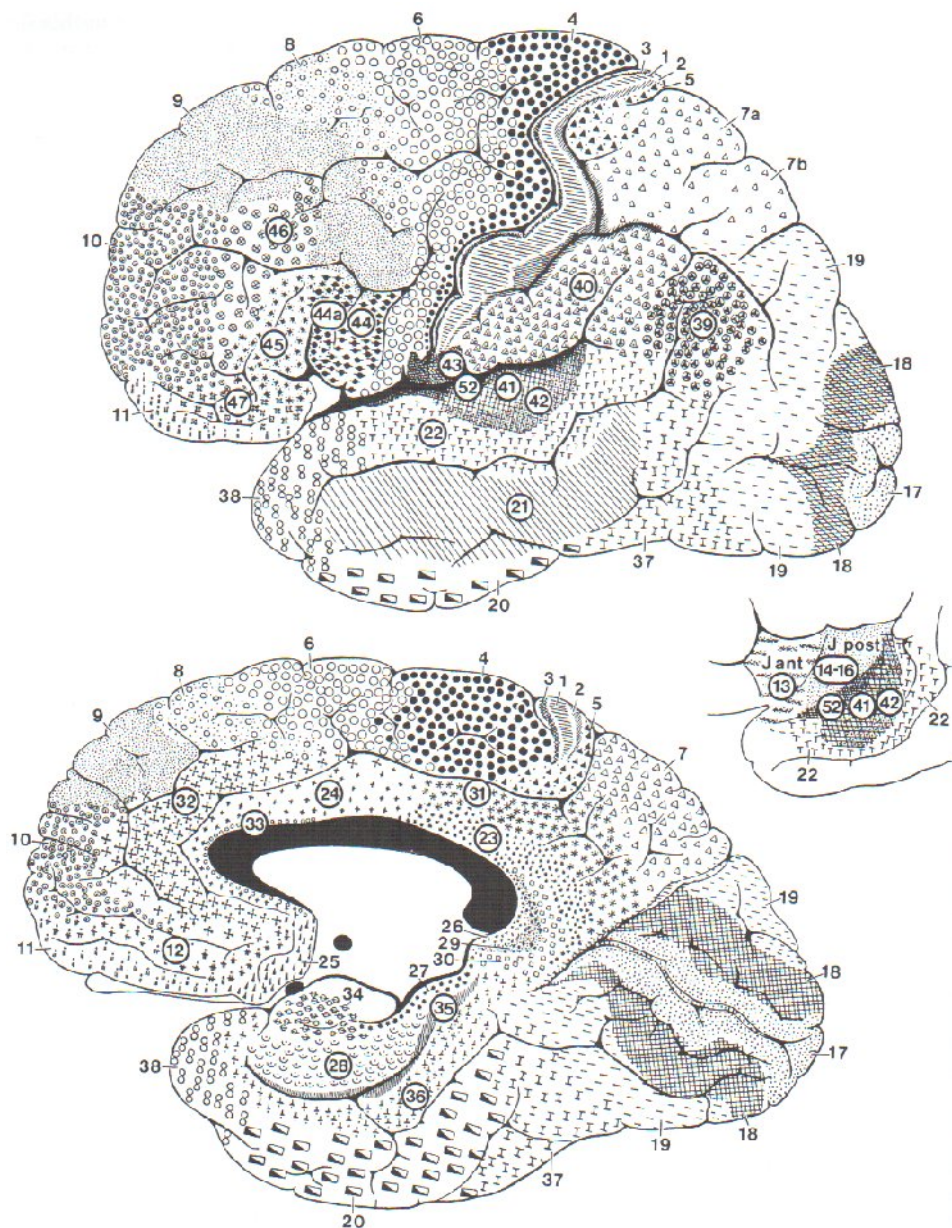


Abb.II. 1: Die Zytoarchitektur des menschlichen Gehirns nach Brodmann (zur besseren Lesbarkeit wurden die den einzelnen Feldern zugeordneten Zahlen deutlicher hervorgehoben). Oben: linke Hemisphäre aus lateraler Sicht, unten rechte Hemisphäre aus medialer Sicht, Einschub: Blick auf den Temporallappen und die Inselrinde. J ant= agranuläres vorderes Inselgebiet; J post= dysgranuläres und granuläres posteriores Inselgebiet.

Diese Forschungsergebnisse bildeten die Basis für die Entwicklung stereotaktischer Atlssysteme, wie z.B. den „Talairach Atlas“, der wie - auch in dieser Arbeit - zur Lokalisation kortikaler Areale verwendet wird (TALAIRACH et TOURNOUX 1988).

## II. 2. Fortschritt der Gehirnforschung durch die Entwicklung nicht-invasiver diagnostischer Methoden

Die im Jahre 1924 durch den Neurologen und Psychiater Hans Berger entwickelte Methode des EEG konnte erstmals sensible Reizungen in bestimmten Hirnregionen als elektrische Aktivität ableiten. So gelang es PENFIELD et RASMUSSEN (1950) durch Stimulierung von bestimmten Cortexbereichen mit elektrischen Reizen bei offener Schädeldecke und bewusstseinsklaren Patienten, die Erkenntnis, dass im somatosensorischen Cortex und motorischen Cortex die Repräsentation der Körperoberfläche eine somatotope Ordnung aufweist.

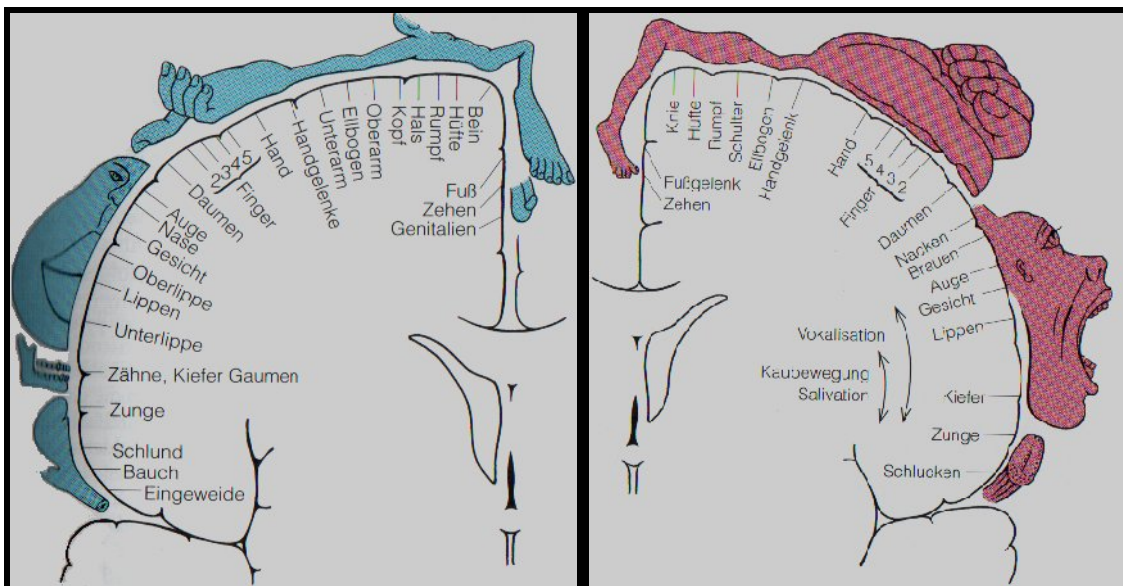


Abb. II.2: Neuroanatomischer Homunculus. Die Repräsentation von Körperregionen auf den primären Rindenfeldern im Bereich des Sulcus centralis als somatosensorischer Homunculus Gyrus postcentralis (links) und motorischer Homunculus Gyrus praecentralis (rechts).

Eine weitere Entdeckung von neuen nicht-invasiven Methoden war die 1973 durch HOUNSFIELD entwickelte Computer-Tomographie. Doch erst die nuklearmagnetische Resonanz revolutionierte die klinische Radiologie, denn diese ermöglichte eine Darstellung der Weichteile. Die Basis für die physikalischen Prinzipien des MRT machten 1946 voneinander unabhängige Forscher BLOCH et al. und PURCELL et al. In den folgenden Jahren wurde, die aus deren Entdeckung resultierende Magnetresonanz-Spektroskopie in der Chemie angewandt. Sie ermöglichte Untersuchungen zur Analyse von chemischen Strukturen und Reaktionsabläufen.

LAUTERBUR et al. (1973) gelang es diese Methode zu einem bildgebenden Verfahren weiterzuentwickeln. Das erste MRT-Bild eines Menschen entstand 1977 und wurde von MANSFIELD und MAUDSLEY aufgenommen. Dafür erhielten LAUTERBUR und MANSFIELD den Nobelpreis für Medizin oder Physiologie 2003. Dieses Verfahren ermöglichte erstmals in der Geschichte die Darstellung der Weichteile des menschlichen vitalen Gehirns, ohne dieses zu öffnen, und bahnte den Weg für einen – neuroanatomischer und funktioneller Hinsicht - enormen Informationsgewinn über unser Zentralnervensystem und dessen Arbeitsabläufe. Die Vorteile gegenüber dem CT für die Forschung und Klinik war, dass der MR-Tomograph keine Strahlenbelastung darstellt. Zusätzlich können höher aufgelöste und kontrastreichere Bilder von Patienten erstellt werden.

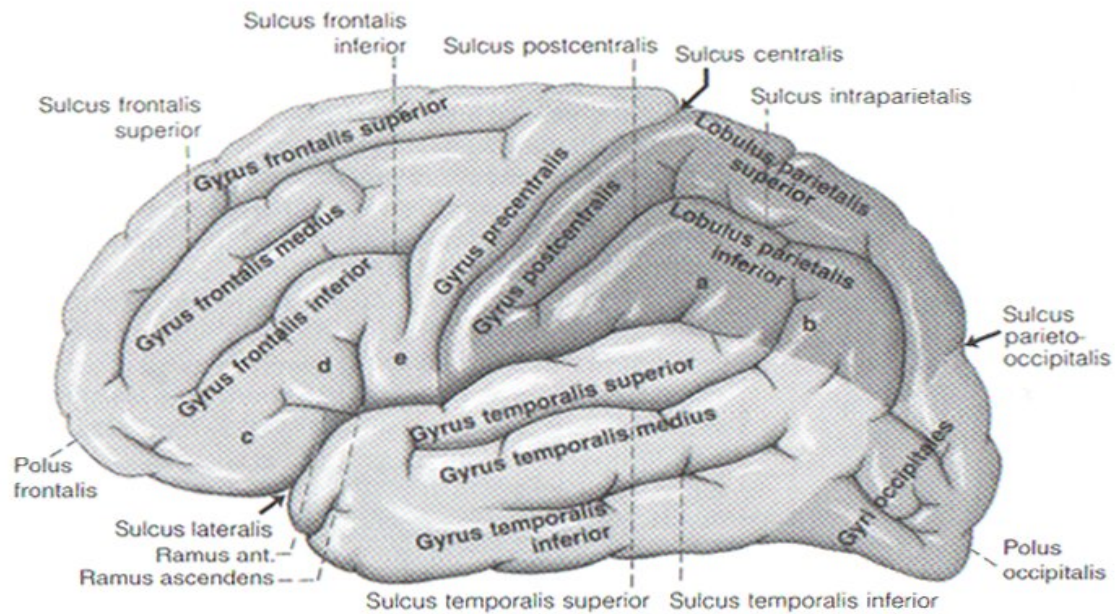
Dennoch war und ist das MRT die kostspieligere Variante. Aufgrund dieser Vorteile gewann die MRT seit den 80er Jahren immer mehr an Bedeutung in der klinischen Diagnostik und löste die CT in den meisten Indikationen ab. Konkurrenz machte dem MRT jedoch der im Jahre 1974 von TER-POGOSSIAN et al. entwickelte erste Positron-Emissions-Tomograph (PET). Dieser ermöglichte es erstmals, das ZNS funktionell aufzuarbeiten. Als Antwort auf diese neue Technik wurde versucht, mittels MRT dieselben Erfolge zu erzielen. Dafür führte BELLIVEAU et al. (1990) eine MRT Aufnahme mit intravenöser Gabe von Kontrastmittel durch.

Der entscheidende Durchbruch gelang jedoch OGAWA et al. (1990a) mit der Entdeckung der funktionellen Kernspinresonanztomographie (fNMR, fMRI, BOLD-MRI). Das fMRT machte es möglich, die regionalen Muster des Blutflusses im Gehirn zu beobachten und dadurch indirekt eine Aktivierung von Hirnarealen sichtbar zu machen. Um dies zu erreichen, machte sich der Forscher Seiji Ogawa gemeinsam mit Tso-Ming Lee, die durch PAULING (1935) und THULBORN

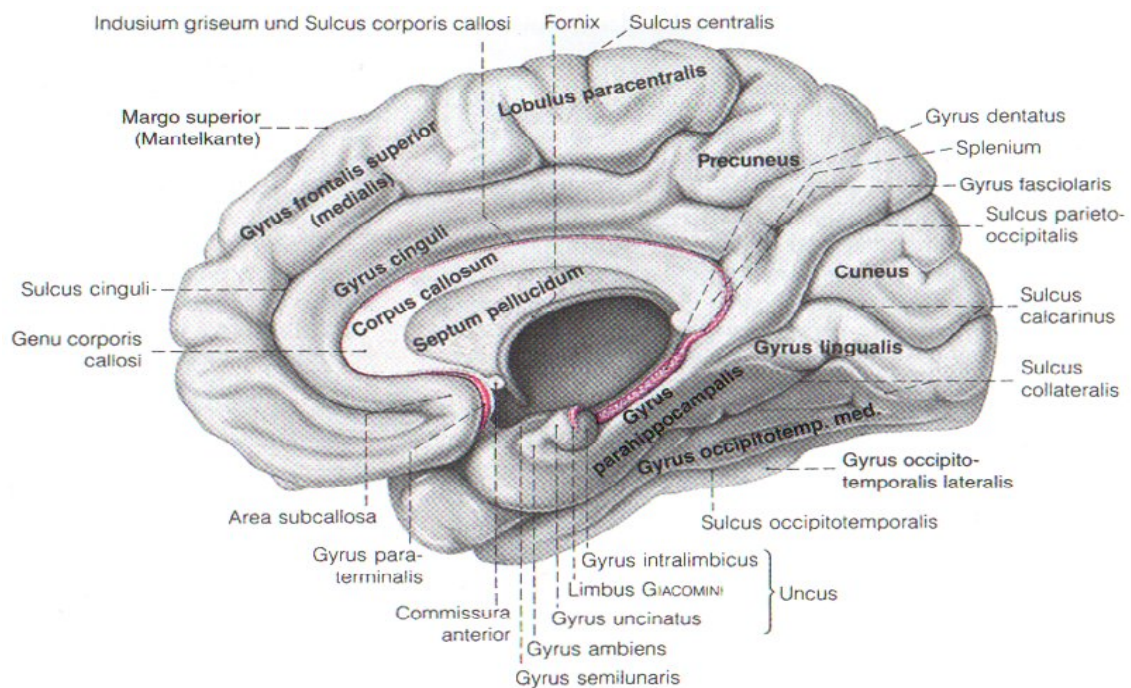
et al. (1982) entdeckten magnetischen Eigenschaften von Hämoglobin zu Nutze. Hämoglobin verändert sich in Abhängigkeit seines Oxygenierungsgrades, sodass Ogawa und Lee es schafften, diesen in MRT-Signale zu verwandeln (OGAWA et al. 1990a, 1990b, 1992). Diese Eigenschaft von Hämoglobin, verschiedene MRT-Signale zu verursachen, wurde BOLD-Effekt (blood oxygenation level dependent) genannt. Dabei wird das im menschlichen Körper natürlich vorkommende paramagnetische Desoxyhämoglobin als endogenes Kontrastmittel für die Magnetresonanztomographie (MRT) verwendet (siehe Kapitel III. 1.1.4).

### II.3. Abriss der Anatomie der Gehirns

Das menschliche Gehirn ist nicht das größte unter allen Lebewesen. Voluminösere Gehirne finden wir unter den größten Säugetieren wie den Elefanten und Walen. Auch in der Relation von Gehirnmasse zu Körpergewicht, ist nicht das menschliche, sondern gerade das sprichwörtlich verpönte „Spatzenhirn“ das – relativ betrachtet – größte. So gesehen, hat ebenfalls das Neugeborene ein relativ größeres Gehirn im Vergleich zu einem Erwachsenen (LIPPERT 2006). Ihr Hirngewicht beträgt etwa 350g, also 1/10 des Körpergewichts, während das Hirngewicht des Erwachsenen bei 95% der Männer 1340g - 1550g und der Frauen 1200g - 1370g (SCHIEBLER 2002), also 1/50 des Körpergewichts, beträgt. Man kann daher sagen, dass die großen, menschlichen „Gedächtnisspeicher“ schon während dem Säuglingsalter vorhanden sind, denn die nahezu endgültige Größe erreicht das Gehirn bereits mit 3 Jahren, weshalb auch der Schädelknochen beinahe die Endgröße aufweist (LIPPERT 2006). Das Gehirn lässt sich aufgrund morphologischer, entwicklungsgeschichtlicher und funktioneller Gesichtspunkte in folgende fünf Abschnitte gliedern: Telencephalon (Cerebrum, Endhirn), Diencephalon (Zwischenhirn), Mesencephalon (Mittelhirn), Metencephalon (Cerebellum und Pons), Myelencephalon (Medulla oblongata). Die Großhirnhemisphären gehen aus dem Endhirn hervor. Diese weisen auf der Oberfläche Gyri und Sulci auf und sind unvollständig getrennt durch die Fissura longitudinalis cerebri. Im Schädel nehmen sie den Raum oberhalb des Tentorium cerebelli ein und werden aufgrund ihrer räumlichen Lage in Lappen unterteilt.



a)



b)

Abb. II.3 (a-b): Anatomische Darstellung der Gyri und Sulci. a) Facies superolateralis der linken Hemisphäre des Endhirns. a=Gyrus supramarginalis, b= Gyrus angularis, c= Pars orbitalis, d= Pars triangularis, e= Pars opercularis. b) Mediale Fläche der rechten Großhirnhemisphäre mit rot angegebenem Limbus Giacomini.

Das Gehirn erhält seine arterielle Blutversorgung aus den Aa. vertebrales und den Aa. carotides internaes, die in der Schädelhöhle den Circulus arteriosus bilden. Zum Stromgebiet der A. carotis interna gehören die A.cerebri anterior, A.communicans anterior, A.choroidea anterior. Zum Stromgebiet der A. vertebralis gehören A.spinalis anterior, A.inferior posterior cerebelli, A. inferior anterior cerebelli, A. labyrinthi, A. basilaris mit den Ästen zum Pons (Aa. pontis), A.superior cerebelli, A.cerebri posterior, A. communicans posterior (DRENCKHAHN 2004).

Die Blut-Hirn-Schranke dichtet das Gehirn gegen das Blut ab, dieser besteht aus 3 Schichten: Endothelien der Kapillaren, der Basalmembran und den Fortsätzen von Astrozyten (KIM et al. 2006). Das Gehirn ist zum Schutz von dem Schädelknochen umgeben, welcher durch das Periost mit der äußeren harten Hirnhaut (Dura mater) verbunden ist. Die innere Hirnhaut (Leptomeninges) unterteilt sich in eine äußere dünne Schicht, die Arachnoidea, und eine innere Schicht, die Pia mater. Zwischen diesen beiden Schichten liegt der Subarachnoidalraum, der mit Liquor gefüllt ist und so als Druck- und Stoßdämpfer für das Gehirn wirkt. Darüber hinaus hat der Liquor eine wichtige Funktion bei der Konstanthaltung des extrazellulären Milieus, der Entfernung potenziell schädlicher Metaboliten sowie der Regulation des Atemzentrums. Täglich wird 500ml Liquor größtenteils durch den Plexus choroidei produziert und über die Ausstülpungen der Arachnoidea mater oder an den Austrittsstellen der Spinalnerven resorbiert, sodass sich im Liquorsystem immer nur ca. 150 ml Flüssigkeit befinden (TREPEL 2008).

#### **II.4. Comics als Gegenstand der Forschung**

Die Literaturgattung „Comic“ ist heutzutage eine sehr weit verbreitete Ausdrucksform, zu deren Zielgruppe sowohl Kinder und Jugendliche als auch Erwachsene gehören. Die Bezeichnung geht auf das englische Adjektiv „comic“ oder „comical“ zurück und hat seinen Ursprung im lateinischen „comicus“ (altgriechisch: „komikos“). Es bezieht sich auf die Wirkung des Lustspiels, der Komödie (SACKMANN 2008). Bisweilen konnten die Comicforscher sich nicht einig werden, wie Comic definiert sein soll (SACKMANN 2000). Eine der Definitionen, die sich durchsetzten,



stammt von MC CLOUDS (1994), demnach sind Comics „zu räumlichen Sequenzen angeordnete, bildliche oder andere Zeichnungen, die Informationen vermitteln und/oder eine ästhetische Wirkung beim Betrachter erzeugen“ (MC CLOUDS 1994). Er greift die Definition von EISNER (1994) auf, der den Comic als sequentielle Kunst bezeichnet. Anfangs verstand man unter Comic, die sogenannte „kurze Bildergeschichte“ („Comic strips“) (SACKMANN 2000), welche eine humoristische Erzählung darstellt. Mittlerweile gibt es fast keine Thematik, mit der sich die Comics nicht befassen würden, von Politik über Horrorgeschichten, Aufklärungen bis hin zu klassischer Literatur verfasst in Comic-Form.

Greift man die Definition von MC CLOUD (1994) auf, sind die Anfänge des Comics nicht erst mit dem Auftreten des Sprechblasencomics um 1900 zu setzen, sondern schon bei den Alten Ägyptern, die sequentielle Bildfolgen z.B. im Grab des Menna vor 3400 Jahren benutzten. Im Hochmittelalter in Frankreich entstand der Teppich von Bayeux, der durch die Kombination von Text- und Bildform, die Geschichte von der Eroberung Englands durch die Normannen 1066 schildert (MC CLOUD 1994). In den Kirchen arbeitete man sehr häufig mit comic-ähnlichen Altarbildern und Glasmalereien, um den Menschen, die zu dieser Zeit größtenteils des Lesens nicht mächtig waren, bildlich die Botschaft Gottes zu vermitteln.



Abb. II 4: Ausschnitt aus dem Teppich von Bayeux (England, Ende 11. Jh., 68 m lang, ca., 50 cm breit).

Die Methode, mithilfe von Comics wichtige Inhalte für alle einfach und verständlich darzustellen, wird auch in heutigen AIDS-Aufklärungskampagnen, z.B. in der Dritten Welt, angewandt. CARNAGHI et al. (2007) haben erforscht, dass Probanden mit niedrigerem

kognitivem Level besser auf Comics ansprechen als auf Textinformationen. Als Beispiel gilt auch die Studie von MILLELIRI et al. (2003), welche in ihrer Arbeit ein 48-seitiges Comic-Buch über die Nutzung der Kondome unter gabonesischen Studenten 1999 evaluiert hat. Diese Form der Aufklärung erwies sich als sehr effektiv. Auch TORRECILLA-GRACIA et al. (2004) arbeiten in ihrer Studie mit dem Comic als Medium zur Information über das Rauchen. Sie empfehlen es als wirksames Mittel, Jugendliche zu erreichen und zu verhindern, dass diese das Rauchen zur Gewohnheit werden lassen. Ferner werden sie durch die WHO zur Verbesserung der Kenntnisse und der Einstellung gegenüber der Lymphfilariasis weltweit angewandt (El-SETOUHY et RIO 2003) oder als Comic-Handbuch über Geburtshilfe für die Ausbildung von Hebammen in der Region Segou genutzt (FONDATION 1998).

Das waren nur ausgewählte Beispiele der Nutzung von Comics. Zu erkennen ist, dass der Comic ein weit verbreitetes Medium zur Vermittlung wichtiger Inhalte ist, im Hinblick auf seine Beliebtheit und Verbreitung aber ein neuroradiologisch relativ wenig erforschtes Gebiet darstellt.

## **II.5. Comics in der Forschung und die Rolle des Spiegelneuronensystems**

Für die Erforschung bestimmter psychiatrischer Erkrankungen und deren Auswirkungen auf bestimmte kognitive Fähigkeiten des Gehirns haben vor allem die Psychologen das Medium Comic für sich entdeckt.

Zum Beispiel beschäftigt sich eine neuere Studie von BAZIN et al. (2009) mit Schizophrenen und deren Beeinträchtigungen der sozialen Kognition. Die Ergebnisse der neuen Messmethode (V-SIR) wurden mittels einer anderen Intentions-Zuordnungsmethode der Comic strips verglichen. Diese Theory of mind (ToM) Messmethode bedient sich der Comic strips, wurde von SARFATI et al. (1997a) entwickelt und von BRUNET et al. (2003) für gültig erklärt. Es gilt die Absichten der

Comichauptfigur zu bewerten und vorherzusagen. Die Probanden wurden aufgefordert, die richtige Lösung der Geschichte unter den 3 Bildern zu wählen.

Die ToM-Theoretiker führten ihre Forschungen und somit Zuschreibungen der Intentionen oft anhand von Comics und Bildern durch. Der bekannteste Comic strip wurde wie von SARFATI et al. (1997a) entworfen (s.o.). In der Studie 1999 benutzten SARFATI et al. wieder Comics, um zu klären, wie Menschen mit Schizophrenie sich das Verhalten von anderen erklären. Im darauf folgenden Jahr wurde die Studie von GALLAGHER et al. (2000) veröffentlicht, welche das „Gedankenlesen“ in visuellen Cartoons und verbalen Geschichten mittels fMRI überprüften. Es kam zur Aktivierung des medialen präfrontalen Cortex durch ToM-Erzählungen und –Cartoons, ungeachtet der Tatsache, ob es eine visuelle oder verbale Aufgabe war. Diese Region war die einzige, die eindeutig nur durch die ToM-Aufgaben aktiviert wurde, und wird auch durch einige andere Autoren als mit der ToM assoziierte Region beschrieben (BARON-COHEN et al. 1994; GOEL et al 1995; BARON-COHEN et al 1999).

Die spezifische Verknüpfung von Sprechblasentext und Gestik in Form von Comics scheint von vielen als sehr effektives und zugängliches Medium genutzt zu werden. Was macht den Comic so zugänglich?

Auf der einen Seite besitzen die Menschen eine bemerkenswerte Eigenschaft des Gehirns: Sie erinnern sich an besser Bilder als an Worte. In der Studie von GRADY et al. (1998) wurden mittels PET die neuronalen Korrelate der episodischen Kodierung von Bildern und Wörtern erforscht. Das Muster bei der Kodierung von Bildern zeigte eine verstärkte Aktivität des bilateralen visuellen und des medialen temporalen Cortex, welche bei dem episodischen Gedächtnis (SCOVILLE et MILNER 1957, LAH et MILLER 2008) und bei der Speicherung neuer Informationen (SQUIRE 1992) von Bedeutung sind. Die Speicherung der Wörter zeigt eine erhöhte Aktivität in präfrontalen und temporoparietalen Regionen und steht mit den Sprachfunktionen im Zusammenhang. Die Fähigkeit, sich an Bilder besser zu erinnern, wird durch GRADY et al. (1998) darauf zurückgeführt, dass die medial-temporale und die extrastriären Regionen und deren enge Verbindung untereinander eine besondere Rolle spielen.

Die Forscher behaupten, dass Bilder eine noch aufwändigere und assoziationsreichere Verarbeitung erfahren als Wörter.

Auf der anderen Seite spielen beim Comiclesen - wie schon MAURER (2009) gezeigt hat und auch in unseren Mismatch-Sequenzen zu sehen war - die Sprache und Gestik und die dafür zuständigen Areale eine wichtige Rolle. Wir zeigen warum sie so stark mit einander verknüpft sind und vermuten dort den Grund für die Zugänglichkeit des Medium Comic und zeigen, dass es bei Mismatch-Sequenzen zusätzlich zu einer Mehraktivierung dieser Areale kommt.

Bedeutend für diesen Prozess ist das Spiegelneuronensystem. Das liegt daran, dass die Urahnen der Menschen vor allem eine gestische Kommunikationsweise besaßen, in der das Spiegelneuronensystem eine wichtige Rolle spielte.

Im Spiegelneuronensystem werden zwei verschiedene Arten von visuell-motorischen Zellen beim Affen im F5-Bereich unterschieden. Zum einen, diejenigen, die auf die Präsentation eines Objektes reagieren, und zum anderen diejenigen, die bei der sogenannten „objekt-gerichteten Bewegung“ (RIZZOLATTI et LUPPINO 2001) reagieren. Die ersten Studien von Spiegelneuronen erforschten vor allem den oberen Teil des F5-Bereiches, der die Handbewegungen repräsentiert, und die Bereiche, die sich im lateralen Teil des F5 befinden (FERRARI et al. 2003), welcher die Mundbewegungen repräsentiert. Die Bewegungsbeobachtung von anderen Objekten wird im Bereich des F5 beantwortet, aber auch im STS (PERRETT et al. 1989, JELMA et al. 2000). Wie PERRETT et al. (1990) zeigten, werden einige STS-Neuron während der zielgerichteten Beobachtung von Handbewegungen aktiviert.

Das Spiegelneuronensystem beinhalten wesentliche Bereiche wie den rostralen Teil des inferior-parietalen Cortex und dem ventralen prämotorischen Cortex.

Wie RIZZOLATTI et CRAIGHERO (2004) festgestellt haben, werden zwei Hypothesen, die die Hauptfunktion der Spiegelneuronen betreffen, unterschieden. Einerseits bilden sie neurophysikalische Mechanismen wie Imitation (JEANNEROD 1994) und andererseits die Grundlage für das Verständnis von Bewegungen (RIZZOLATTI et al. 2001). Beide Hypothesen sind zum größten Teil richtig. Die Spiegelneuronen spielen nichtsdestotrotz eine wichtige Rolle in einer Vielzahl wichtiger sozialer Verhaltensweisen, wie IACOBONI et DAPRETTO (2006) zeigten, und verwandeln visuelle Informationen in Wissen (RIZZOLATTI et al. 2001).

WILLIAMS (2006) fand eine kontextabhängige Aktivierung des prämotorischen Cortex (BA 6) bei der Bewegungsbeobachtung. Viele andere Studien - wie auch die hiesige Studie – zeigen die bedeutende Rolle des prämotorischen Cortex bei der Bewegungsbeobachtung (HARI et al. 1998; NISHITANI et HARI 2000; BUCCINO et al. 2001; GREZES et al. 2001). Dies wurde als Beweis für die Existenz eines bewegungserkennenden Systems beim Menschen interpretiert, vergleichbar mit der Spiegelneuronensystem bei Affen, in denen ähnliche neuronale Aktivierungen während der Bewegungsbeobachtung und Bewegungsausführung stattfinden (JEANNEROD et al. 2001; RIZZOLATTI et al. 2001; NISHITANI et al. 2004). Die Studien schlussfolgern, dass die Aktivierung des prämotorischen Cortex bei jeglicher Art von beobachteter Bewegung automatisch abläuft.

Auf welche Weise hängt also die Sprache mit den Spiegelneuronen zusammen?

RIZZOLATTI et ARBIB (1998) sehen das Spiegelneuronensystem als möglichen Vorläufer der neuronalen Systeme der Sprache im menschlichen Gehirn:

Hypothetisch gesehen ist das Broca-Areal der evolutionär folgende Entwicklungsschritt, der die Gestik zu Sprache umsetzt, da anatomische Homologien zwischen dem F5-Bereich des Affen und Brodmann-Bereich 44 im hinteren inferioren frontalen Gyrus im menschlichen Gehirn vorliegen, ein Gebiet, das stark mit Sprache verbunden ist (RIZZOLATTI et ARBIB 1998; ARBIB 2005). Ferner fand man in vielen bildgebenden Studien gemeinsame neuronale Systeme zwischen Sprache und motorischen Strukturen im Allgemeinen oder dem Spiegelneuronensystem. Gezeigt wurde, dass die Verarbeitung von sprachlichem Material auch für Motorik verantwortliche Strukturen aktiviert (MEISTER et al. 2003), die dort wiederum spezielle Körperteile repräsentieren (TETTAMANTI et al. 2005; HAUKE et al. 2004).

Der nächste Schritt war dann die Entwicklung des Wernicke-Areals, welches das sensorische Sprachzentrum bildet (ARBIB 2005). Das ganze System besteht aus mehreren Arealen wie dem Sulcus intraparietalis anterior, der die Signale aus der Sehbahn empfängt und ans Areal F5 schickt. Der Occipitallappen und das sog. FARS-Modell, welches aus inferotemporalen und präfrontalen Cortexbereichen besteht, erfassen dabei die Objekte. Das FARS-Modell vermittelt eine Anpassung an verschiedene Situationen (FAGG et ARBIB 1998).

Die Vorstudie zu Comics von MAURER (2009) beschreibt auch die Aktivierung der o.g. Areale beim Lesen von Comics. Abgeleitet von der Hypothese der Sprachentwicklung des Menschen

von ARBIB (2002) wird postuliert, dass die archaischen Hirnstrukturen durch Comicbilder angeregt werden. Sie helfen von Kindheit an, die Sprache mittels der Kopplung von Gestik und Sprache zu erlernen und im Erwachsenenalter synchron einzusetzen. Vielleicht ist das der Grund weshalb die Comics Kindern dermaßen zugänglich scheinen und von ihnen verhältnismäßig enthusiastisch angenommen werden.

## **II.6. Mismatch-Untersuchungen und Zielsetzung**

Besonderes Augenmerk widmen wir in dieser Arbeit dem Mismatch, also der Erzeugung einer Dissonanz, die im Gegensatz zu der Übereinstimmung von Erwartung und Wahrnehmung steht.

Bei WILLEMS et al. (2007) wurden Sprache und begleitende Gestik in der alltäglichen Kommunikation untersucht. Es entstanden mehrere Konditionen, darunter eine zur Untersuchung von Sprach-Mismatch und eine andere zur Untersuchung von Gestik-Mismatch. Gezeigt wurde, dass die Gestik- und Sprach-Mismatch-Konditionen überlappende Areale aktivierten (siehe Kap. V.2.). Ferner führten diese beiden Mismatch-Konditionen zu einer erhöhten räumlichen Aufmerksamkeit (siehe Kap. V.2. sowie V.5.), einem Prozess, an dem Aktivierungen in parietalen Regionen beteiligt sind (CORBETTA et SHULMAN 2002).

Die Autoren postulierten, dass die Diskrepanzen im Vergleich zum natürlichen Sprach-Gesten-Zustand einer zusätzlichen Verarbeitung und Anforderung bedürfen und somit auch einer erhöhten Hirnaktivität und Aufmerksamkeit. Bei einer Übereinstimmung von Erwartung und Wahrnehmung scheint die Hirnaktivität vergleichsweise reduziert zu sein.

Mismatches in dieser Arbeit wurden durch das Verwenden von nicht passenden Bildern in einer erzählten Geschichte erzeugt. Ferner wurden auch Unstimmigkeiten von Bild und Text erzeugt (siehe Kap. III.2.3.3 und III.2.4.3). Diese Mismatches sind sehr gut geeignet, um aufzuzeigen, in welchem Zusammenhang die Wahrnehmung einer erwarteten Wendung folgt.

So wird in dieser Studie eine erhöhte Aktivität ähnlicher Areale wie beim „regulären“ Lesen von Originalbildern des Comics (Kondition 0 (Kap. III.2.3.1.)) erwartet.

Durch die Ausbildung des Kontrastes Mismatch versus Match eröffnet sich die Möglichkeit, einer verstärkten Aktivierung der Areale, die eine bessere sowie genauere Beurteilung und Beobachtung der neuronalen Pfade ermöglicht.

Diese Eigenschaft der Mismatches wurde auch in der Studie von WU et COULSON (2005) benutzt. Sie stellten durch das Hervorrufen von Mismatches fest, dass unpassende Gesten, gezeigt ohne Rede oder Cartoonbilder, einen negativen ERP-Effekt bei etwa 450 ms im Vergleich zu passenden Gesten zeigten. Darüber hinaus wurde beobachtet, dass unpassende Wörter gefolgt von Cartoon-Gesten-Paaren ein N 400-Effekt hervorriefen.

Zusammenfassend ist das Ziel dieser Arbeit, die Prozesse zu erforschen, die bei erzeugter Dissonanz bzw. erzeugtem Mismatch entstehen. In dieser Arbeit wird erforscht, wie der Comic auf die Probanden wirkt, was zusätzlich passiert, wenn Mismatch erzeugt wird und die Probanden aus der originalen Bildergeschichte herausgerissen werden, also eine Irritation hervorgerufen wird.

Die Bildung von Dissonanzen spielt somit eine wichtige Rolle bei dem Ausbilden eines Kontrastes und der Untersuchung der neuronalen Pfade. Somit erscheint es für diese Studie von enormer Wichtigkeit, den Mismatch genauer zu untersuchen.

Ein weiteres Augenmerk richteten wir auf die Aufmerksamkeitsareale, die räumliche Aufmerksamkeit und deren Rolle, sowie die Top-down-Prozesse, die die kognitiven Einflüsse auf die Wahrnehmung beschreiben. Diese Einflüsse konnten durch schon angeeignetes Vorwissen helfen, die Dissonanzen bzw. Mismatch einzuordnen.

### **III. MATERIAL UND METHODEN**

#### **III.1. Methodische Grundlage**

Die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) hat sich seit den 90er Jahren zu einer der wichtigsten nicht-invasiven Methoden der Hirnforschung entwickelt. Sie gehört zu den Standardverfahren in der Forschung zur Untersuchung der regionalen Funktion des Gehirns in vivo und hat sich gegenüber anderen diagnostischen Verfahren wie z.B. der Positronenemissionstomographie behauptet. Vor allem die hohe zeitliche Auflösung (0,1-1s bezogen auf ein betrachtetes Teilvolumen) und die hohe räumliche Auflösung (ca. 1-4 mm innerhalb einer Schichtebene) gehört zu den Vorzügen der fMRT. Die Aufnahmen sind zudem völlig nicht-invasiv, kostengünstig, es bedarf keines Gebrauches von Kontrastmittel und die Patienten brauchen nur einer geringen Vorbereitung. Darüber hinaus ist man in der Lage, die Funktionen der Hirnareale mittels verschiedener Versuche, welche diese Areale aktivieren, zu erforschen. So entwickelte sich die Methode in kurzer Zeit zu einem der beliebtesten Ansätze für Brain Mapping und Systeme in der kognitiven Neurowissenschaft. Dennoch bleibt sie, durch ihre sehr rechenintensive Auswertung von Messdaten und der komplexen Erfordernisse der Stimulation bislang auf die Forschung beschränkt (DENTRE et al. 2001).

##### **III.1.1 Grundlage MRT**

Das Verfahren der Magnetresonanztomographie (MRT) beruht darauf, die Resonanzsignale zu erfassen. Diese Signale entstehen durch die Stimulierung von Atomkernen durch ein hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld. Diese werden daraufhin mit einem von Null verschiedenen Spin ausgesendet. Im klinischen MRT werden Kerne von Wasserstoffatomen ( $^1\text{H}$ ) verwendet, weil das Wasserstoffatom überall im menschlichen Gewebe vorkommt und daher das ideale Teilchen für die Bildgebung ist. Neben seiner positiven elektrischen Ladung besitzt das Proton noch die Eigenschaft des Spins (engl. „to spin“ = sich drehen). Das Proton dreht sich also um sich selbst wie ein Kreisel. Es handelt sich um eine rotierende Masse  $m$ , die einen Drehimpuls besitzt welcher eine rotierende elektrische Ladung darstellt. D.h. es verhält sich wie ein Magnet und kann von elektromagnetischen Wellen beeinflusst werden. Ein äußeres



Magnetfeld, in der Regel die Schwerkraft, versucht die Spins wie Kompassnadeln entlang des Feldes auszurichten. Die Spins reagieren mit einer Ausweichbewegung, die man Präzessionsbewegung nennt. Diese erfolgt mit einer charakteristischen Frequenz, die Larmorfrequenz genannt wird und sich proportional zur Stärke des Magnetfeldes verhält.

**Die Larmorgleichung lautet:**

$$\omega_0 = \gamma_0 \times B_0$$

$\omega_0$  die Larmorfrequenz in Megahertz

$\gamma_0$  das gyromagnetische Verhältnis, eine Konstante, die für jedes Element einen typischen Wert besitzt- für Protonen ist  $\gamma = 42,58 \text{ MHz/T}$  -,

$B_0$  die Stärke des Magnetfeldes in Tesla

Wirkt jetzt ein starkes äußeres Magnetfeld, kann man Wechselwirkungen beobachten in dem sich die Spins in einem gewissen Winkel parallel oder antiparallel ausrichten. Es kommt zu einer Längsmagnetisierung  $M_z$  in z-Richtung, weil sich die einzelnen Spins addieren und man diese Magnetisierung als schwaches MR-Signal ableiten kann. Mit einer Frequenz, welche der Larmorfrequenz entspricht, wird in das stabile Spin-System durch elektromagnetische Wellen Energie eingebracht, was Resonanzbedingung genannt wird. Die Energiezufuhr regt das Spin-System an, die Spins kippen in Z-Richtung aus und mit ihnen auch die Längsmagnetisierung. Mit Hilfe von Hochfrequenzimpulsen ist man in der Lage die gesamte Magnetisierung  $M_z$  in die xy-Ebene ( $M_{xy}$ ) um  $90^\circ$  zu kippen. Die Bewegung von  $M_{xy}$  induziert eine Wechselspannung: das MR-Signal. Das Signal wird mittels Computer verarbeitet und graphisch dargestellt.

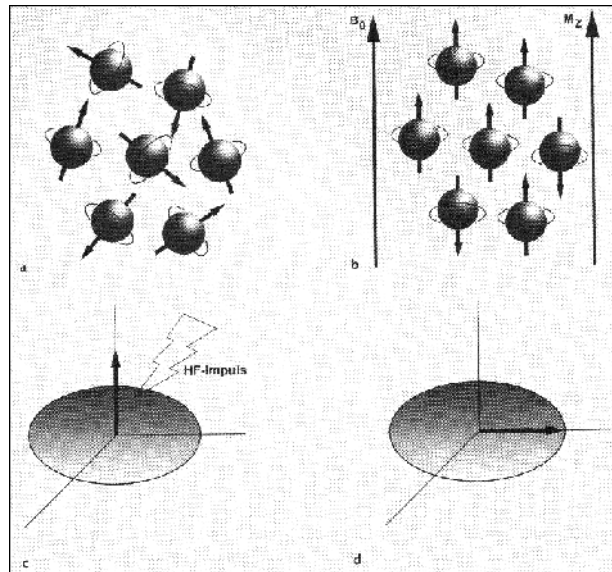


Abb.III.1 (a-d): Verhalten der Spins innerhalb und außerhalb des magnetischen Feldes. a) Rotation des Spins um ihre eigene Achse in beliebiger Richtung ohne magnetisches Feld. b) Ausrichtung der Spins parallel oder antiparallel zum Hauptmagnetfeldes  $B_0$ . c) Auslenkung des Vektors um genau  $90^\circ$  durch RF (HF)- Impuls, wodurch die Längsmagnetisierung von  $M_z$  in  $M_{xy}$  umklappt und als Transversalmagnetisierung vorhanden ist (d).

#### III.1.1.1 Relaxation

Die Magnetisierung in  $xy$ -Ebene nennen wir Transversalmagnetisierung. Wird der Hochfrequenzimpuls abgestellt, kehrt das System auf zwei unabhängigen Wegen durch die T1 longitudinale Relaxation und die T2 vertikale Relaxation in den stabilen Ausgangszustand vor der Anregung zurück. T1 beschreibt die Zeit, die das Spin-System (63% der Protonen) braucht, um in die  $z$ -Richtung zurückzukippen. Damit verbunden ist eine Abgabe von Energie an die Umgebung (das „Gitter“, auch Spin-Gitter-Relaxation genannt). Außerdem ist sie abhängig von der Gewebestruktur in der die gegebenen Protonen sind. T2 beschreibt eine transversale Relaxation, also die Abnahme des Gesamtmagnetisierungsvektors in der transversalen Richtung (Quermagnetisierung) zum Hauptmagnetfeld. Der Quermagnetisierungsvektor ist einerseits von der Anzahl von Protonen abhängig, welche noch in synchronisierter Phase um die Hauptmagnetfeldachse präzidieren: Je mehr dieser Protonen, desto größer der Quermagnetisierungsvektor. Andererseits besteht eine Abhängigkeit mit der Inhomogenität des Hauptmagnetfeldes, woraus unterschiedliche Präzessionsfrequenzen resultieren und mit der

Beeinflussung der einzelnen Spins untereinander. Deshalb wird T2 auch Spin-Spin-Relaxation genannt.

Der Bildkontrast im MR-Bild hängt von drei Parametern eines Gewebes ab. Als erstes von der Protonendichte, d.h. von der Anzahl anregbarer Spins pro Volumeneinheit. Man kann die Bilder protonenwichten indem man den Einfluss der T1- und T2-Parameter gering hält. Als zweites beeinflusst die T1-Zeit eines Gewebes indirekt die Signalintensität, womit der Bildkontrast variiert werden kann. Dominiert die Kontrastbestimmung durch T1, so sprechen wir von einem T1 gewichteten Bild. Als drittes spielt die T2-Zeit eine Rolle. Sie bestimmt das Abklingen des MR-Signals nach einer Anregung. Dominiert in der Kontrastbestimmung T2, so sprechen wir von einem T2 gewichteten Bild.

Das MRT ermöglicht es, Bilder mit unterschiedlichem Gewebe-zu-Gewebe-Kontrast durch die variierende Protonendichte, die T1 und T2 Relaxationszeiten, ohne Verwendung von Kontrastmittel, entstehen zu lassen. Für die Entstehung der MR-Bilder, müssen einzelne Schichten mehrere Male angeregt werden. Die zwischen zwei Anregungen der einen Schicht abgelaufene Zeit, wird Repetitionszeit genannt und beeinflusst den T1-Kontrast. Ist diese kurz gewählt, beeinflusst T1 den Bildkontrast im Wesentlichen. Das Bild erscheint dann hell, wenn das Gewebe eine kurze T1 hat, umgekehrt erscheint das Bild dunkler, wenn das Gewebe eine lange T1 hat. Ist die TR-Zeit lang gewählt, nimmt die T1-Gewichtung und damit der T1-Einfluss auf den Bildkontrast ab. Bei einer MR-Messung müssen verschiedene Gradientenspulen ein- und ausgeschaltet werden, um Magnetinhomogenitäten zu bewirken und die T2-Effekte zu verstärken. Die angeregten Spins werden außer Phase gebracht und zerstören damit das MR-Signal. Als Echozeit wird dann die Zeit bezeichnet, die man nach der Anregung bis zur Wiederherstellung des MR-Signals misst. Analog zur TR-Zeit und der T1-Gewichtung, ist auch die TE-Zeit für die T2-Gewichtung bestimmend. Wählt man diese kurz, ist die T2 Gewichtung gering, wählt man diese lang, ist die T2 Gewichtung stark. Gewebe mit kurzem T2 erscheinen auf T2-gewichteten Bildern dunkel, umgekehrt erscheinen Gewebe mit langem T2 auf T2-gewichteten hell. Die Gewinnung von anatomischen Hirnschnitten dauert mehrere Minuten. Will man eine Messung noch schneller zu Ende bringen, wurden folgende Techniken entwickelt, wie z.B. die Fast-Spinecho (FSE)-Sequenzen, die Single-Shot-Fast-Spin-Echo (SSFSE)-Sequenz, die Turbo-Inversion-Recovery (Fast STIR)-Sequenzen, die Gradientenecho (GRE)-Sequenzen, die

Hybridsequenz, Gradient and Spin Echo (GRASE)-Sequenz, die Spiralsequenz oder die Echoplanare (EPI)-Sequenz (WEISHAUPT et al. 2006).

#### III.1.1.2 Echoplanare (EPI)-Sequenzen

Um die Geschwindigkeit der Aufnahme-Erstellung zu erhöhen, wird für das fMRT häufig die Echo-Planar-Imaging-(EPI)-Technik benutzt. Auch in dieser Studie wurde diese Technik angewandt, da sie es erlaubt, die Aufnahmen bei einer relativ hohen räumlichen Auflösung schneller zu gewinnen. Darüber hinaus kann man für jedes einzelne Raumelement oder Voxel den Signalverlauf verfolgen. Zwei Sequenzen werden unterschieden, die Spinecho und die Gradientenecho-Sequenz. Beim letzteren wird dem MR-Magnetfeld - zum Verstärken der Inhomogenität in der zu untersuchenden Schicht - ein zweites Feld an Stelle des refokussierenden 180°-Pulses geschaltet, sodass die Protonen schneller dephasieren. Das Echo entsteht so durch repetitive Hin- und Herschaltung des Frequenzgradienten, dem sogenannten Echozug, der aus bis zu 128 Echos bestehen kann. Ein Bild mit der Auflösung von 256x128 kann mit einer Anregung („Single-Shot“) in 70ms aufgenommen werden, was bedeutet, dass 16 Bilder pro Sekunde entstehen. Neben diesen Vorteilen hat die EPI-Methode einige Nachteile. So ist der Bildkontrast oft recht gering, geometrische Verzerrungen und Artefakte treten auf, bis hin zur Signalauslöschung der MR-Bilder durch das wiederholte Schalten des Frequenzgradienten. Außerdem stellt die Methode hohe Anforderungen an die Hardware (WEISHAUPT et al. 2006).

#### III.1.1.3 Aufbau eines MRT

Ein MRT besteht aus folgenden Komponenten (siehe Abb. III.2)

- Starker Magnet, der das stationäre  $B_0$  Magnetfeld erzeugt
- Gradientenspulen+Verstärker in x-, y- und z-Richtung
- Hochfrequenzsender mit Sendespule
- Hochfrequenzempfänger
- Weitere Spulen
- Steuercomputer, Rekonstruktionscomputer und Hauptcomputer um alles koordinieren zu können.

- Weitere Hilfsgeräte wie Steuerung des Untersuchungstisches, EKG- und Atmungsmonitor zur entsprechenden Steuerung der Sequenzen, Kühlanlagen für den Magneten, eine zweite Bearbeitungskonsole, Filmbelichter oder ein PACS (WEISHAUPT et al. 2006).

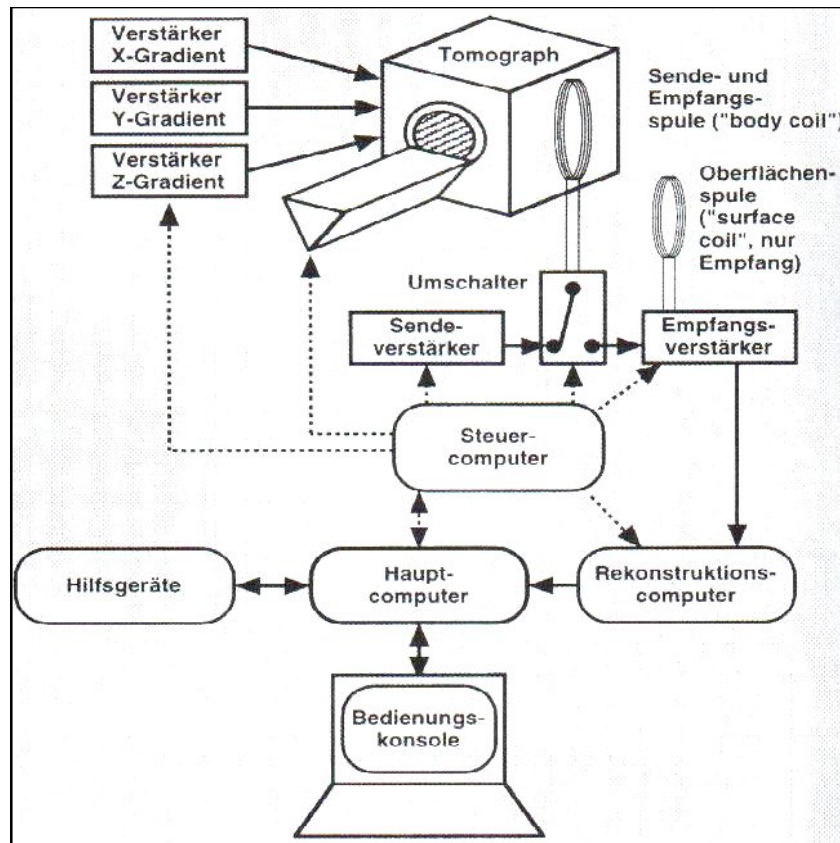


Abb III.2: Schema eines MR-Gerätes mit seinen Komponenten.

#### III.1.1.4 BOLD- Kontrast

Die funktionelle Magnetresonanztomographie kann Aussagen über die Funktion gewisser Hirnregionen, z.B. ob diese aktiviert oder inaktiviert sind, machen. Das passiert auf der Basis hämodynamischer Prozesse, dem sogenannten BOLD-Effekt (Blood Oxygenation Level Dependent). Wie schon in der Einleitung besprochen, wurde der BOLD-Effekt von OGAWA et al. (1990) beschrieben. Danach besteht Blut aus oxygenierten und desoxygenierten Hämoglobin, welches durch die verschiedenen Zustände unterschiedliche magnetische Eigenschaften aufweist. Das Oxyhämoglobin ist diamagnetisch, weil alle Elektronen gepaart sind. Es hat keinen

Einfluss auf das MR-Signal im Gegensatz zum Desoxyhämoglobin, welches ungepaarte Elektronen in der äußeren Elektronenschicht aufweist und aus diesem Grund paramagnetische Eigenschaften besitzt (PAULING 1935). Erhöht sich die lokale Konzentration von Desoxyhämoglobin, führen die dadurch entstandenen Suszeptibilitätsänderungen zu lokalen Feldinhomogenitäten, dies bringt den Zerfall der Quermagnetisierung angeregter Spins in Gang und verursacht eine Signalminderung. Daher kann Desoxyhämoglobin als körpereigenes Kontrastmittel fungieren. Die Konzentration des Desoxyhämoglobin ist demnach ein Marker für die Aktivität der entsprechenden Hirnregion.

Die neurovaskuläre Kopplung spielt eine grundlegende Rolle in der funktionalen MRT-Diagnostik. Die Grundlage dafür legten ROY et SHERRINGTON 1890 in ihrer Studie über die Regulierung der Blutversorgung des Gehirns. Sie postulierten, dass der relative zerebrale Blutfluss (rCBF) sich den metabolischen Anforderungen der neuronalen Aktivität anpasst. Wird eine bestimmte Hirnregion stimuliert, erhöhen sich der Stoffwechsel und der Sauerstoffverbrauch, es kommt zur Freisetzung von Substanzen, die zur Dilatation der regionalen Gefäße führen. Durch den erhöhten Sauerstoffverbrauch der Neurone, steigt auch die Desoxyhämoglobinkonzentration in den umliegenden Blutgefäßen an. Zur optimalen Versorgung der aktivierten Region mit dem erhöhten Sauerstoffbedarf, steigt der relative zerebrale Blutfluss an. Der Anstieg des Blutflusses führt zum Einfluten von sauerstoffreichem Blut und Auswaschen von sauerstoffarmem Blut, was wiederum zur Senkung der Desoxyhämoglobin-Konzentration führt.

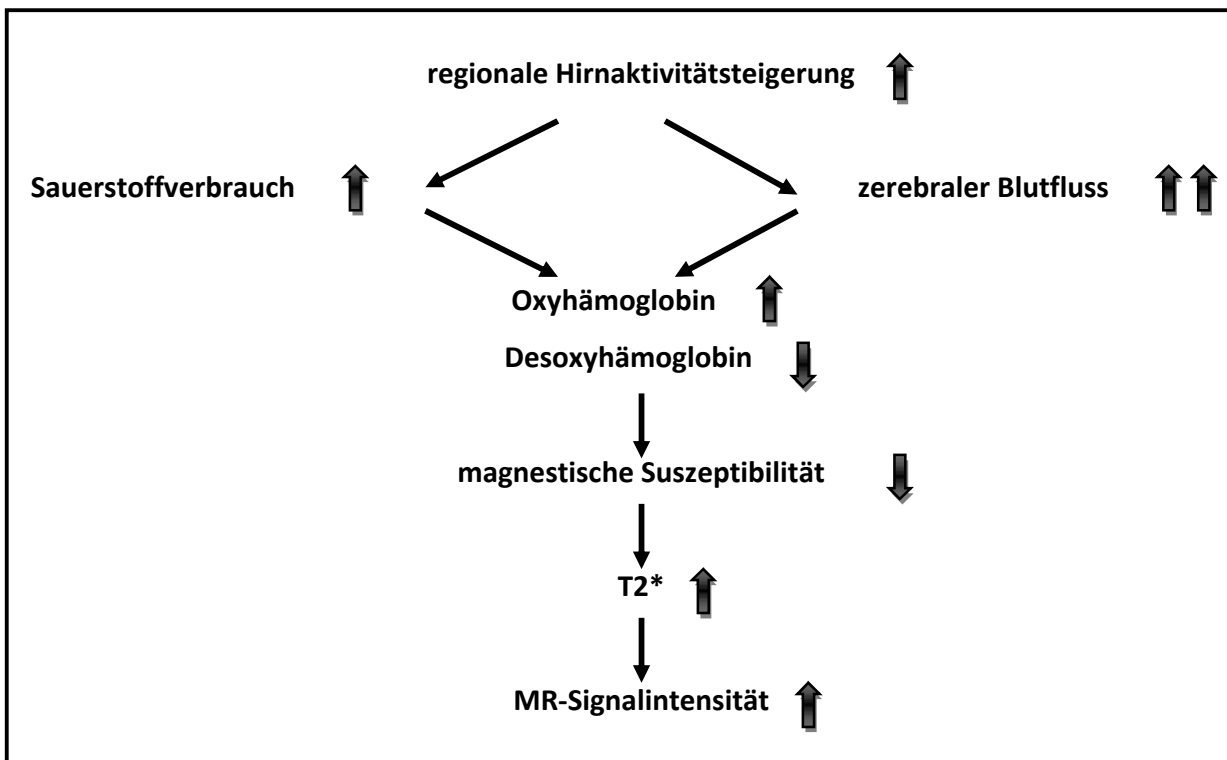


Abb. III.3: Schema der hämodynamischen Antwort auf die neuronale Aktivität und ihren Einfluss auf das MR-Signal.

Die BOLD-fMRT ist eine indirekte Messung neuronaler Aktivität, denn durch erhöhte Konzentrationen des Desoxyhämoglobin in Blutgefäßen kommt es zum Suzeptibilitätsunterschied zwischen Blutgefäßen und dem umgebenden Gewebe. Dadurch entsteht eine Dephasierung des Protonen-MR-Signals und eine Reduktion der T2\*-Zeit. Diese T2\*-gewichteten Aufnahmen haben weniger Signal in Voxel mit Blutgefäßen, d.h. sie erscheinen dunkel. Die Änderungen der Oxygenierung sind demnach beobachtbar als Signaländerungen in T2\*-gewichteten Aufnahmen. OGAWA et al. (1990a, 1990b) konnte nachweisen, dass Veränderungen der Blutoxygenierung Kontrastveränderungen bewirken (BOLD-Effekt) und die lokale Oxygenierung des Blutes der wesentliche Parameter zur Beeinflussung der Signalintensität ist. Der BOLD-Effekt folgt einem zeitlichen Verlauf, der sogenannten hämodynamischen Antwort. Die BOLD-Antwort (Response) beginnt ca. 2 Sekunden nach Stimulierung mit einer Abnahme des MR-Signals („initial dip“). Als zweites folgt die Progression mit dem maximalen Anstieg nach ca. 4-6 Sekunden, je nach Stimulusqualität und

Stimulationsdauer. Dem schließt sich ein Plateau an und nach 10 bis 12 Sekunden kehrt das Signal zurück auf das Ruheniveau (OGAWA et al. 1998).

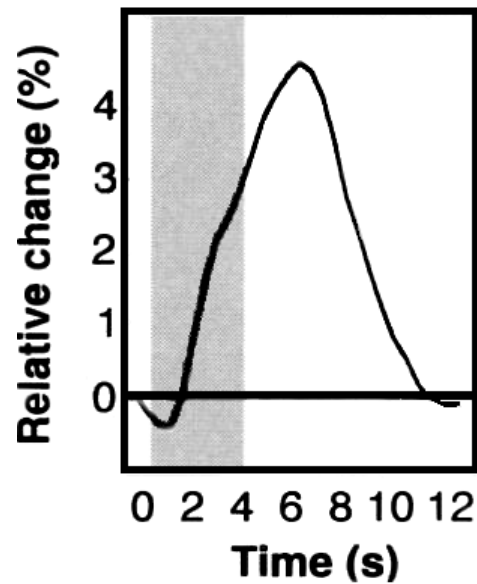


Abb. III.4: Der durchschnittliche zeitliche Verlauf (x-Achse) für die relative Änderung in Prozent (y-Achse) der Mapping-Signale auf ein Stimulus (grau hinterlegter Balken) für Desoxyhämoglobin.

### III.1.2 Messdatenverarbeitung

Zur Verarbeitung der Messdaten unserer Probanden und zum Erstellen der neurofunktioneller Bilder mussten die Datensätze komplexe mathematische Verfahren durchlaufen:



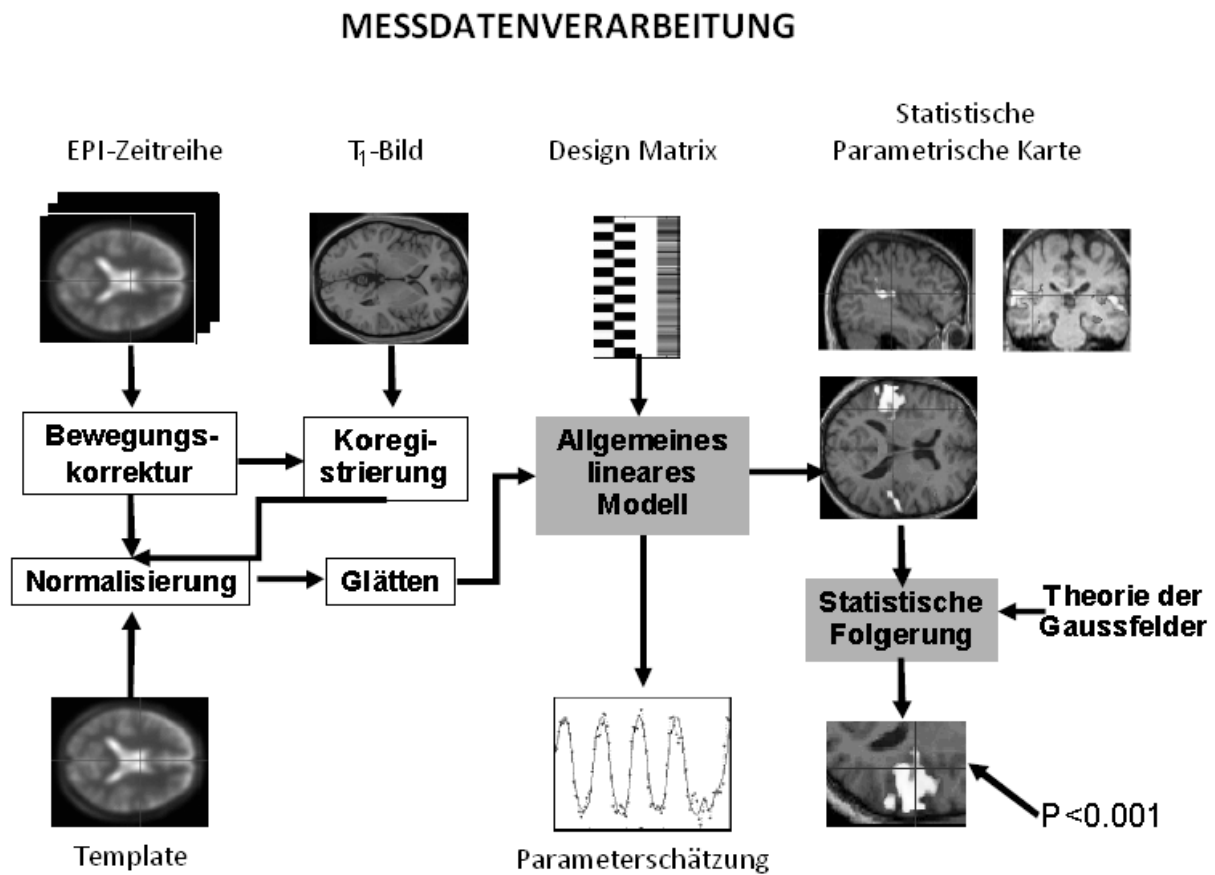


Abb. III.5: Schematisierung der fMRT-Messdatenverarbeitung.

### III.1.2.1 Bewegungsartefakte und Realignment

Da es unmöglich ist, sämtliche Kopfbewegungen der Probanden während der fMRT-Datenakquisition zu unterdrücken, werden die Datensätze im Vorverarbeitungsschritt einer Bewegungskorrektur, auch Realignment genannt, unterzogen. Durch Drehung und Verschieben, d.h. durch „Rigid-body“-Transformation, bewirkt diese, dass jedes Einzelbild der EPI-Zeitserie auf z.B. das erste Bild der Serie reorientiert wird (FRISTON et al. 1996; JENKINSON et al. 2002). Jedes EPI-Bild der Zeitserie wird einander anhand von sechs Parameter angepasst, durch die Translationen in den drei Raumrichtungen und Rotationen in die drei Raumachsen.

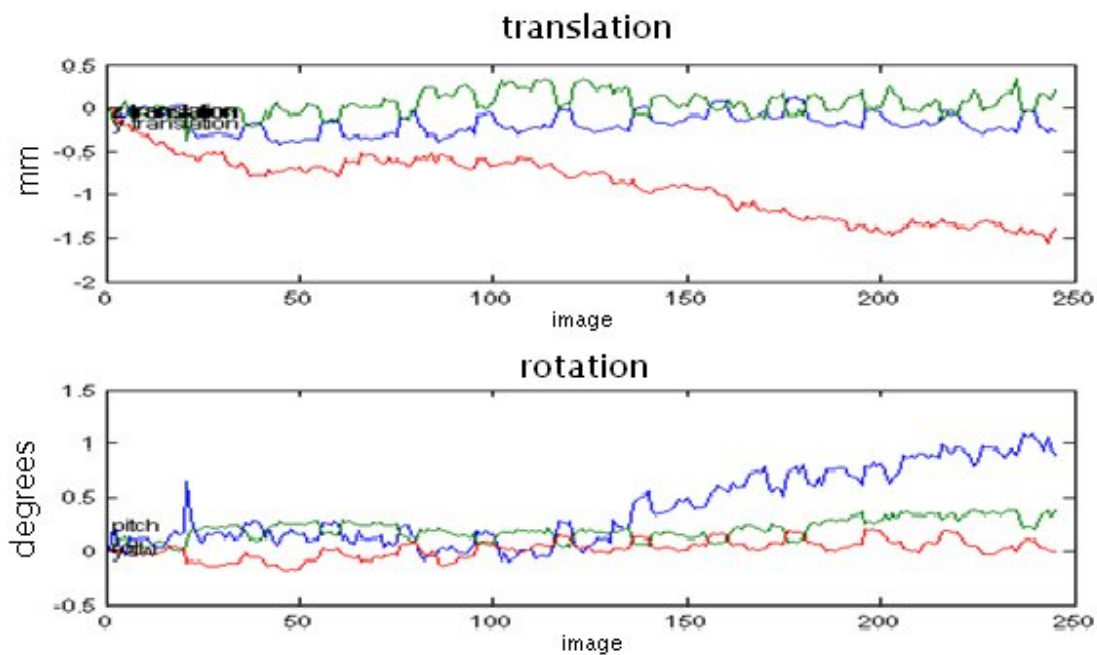


Abb. III.6: Graphische Darstellung einer Bewegungsartefaktkorrektur, durch Translation in 3 Richtungen und Rotation in 3 Raumachsen.

#### III.1.2.2 Slice time correction

Als nächstes folgte eine Slice time correction, diese bewirkt eine Korrektur der unterschiedlichen Akquisitionszeiten von EPI-Schichten und wird in der Regel nach der Bewegungskorrektur durchgeführt. Sie bewirkt eine Verschiebung (Phasenkorrektur) des Zeitsignals einer Schicht zu einer Referenzschicht.

#### III.1.2.3 Koregistrierung

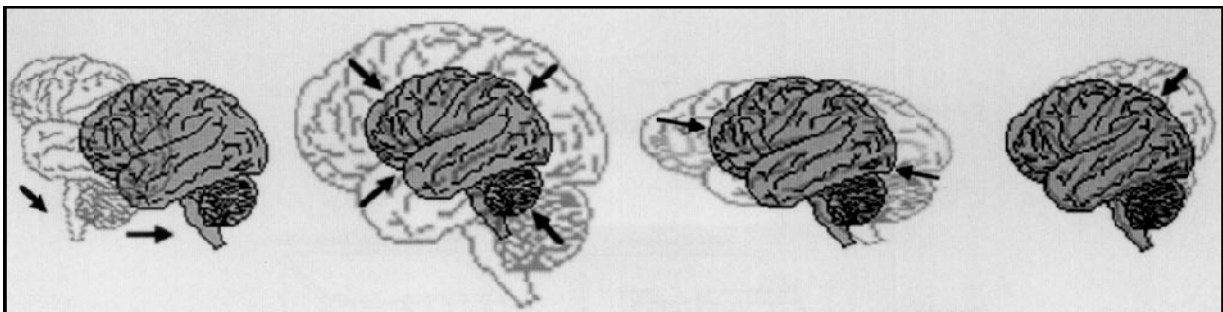
Das Koregistrieren ist laut WOHLSCHLÄGER et al. (2007) in seiner Abhandlung über die Datenanalyse definiert als Bezeichnung für den räumlichen Abgleich von Volumenaufnahmen desselben Probanden mit unterschiedlichen Bildgebungsmodalitäten. Die Methode der „mutual information“ nach WELLS et al. (1996) kommt zum Tragen. Sie ermöglicht es, die Aktivierungen in einen jeweiligen Hochauflösungsvolumen (T1-Highres) darzustellen.

#### III.1.2.4 Normalisierung

Um einen voxelbasierten Vergleich von Aktivierungsmustern in den Gehirnen einzelner Probanden vollziehen zu können, wurde eine Normalisierung durchgeführt. Dabei werden identische anatomische Strukturen verschiedener Probandengehirne aufeinander abgebildet. Die Strukturen des anatomischen Raums werden einem standardisierten Raum z.B. dem Talairach-Tournoux-Raum (TALAIRACH et TOURNOUX 1988) oder dem MNI-Template, zugeordnet.

In dieser Studie erfolgte die Transformation der akquirierten Daten in das Montreal-Neurological-Institute (MNI)-Template als „Standardhirn“. Dabei handelt es sich um ein in ein Koordinatensystem eingebundenes Referenzhirn. Das sogenannte Standardhirn wurde aus 152 MRT-Aufnahmen von Probanden erstellt und ermöglicht einen Vergleich in einer Gruppenanalyse (MAZZIOTTA et al. 1995). Es entspricht eher einem Durchschnittshirn als dem von TALAIRACH und TOURNOUX (1988) definierten Gehirn. Diese benutzten nämlich das Gehirn einer einzigen Person um ihren Atlas zu erstellen. Sie definierten den Talairach-Raum durch die Commissura anterior (CA) und Commissura posterior (CP), die einzelnen Koordinaten sind in Millimetern von der CA aus vergeben.

Um die EPI-Daten in den Standardraum zur Gruppenauswertung zu transformieren, erfolgt eine Anpassung über lineare Transformation (mittels Translation, Rotation, Skalierung, Scherung) im Anschluss können noch weitere nichtlineare Transformationen (Anpassung über Deformierung) durchgeführt werden (ASHBURNER et FRISTON 1999). Nach der Transformation der Daten entsprach die Voxelgröße  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ .



*Abb.III.7: Graphische Illustration von Deformationen. Von reiner Positionierung bis zu lokalen Deformationen, die regional die Form des Datensatzes verändern.*

#### III.1.2.5 Smoothing (Glättung)

Als letzten Schritt in der Vorverarbeitung unserer Daten benutzen wir die Methode der Glättung (Smoothing), um das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern. Notwendig macht diese Verarbeitung die Gegebenheit, dass die durch Durchblutungsänderungen verursachten Helligkeitsänderungen nur wenige Prozent ( $< 5\%$ ) der Helligkeit ausmachen. Aber auch das Rauschsignal verändert die Bildhelligkeit und kann so aktivierte Areale vortäuschen. Um dieses Rauschsignal zu vermindern, werden die EPI-Bilder einer räumlichen Glättung unterzogen (WORSLEY 2001). Jedes Voxel wird mit dem der benachbarten Voxel verrechnet und jeder einzelne Betrag wird durch eine dreidimensionale Gauss-Funktion mit 8 mm Halbwertsbreite (FWHM: „Full Width at Half Maximum“) bestimmt. Benannt ist dieser Vorgang als Faltung mit einem Gauss-Kern. Dieser Vorgang kann die Sensitivität der anschließenden statistischen Analyse erhöhen.

#### III.1.2.6 Statistische Auswertung

In dem letzten Vorverarbeitungsschritt muss ein Studien-Design entworfen worden sein, welches die Anzahl von unterschiedlichen Bedingungen und deren genauen zeitlichen Verlauf definiert, denn die hämodynamische Antwort auf einen Stimulus ist um ca. 2 bis 6 Sekunden verzögert. Diese Verzögerungen müssen in den mathematischen und statistischen Berechnungen berücksichtigt werden. Mittels des statistischen Programms ALM (allgemein lineares Model) wird dann geprüft, ob ein gemessenes Signal in einem Voxel tatsächlich reagiert (wenn ja auf welchen definierten Stimulus) oder nicht reagiert. Für jedes Voxel wird eine Statistik durchgeführt und als sog. *statistic parametric map* (SMP) dargestellt. Deshalb ist es von enormer Wichtigkeit, dass zur Erstellung der dreidimensionalen statistischen parametrischen Aktivierungskarte das allgemeine lineare Modell mit dem hämodynamischen Modell integriert wurde.

Die fMRT basieren auf linearen statistischen Modellen. Diese beinhalteten verschiedene statistische Test wie z.B. den t-Test, ANCOVA (Analyse of variance) oder Korrelationskoeffizienten. Die Daten werden mittels ALM in unterschiedliche Varianzanteile zerlegt und miteinander verglichen (FRISTON et al. 1995). Um typische Artefakte bei der

Verarbeitung zu reduzieren werden Hochpassfilter für niedrig frequente Schwankungen mit ca.7-8 mHz benutzt.

Die Datensätze wurden zuerst für die einzelnen Probanden ausgewertet, anschließend mittels „Random-effects“-Analyse auf Gruppenebene untersucht, um eine Generalisierbarkeit herzustellen. Voraussetzung dafür ist die Normalisierung der EPI-Bilder (siehe Kapitel III.1.2.4).

Die signifikanten Aktivierungsareale in Voxel, die mit einem Schwellenwert von  $p < 0,05$  korrigiert wurden, wurden anhand farblich kodierten SPM graphisch dargestellt, anschließend mittels Standard-Template den anatomischen Arealen zugeordnet und konnten so mit der schon bekannten Literatur über diese Areale verglichen werden (WOHLSCHLÄGER et al.2007).

## III.2 Spezielle Untersuchung

### III.2.1 Probanden

An der Studie nahmen dreiundzwanzig gesunde Probanden (12 Frauen und 11 Männer) im Alter zwischen 20 und 32 Jahren (Mittelwert: 24,08; Standardabweichung: 3,41) freiwillig teil. Bei allen Probanden handelte es sich um deutschsprachige Rechtshänder, die jegliche neurologische oder psychiatrische Erkrankungen verneinten. Es erfolgte eine ausführliche Aufklärung jedes Probanden über Zweck, Inhalt und Ablauf der Studie.

### III.2.2 Stimuli

Unsere Untersuchungen sollen sich auf die Literaturform Comic beziehen. Diese Form verbindet: Bilder und Texte in einem, die teils in direkter teils in indirekter Rede verfasst sind. Die Aufgabe war, ein Comic zu finden, welches unsere Probanden in die Lektüre einbezieht und in dem Emotionen und Handlungen ohne Schwierigkeiten nachvollzogen werden konnten. Nach sorgfältiger Überlegung wurde das folgende Asterix-Comic-Heft ausgewählt:

***Asterix und Maestria, Band 29, R. Goscinny, A. Uderzo,***

***Egmont Ehapa Verlag GmbH, Berlin, 2001***

Wir entschieden uns für einen Asterix-Comic, da „Asterix“ eine breite Leserschaft durch alle Altersgruppen und soziale Schichten anspricht und daher weltweit bekannt ist. Auch unseren Probanden waren die Hauptfiguren schon bekannt, so dass sie bereits einen Bezug zu der Geschichte hatten. Aus diesem Grund konnten sie dieser besser folgen und – trotz der eingebauten Veränderungen (siehe Konditionen 0-3) – den Sinn der Geschichte nachvollziehen konnten. Zu den Vorzügen der Asterix-Comics gehört, dass sie ihre Leser fesseln, zum Beispiel durch Anspielungen auf moderne Ideen oder Gegenstände, die als humoristisches Element eingebracht werden. Außerdem sind die Comics mittels üblicher sozialer Klischees satirisch überzeichnet, vor allem wenn es um die Geschlechterrollen, den Generationskonflikt oder den Konflikt zwischen Land- und Stadtbevölkerung geht. Es werden auch moderne Probleme

karikiert, die zusätzlich das Interesse auch Erwachsener wecken. Natürlich darf man auch die „Running Gags“ nicht vergessen, welche sich wie ein roter Faden durch die ganze Serie der Bücher ziehen und den typischen Humor ausmachen. Die unterschiedlichen Charaktere und ihre Handlungen sind amüsant dargestellt, aber dennoch gewissermaßen in unsere reale Welt übertragbar. Als Schlussfolgerung haben wir uns daher für „Asterix“ entschieden, da wir darin die beste Möglichkeit sahen, anhand dieses Materials verschiedene Konditionen zu erstellen, ohne dass der Sinn der Geschichte und die Konzentration am Gelesenen abhanden kommen.

Für den Band 29 „Asterix und Maestria“ sprach eine interessante, amüsante, spannende Geschichte, die den Leser bis zum Ende fesselt.



*Abb.III.8: Titelseite von „Asterix und Maestria“. In diesem Abenteuer bekommt es Asterix mit geballter Frauenpower zu tun, sowohl in den eigenen als auch in den römischen Reihen. Die Bardin Maestria soll Troubadix bei der Ausbildung der Kinder des Dorfes ersetzen, zugleich sendet Caesar eine Frauenzenturie nach Gallien in der Hoffnung, dass die gallische Höflichkeit einen Widerstand unmöglich macht. Die Bardin führt zunächst die Frauen des Dorfes zur dortigen Machtübernahme, sabotiert dann aber geschickt den Angriff der römischen Legionärinnen mit den Waffen einer Frau. Männer und Frauen versöhnen sich, so dass wieder Ruhe im Dorf einkehren kann. Diese Geschichte nimmt den Feminismus aufs parodistische Korn. (nach <http://www.römer.de/index.php/Asterix>)*

### III.2.3 Verarbeitung des Comicheftes

Zunächst wurde das ganze Comicheft in insgesamt 44 Seiten und in Einzelbilder getrennt, so dass eine Comicseite 8-10 Bilder ergab. Diese wurden je nach Konditionen mittels Bildverarbeitungsprogramm bearbeitet. Dazu benutzten wir das Programm Adobe®Photoshop® Version 7.0 und Microsoft Paint. Verändert wurden die Bilder konditionsabhängig wie im Folgenden beschrieben.

#### III.2.3.1 Originalbilder (Kondition 0)

Diese Bilder wurden im Original belassen und zerlegt. Bei Bildern mit mehr als einer Sprechblase wurde der Inhalt der folgenden Blasen entfernt und das selbe Bild nochmals mit der im vorigen Bild gelösten Blase gezeigt. Dies ermöglichte uns, die Reaktion der Probanden auf die einzelne Sprechblase und somit auf die „sprechende“ Comicfigur zu registrieren.

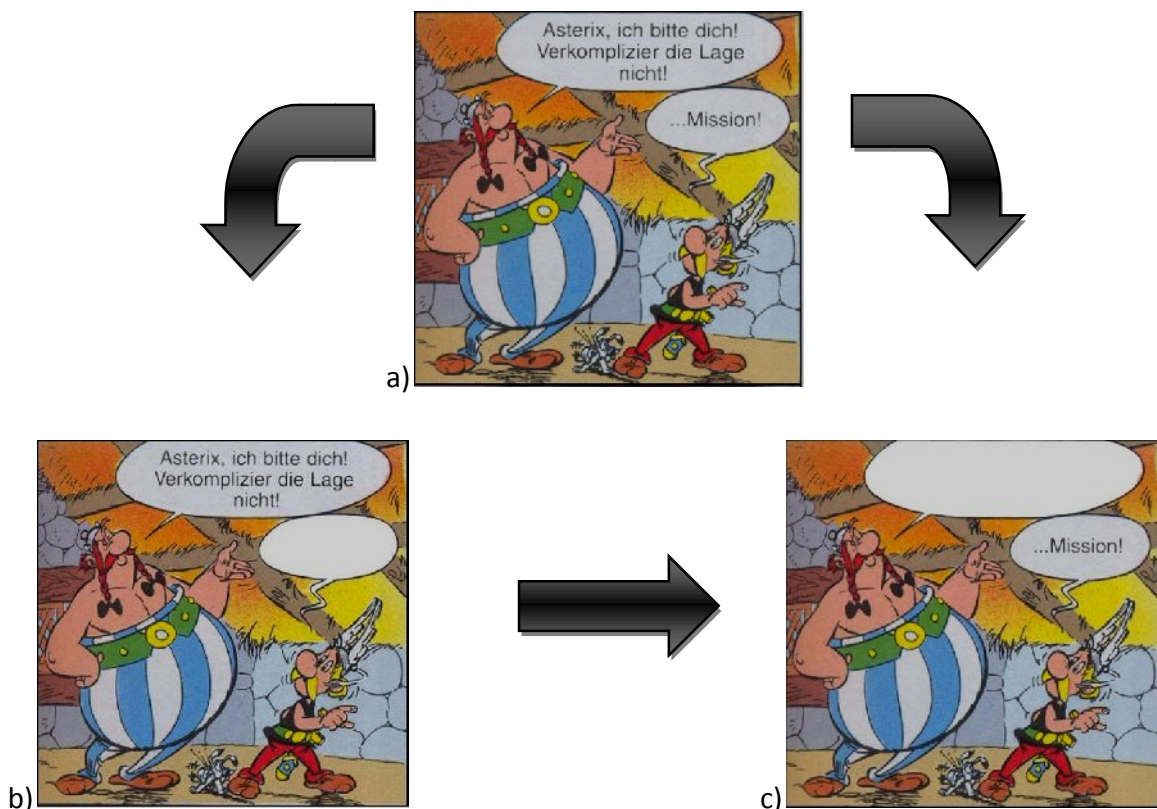


Abb. III.9 (a-c): Darstellung der Verarbeitungsschritte für die Kondition 0. Originalbild a) wurde in Bild b) und c) verarbeitet.



### III.2.3.2 Originalbilder mit Zufallstext in den Sprechblasen (Kondition 1)

Der Originaltext wurde aus den Sprechblasen entfernt und mit einem Zufallstext ohne Bedeutung ersetzt. Die Zufallstexte wurden mittels „LabView“ in einem Text zu einem „bunten Buchstabensalat“ randomisiert. Dieser wurde so entworfen, dass die Probanden keine Wörter mehr erkennen und sich auf die Bildergeschichte konzentrieren.

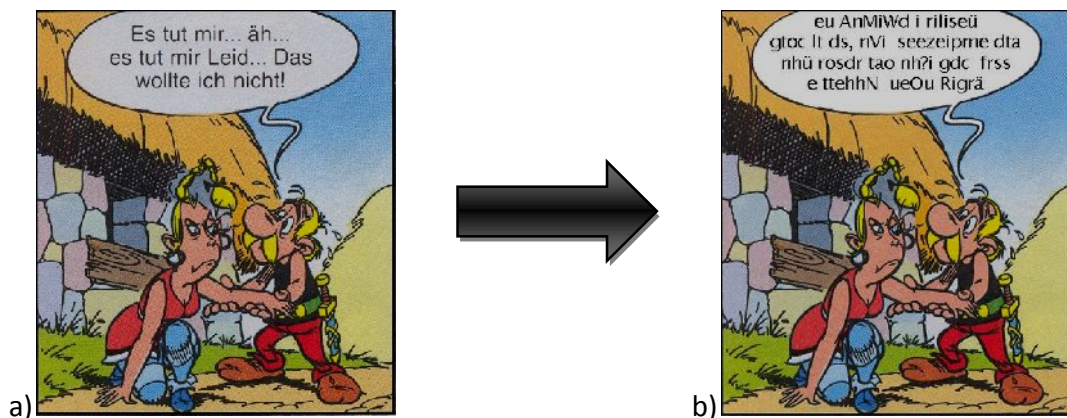


Abb. III.10: Darstellung der Bearbeitungsschritte für die Kondition 1. Verarbeitung des verständlichen Sprechblasentextes des Originalbildes a) in unverständlichen „Buchstabensalattext“ mit Originalbild b)

### III.2.3.3 „Fremde“ Bilder aus anderen Asterixbänden mit originalem Erzähltext aus Asterix und Maestia verbunden (Kondition 2)

Die Bilder eines anderen „fremden“ Comicbandes wurden genutzt und darauf geachtet, dass die Bilder sehr kontrovers zu den Originalbildern aus „Asterix und Maestia“ waren. Der Text- wie auch der Bildinhalt wurde durch gelb hinterlegten Erzähltext in das neue „fremde“ Bild anstatt des Originalbildes eingefügt. In dieser Kondition war es uns wichtig, wie der Proband auf die fremden und zur Geschichte nicht passenden Bilder reagiert und der Geschichte dennoch mithilfe des Textes folgen kann.



Abb. III.11 (a-b): Darstellung der Verarbeitungsschritte für die Kondition 2. Der Bild- und Textinhalt aus dem Originalcomicbild aus Asterix und Maestria (a) wurde in indirekte Rede verarbeitet und als gelb hinterlegter Balken in ein fremdes Asterix-Comicbild eingefügt (b). Dieses bearbeitete Bild b) wurde dann anstatt des Bildes a) in die Projektionssequenz eingesetzt.

#### III.2.3.4 Originalbilder mit Erzähltext (Kondition 3)

Der Sprechblaseninhalt aus den Originalbildern wurde gelöscht und wie bei c) in einen Erzähltext umformuliert. Mittels eines gelb hinterlegten Kästchens wurde der in indirekte Rede umformulierte Sprechblaseninhalt eingefügt. Die Fragestellung war der Unterschied zwischen Sprechblasenerzählung und Erzählung in indirekter Rede.

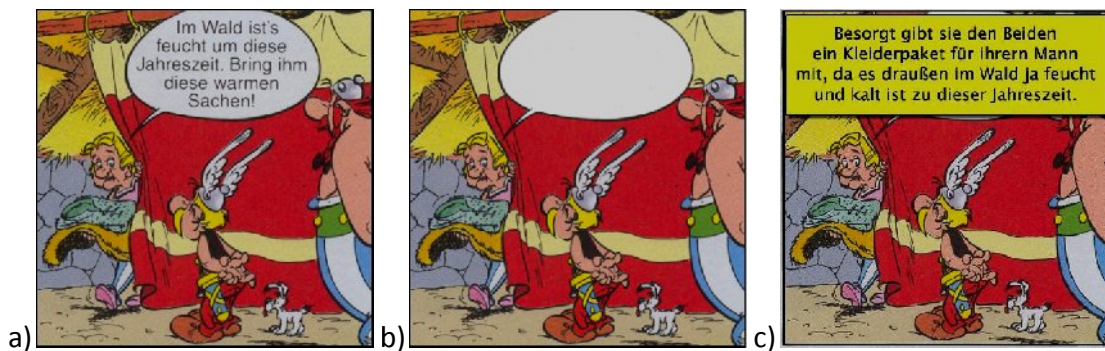


Abb. III.12 (a-c): Bearbeitung der Bilder für die Kondition 3. Visualisierung der Verarbeitung eines Originalcomicbildes aus Asterix und Maestria (a) über die Entfernung des Textes aus der Sprechblase (b) bis hin zum Erstellen des Erzähltextes und dem Einfügen in den gelben Balken (c) ins Originalbild.

### III.2.4 Experimentelles Paradigma

Mit Hilfe der funktionellen Bildgebung sollten die kognitiven Verarbeitungsprozesse in Bild- und Textsequenzen in Comics erforscht werden. Hierfür entwarfen wir folgende Konditionen und die mit ihnen verknüpften Fragestellungen:

#### III.2.4.1 Kondition 0 (Originalbilder)

Wie in Kapitel III.2.3.1. dargestellt, bekam der Proband einen nur minimal veränderten Comic zu lesen. Die Veränderung wurde durchgeführt, damit der Proband in den Einzelbildern immer nur eine mit Inhalt gefüllte Sprechblase lesen konnte und eine Zuordnung zu der bestimmten Comicfigur mit dem von ihr „gesprochenen“ Inhalt möglich wurde. Auf diese Weise konnte eine Reaktion der Probanden auf männliche oder weibliche Figuren beobachtet werden. Dieser Aspekt wird in einer zweiten Arbeit genauer studiert. Diese untersucht die verschiedenen Reaktionen der männlichen Probanden auf jeweils männliche und weibliche Figuren und vergleicht die Ergebnisse mit der Reaktion der weiblichen Probanden auf jeweils männliche und weibliche Figuren.

#### III.2.4.2 Kondition 1 (Originalbilder mit Zufallstext)

Die Bilder des Original-Comicbandes wurden beibehalten, jedoch wurde der Originaltext aus den Sprechblasen entfernt und durch einen Zufallstext, der keine Bedeutung hat, ersetzt (siehe Kapitel III.2.3.2). Der Entwurf dieser Kondition bezweckte das Nichterkennen der Wörter und die Fokussierung auf die Bildergeschichte. Die Fragestellung war, ob ein Unterschied zwischen dem Verfolgen des Sinnes der Geschichte anhand von Bild und Text sowie dem Verfolgen der Geschichte nur mittels Bildsequenz besteht.

#### III.2.4.3 Kondition 2 („Fremde“ Bilder)

In dieser Kondition, die für diese Studie vordergründig ist, wurden die in der Geschichte von „Asterix und Maestria“ aufeinander folgenden Bilder nur in Textform beschrieben. Dieser Text wurde in ein „fremdes“ Bild als Text auf einem gelb hinterlegten Balken eingearbeitet, um den Sinn der Geschichte weiterverfolgen zu können. Diese „fremden“ Bilder stammen aus anderen Asterix-Bänden und waren so ausgewählt, dass sie als nicht dazugehörige und als „nicht passende“ Bilder erkannt werden konnten. Die Frage richtete sich dabei nach den Prozessen im Gehirn, welche durch das „Nicht-Passen (Mismatch)“ der Bilder ausgelöst werden. Um die Aktivierungsmuster untersuchen zu können, mussten wir die Ergebnisse zueinander in Bezug setzen. Deshalb verglichen wir „passende Bilder“ (siehe Kondition III.2.3.1.) mit „nicht passenden Bildern“ (Kondition 2 siehe auch Kap. III.2.3.3.). Die Zielsetzung war zu ergründen, was im Gehirn passiert, wenn das Gehirn merkt, dass die Comicbilder unerwarteterweise nicht in die Geschichte passen. Welche Regionen werden vermehrt aktiviert, wie sieht das Aktivitätsmuster im Gehirn beim Vergleich aus: passende Bilder < unpassende oder unpassende > passende Bilder.

#### III.2.4.4 Kondition 3 (Originalbilder mit indirekter Rede)

Die Bilder dieser Kondition wurden im Original von „Asterix und Maestria“ belassen. Der Sprechblaseninhalte gelöscht und als indirekte Erzählform mit gelb-hinterlegten Balken in das

Originalbild eingefügt (siehe Kap. 2.3.4.). Ziel war es herauszufinden, welcher Unterschied zwischen dem Lesen eines Sprechblaseninhaltes und einem Erzähltext besteht. Die Fragestellung war der Unterschied zwischen Sprechblasenerzählung und Erzählung in indirekter Rede.

### **III.2.5 Versuch und Präsentation**

Die einzelnen Comicbilder der ganzen Geschichte wurden den vier verschiedenen Konditionen zugeordnet und konditionsabhängig bearbeitet (siehe Kapitel III.2.3. sowie III.2.4.). Die den vier Konditionen zugeordneten Bilder wurden in abwechselnder Reihenfolge als Sequenzen von 9 bis 48 Einzelbildern projiziert. Die unterschiedliche Anzahl der Einzelbilder in einer Bildersequenz war darauf zurückzuführen, dass die Einzelbilder eine unterschiedliche Anzahl an Sprechblasen hatten. Die Sequenzen wurden auch verlängert, wenn es galt, ein Unterthema zu beenden. Außerdem war es das Ziel, dass der Leser sich an die betreffende Kondition „gewöhnt“ und dem Inhalt der Geschichte ohne größere Schwierigkeiten folgen kann. Am Ende der Messung wurde anhand einer mündlichen Wiedergabe des Inhaltes der Geschichte kontrolliert, ob alle Probanden die Asterix-Geschichte nachvollziehen konnten. Vor der Messung am MRT wurde die Projektion so bearbeitet, dass die Ausstrahlungszeit jedes einzelnen Bildes und das Verständnis durch zusätzliche Probanden überprüft wurde. Durch die Vortestung und die Erfolgskontrolle nach der MRT-Untersuchung konnten Störungen durch technische Gegebenheiten sowie die nicht ausreichende Sicht und Zeit für die Bildertexte oder gar Bilder ausgeschlossen werden.

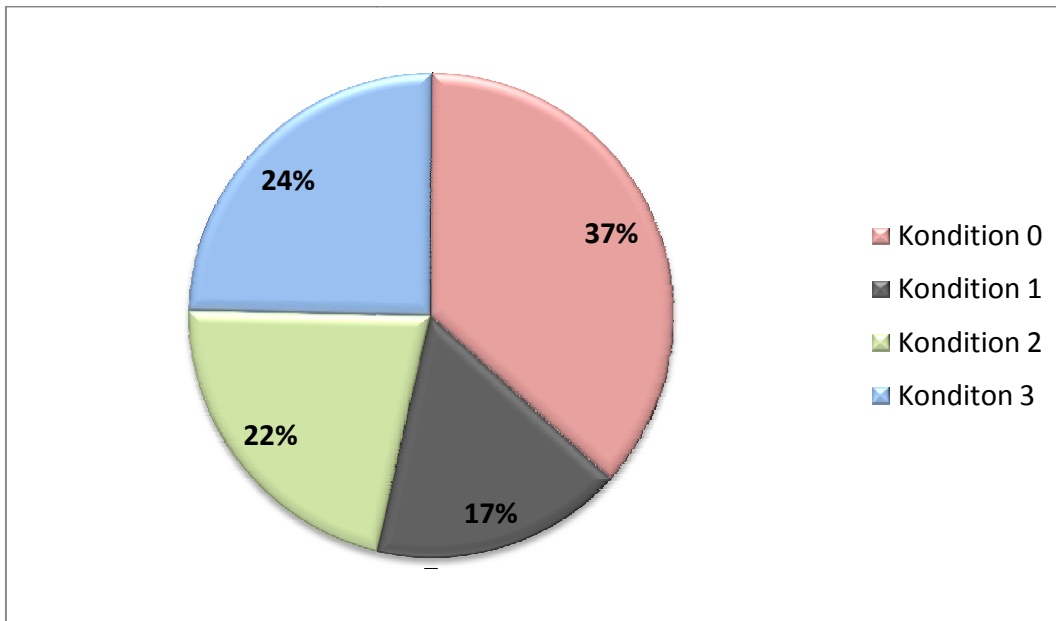


Abbildung III.13: Diagramm: Prozentueller Anteil der jeweils ausgestrahlten einzelnen Konditionen an der 42-minütigen Geschichte (siehe Anhang Kap. VI).

### III.2.6 Versuchsaufbau

Zur Durchführung der Untersuchung wurden die Probanden horizontal in der Röhre des Kernspintomographen gelagert mit dem Kopf in einer Kopfspule. Zur Abdämmung des Lärms trugen diese Kopfhörer. Zum Verhindern von Kopfbewegungen wurde der Kopf mit Hilfe von seitlich angebrachten Polstern fixiert. Über dem Kopf wurde ein Gestell mit eingebautem Spiegel angebracht über welchen die auf eine Leinwand projizierten Comicbilder von Probanden gesehen werden konnten. Die Projektion der Comicbilder erfolgte auf einer Leinwand (80 cm breit, 60 cm hoch), die am Kopfende der Kernspinnröhre in ca. 2m Entfernung an einer Wand befestigt war (siehe schematische Skizze). Auf die Leinwand wurden die Comicbilder aus dem Regieraum mittels eines Beamers projiziert.

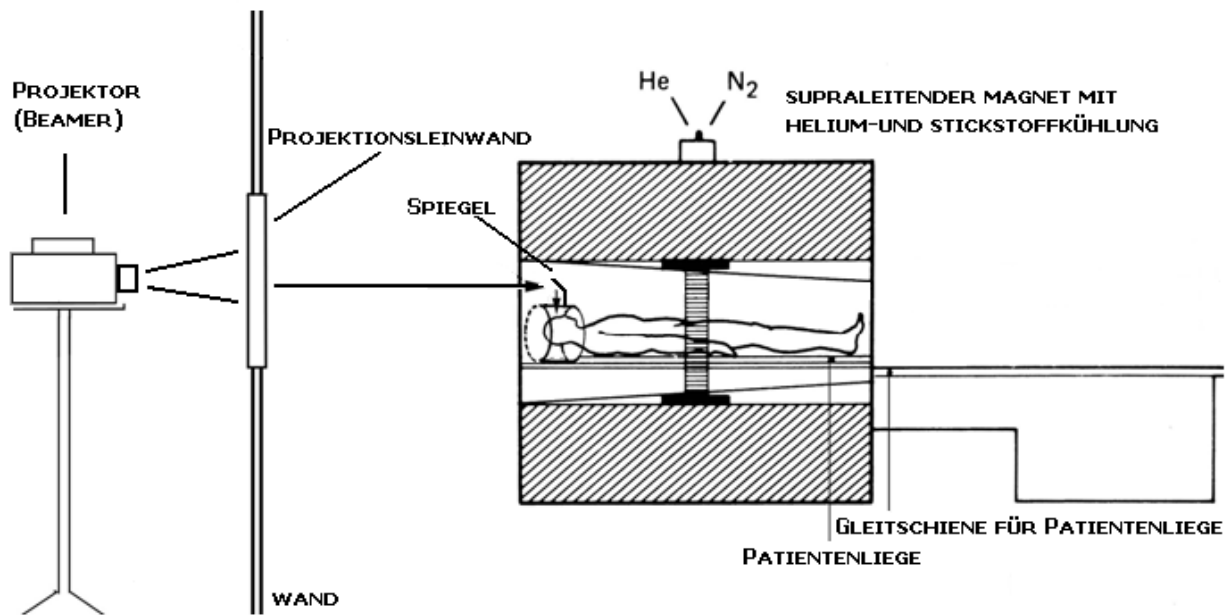


Abbildung III.14: Schematischer Aufbau der MRI-Versuchsanordnung.

### III.2.7 Messung und Parameter der fMRT-Bildgebung

Die kernspintomographische Untersuchung am 1,5 Tesla Siemens „Sonata“ MRT in der Klinik der Neuroradiologie der Universität des Saarlandes durchgeführt. Als Kopfspule wurde eine zirkulär polarisierende Spule verwendet. Wie in Kapitel III.2.6. erklärt, wurde der Proband mit Kopfhörern versehen und der Kopf während der Messung seitlich fixiert. Für alle Versuchsteilnehmer waren die technischen Parameter konform. Das Magnetfeld des Tomographen wurde anfangs zentriert, darauf folgte eine strukturelle Bildgebung mit Aufnahmen des Gehirns.

Vor dem Experiment dieser Studie mit der Projektion des Asterix-Comics: „Asterix und Maestia“ ging eine Einstellsequenz, der so genannte Localizer, voraus. Dieser ermöglichte binnen weniger Sekunden Bilder von drei unterschiedlichen Ebenen, der Sagittal-, Coronar- und Transversalebene, zu erhalten. Die Messsequenz stellt die Grundlage für die Einstellungen der anschließenden Messreihen dar. Anschließend erfolgte die experimentelle Messung in T2\*-gewichteten echoplanaren Sequenzen (siehe Kap. III.1.1.2.) mittels BOLD-Imaging-Methode (siehe Kap. III.1.1.4.). Eine Messung dauerte 3,05 Sekunden (TR 3050 msec.), wovon die ersten

vier immer verworfen wurden. Der Flip-Winkel zur Erstellung der funktionellen Bilder betrug 90° und die Echozeit TE 50 msec. Axial wurden 36 Schichten mit einem Abstand von 3,5 mm gefahren. Die Bildmatrix enthielt 64x64 Datenpunkte und der Bildausschnitt (field of view, FoV) war mit 230 mm definiert. Nach der experimentellen Messung folgte eine anatomische T1-gewichtete MPRAGE (isometrisch 1x1x1 mm) Datenaufnahme für die Beurteilung der anatomischen Strukturen und eine T2-gewichtete Sequenz mit 36 Schichten zum Ausschluss neurologischer Erkrankungen.

### **III.2.8 Methoden der Datenanalyse und der Bildverarbeitung**

Die gewonnenen Daten der experimentellen Messung wurden SPM99 („Statistical Parametric Mapping“ nach FRISTON et al. 1995) bearbeitet. Die SPM Auswertung beinhaltete die Schritte: 1. Slice-time-correction, 2. Motion correction, 3. Normalization auf das MNITemplate mit 2x2x2 mm Auflösung und eine Gauß-Glättung mit 8x8x8 mm Radius durchgeführt und 4. Smoothing (Glättung) näheres zu diesem Thema wird in Kapitel III.1.2. aufgeführt.

Zusätzlich führten wir eine Fixed-Effects-Analyse für jede Versuchsperson sowie eine Random-Effects-Analyse entsprechend der Gauß'schen Random-Field-Theorie über alle Probanden (n= 23) durch.



## IV. ERGEBNISSE

### IV. 1 Aktivierung der frontalen Regionen bei Mismatch vs. Match-Sequenzen

#### IV.1.1 Rechtsseitige Aktivierung der frontalen Regionen

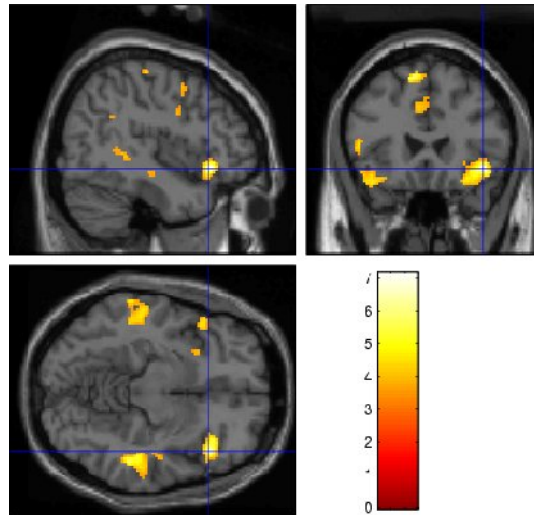


Abb. IV.1: Gyrus frontalis inferior (GFi) (BA 47) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxels extent threshold, 385 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 3,1 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Eine vermehrte Aktivierung, die beidseits mit Rechtsbetonung im GFi (BA 47) am Übergang von der Mantelfläche des Stirnlappens in den ventralen (orbitalen) Cortex auftritt.

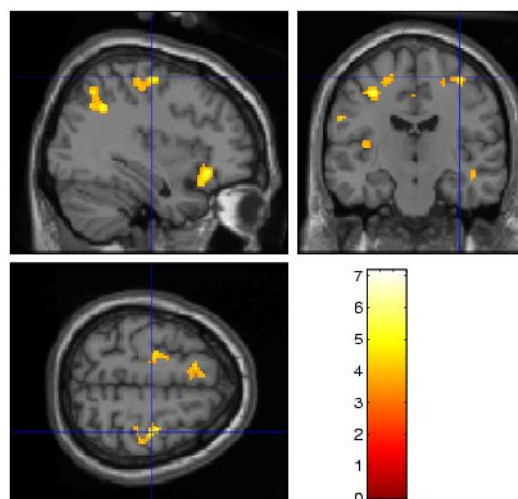


Abb. IV.2: Gyrus precentralis (GPrC) rechts (BA 4) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 210 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 1,7 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

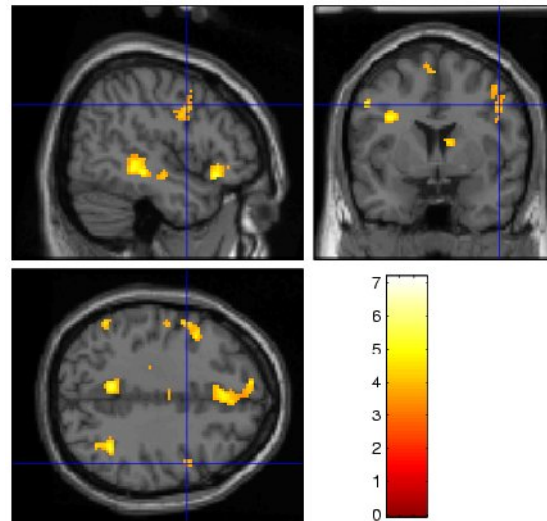


Abb. IV.3: Gyrus precentralis (GPrC) rechts (BA 6) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 97 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 0,8 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Die oberen zwei Abbildungen zeigen eine Aktivierung des primär motorischen Cortex (Gyrus praecentralis) beidseits bei der „Mismatch-Sequenz“.

#### IV.1.2 Linksseitige Aktivierung der frontalen Regionen

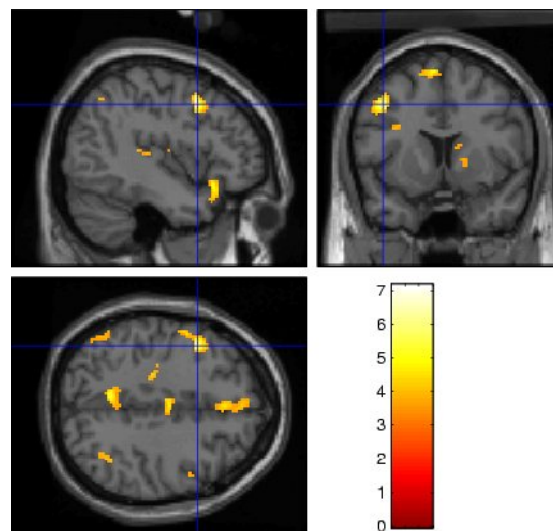


Abb. IV.4: Gyrus frontalis medius (GFm) links (BA 8) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 160 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 1,3 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Diese Region des Gyrus frontalis medialis (BA 8) beschreibt das frontale Augenfeld. Wir beobachteten eine nahezu ausschließliche Aktivierung links.

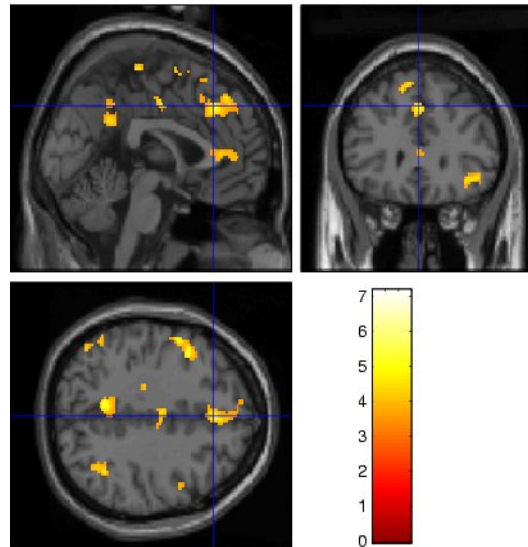


Abb.IV.5: Gyrus frontalis medialis (GFm) links (BA6) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 646 voxels per cluster( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 5,2 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Überwiegend zeigen sich Aktivierungen in der motorischen Großhirnrinde an der Fissura longitudinalis cerebri links.

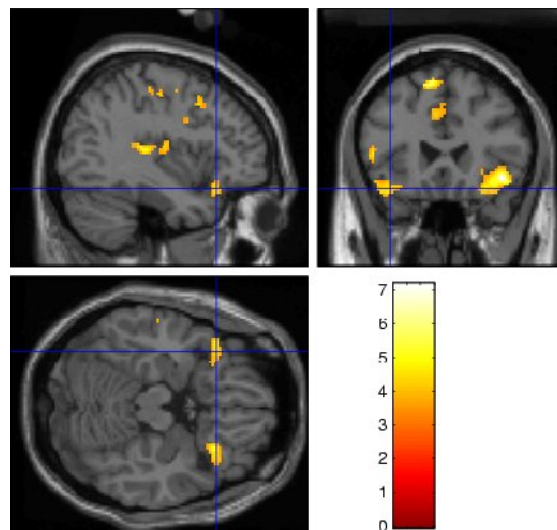


Abb. IV.6: Gyrus frontalis inferior (GFi) links (BA 47) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 196 voxels per cluster( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 1,6 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Hinzu kommen beidseitige Aktivierungen in der Region des STS (siehe auch Abb. IV.16).

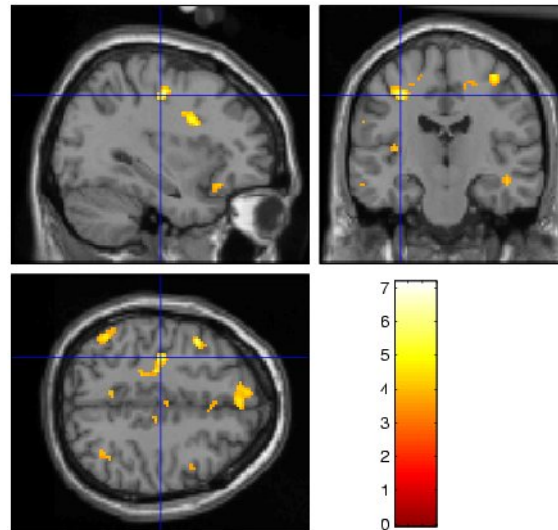


Abb. IV.7: Gyrus praecentralis (GPrC) links (BA 4) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 150 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 1,2 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Die vorangegangene Abbildung zeigt erneut eine Aktivierung des primär motorischen Kortex BA 4 links.

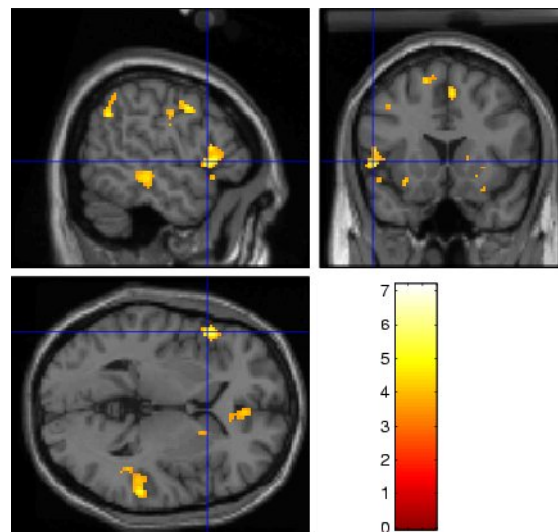
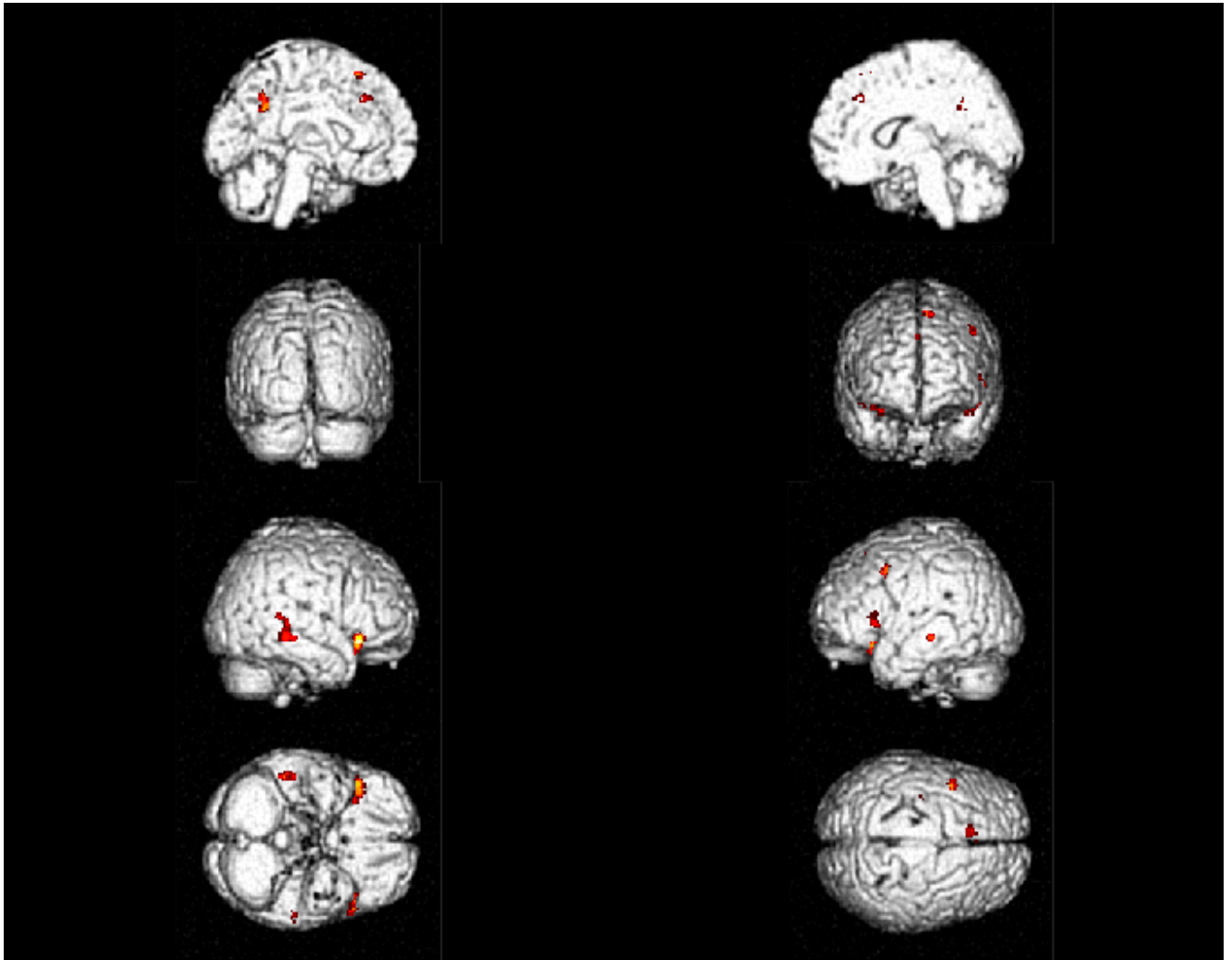


Abb. IV.8 a): Gyrus praecentralis (GPrC) links (BA 44) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 127 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 1,0 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Zudem verzeichneten wir eine linksseitige Aktivierung des Broca-Areals BA 44 im Pars triangularis des Gyrus frontalis inferior.



*Abb. IV.8 b):Gyrus praecentralis (GPrC) links (BA 44), Gyrus frontalis inferior, Gyrus temporalis superior bei extent threshold von 5 Voxeln.*

Diese Abbildung IV.8 zeigt nicht nur die Aktivierung des Broca-Areals vor allem links und des Gyrus frontalis inferior, sondern auch zusätzlich eine beidseitige Aktivierung des Gyrus temporalis superior am Polus temporalis also an den Spitzen der Temporallappen und eine linksseitig betonte Aktivierung der STS-Region im Gebiet des Gyrus supramarginalis.

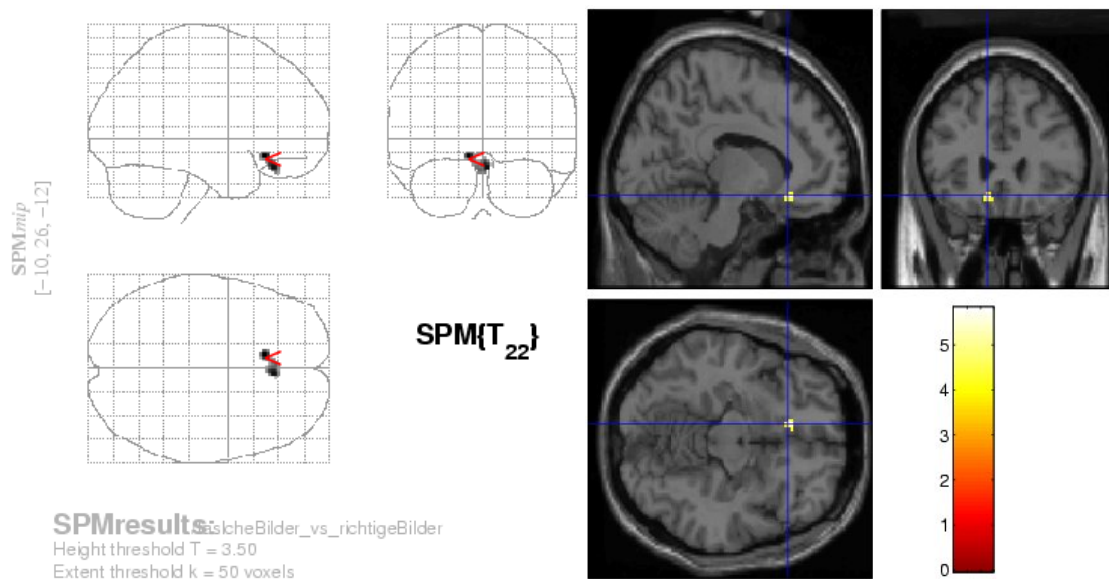


Abb. IV.9: Gyrus cinguli (GC) links (BA 25) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 76 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 0,6 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Dargestellt ist die Aktivierung der subcallosalen Areals des Gyrus cinguli insbesondere des orbitofrontalen Asts des GC linksseitig.

Tabelle IV.1 Mismatch>Match-Sequenz aufgezeichnete Mehraktivierung bei Voxel 50 im frontalen Kortex

MNI Voxel 50			Talairach			P-Wert (Cluster unkorrigiert)	T-Wert	Z-Wert	Seite	Anatomische Region
x	y	z	x	y	z					
<b>FRONTAL (RECHTS)</b>										
4	-28	68	4	-24	61	0.015	4,89	3,98	R	GFm, BA 6
46	4	50	46	6	47	0.004	4	3,43	R	GFm, BA 6
44	24	-10	42	20	-4	0.000	7,16	5,09	R	GFi, BA 47 (Abb. IV.1)
36	26	-12	34	21	-7	0.000	5,5	4,32	R	GFi, BA 47
30	22	-18	29	17	-12	0.000	5,3	4,21	R	GFi, BA 47
36	-16	60	37	-12	55	0.000	5,26	4,19	R	GPrC, BA 4 (Abb. IV.2)
26	-28	56	27	-24	51	0.000	4,37	3,67	R	GPrC, BA 4
48	4	38	47	5	37	0.004	4,37	3,67	R	GPrC, BA 6 (Abb. IV.3)
48	0	30	46	0	30	0.004	4,12	3,51	R	GPrC, BA 6

FRONTAL (LINKS)										
-8	26	56	-7	29	50	0.000	6,29	4,71	L	GFs, BA 8
-10	38	48	-10	39	43	0.000	5,26	4,19	L	GFs, BA 8
-44	8	44	-43	9	41	0.000	6,43	4,77	L	GFm, BA 8 (Abb. IV.4)
-52	2	40	-51	2	38	0.000	5,38	4,25	L	GFm, BA 6
0	30	40	0	30	36	0.000	4,99	4,04	L	GFm, BA 6 (Abb. IV.5)
-22	-14	60	-22	-10	54	0.015	4,37	3,67	L	GFm, BA 6
-50	18	10	-48	15	11	0.001	4,83	3,95	L	GFi, BA 44
-46	20	-12	-45	15	-7	0.000	5,62	4,38	L	GFi, BA 47
-38	24	-18	-37	19	-13	0.000	4,51	3,75	L	GFi, BA 47 (Abb. IV.6)
-32	-18	46	-32	-16	43	0.001	6,15	4,64	L	GPrC, BA 4 (Abb. IV.7)
-52	16	2	-50	13	5	0.001	5,63	4,378	L	GPrC, BA 44 (Abb. IV.8 a-b)
-34	4	30	-33	3	29	0.005	5,18	4,15	L	GPrC, BA 6
-48	-14	26	-46	-14	25	0.017	4,04	3,46	L	GPrC, BA 6
-56	-12	30	-54	-11	29	0.017	4,84	3,95	L	GPrC, BA 4
-20	-6	60	-20	-2	54	0.015	4,29	3,62	L	GF-Sub-Gyral, BA6
-10	26	-12	-10	22	-9	0.015	5,81	4,48	L	GC BA 25 (Abb. IV.9)

## IV.2 Aktivierung der temporalen Regionen bei Mismatch vs. Match-Sequenzen

### IV.2.1 Rechtsseitige Aktivierung der temporalen Regionen

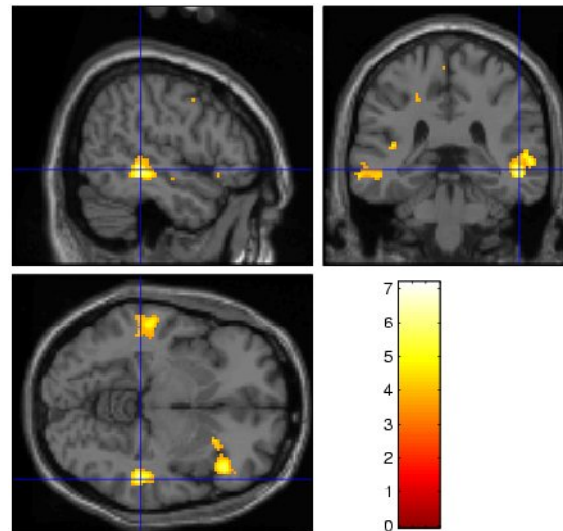


Abb. IV.10: Gyrus temporalis medius (GTm) rechts (BA 22) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 464 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 3,7 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Gyri temporales und die sensorische Sprachregion, das Wernicke-Zentrum (BA 22), werden aktiviert, wie in den oberen 4 Abbildungen zu sehen ist.



### IV.2.2 Linksseitige Aktivierung der temporalen Regionen

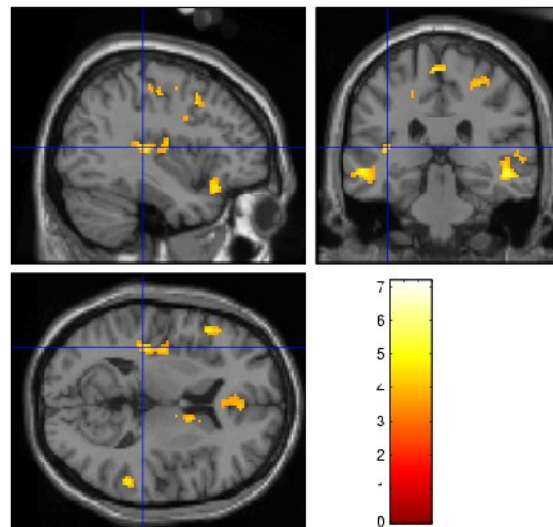


Abb. IV.11: Gyrus temporalis superior (GTs) links (BA 41) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 128 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 1,0 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Aktivierung der primären Hörrinde links im Gyrus temporalis superior (BA 41).

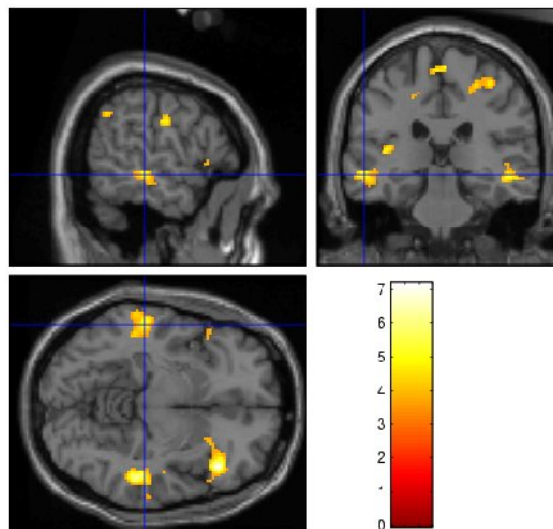


Abb. IV.12: Gyrus temporalis medius (GTm) links (BA 21) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 266 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 2,1 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Dargestellt ist die Aktivitätsvermehrung beidseits in den Gyri temporales mediales (BA 21).

Tabelle IV.2: Mismatch > Match-Sequenz aufgezeichnete Mehraktivierung bei Voxel 50 im temporalen Kortex

MNI Voxel 50			Talairach			P-Wert (Cluster unkorrigiert)	T-Wert	Z-Wert	Seite	Anatomische Region
x	y	z	x	y	z					
<b>TEMPORAL (RECHTS)</b>										
58	-40	8	56	-39	11	0.000	5,47	4,3	R	GTs, BA 22
52	-34	-6	49	-35	0	0.000	6,21	4,67	R	GTm BA 22 (Abb. IV.10)
60	-34	2	57	-34	6	0.000	5,32	4,22	R	GTm, BA 22
<b>TEMPORAL (LINKS)</b>										
-38	-30	10	-36	-30	12	0.001	5,07	4,08	L	GTs, BA 41 (Abb. IV.11)
-56	-28	-8	-52	-29	-2	0.000	5,23	4,17	L	GTm, BA 21 (Abb. IV.12)
-64	-34	-10	-60	-35	-4	0.000	4,61	3,82	L	GTm, BA 21
-50	-36	-8	-46	-37	-2	0.000	4,32	3,64	L	GTm
-36	-38	16	-35	-37	17	0.001	3,88	3,35	L	Sub-lobar, INS

### IV.3 Aktivierung der parietalen Regionen bei Mismatch vs. Match-Sequenzen

#### IV.3.1 Rechtsseitige Aktivierung der parietalen Regionen

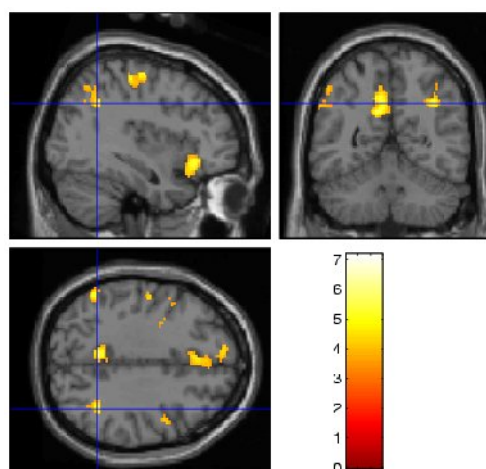


Abb. IV.13: Lobulus parietalis inferior (LPI) rechts (BA 40) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 151 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 1,2 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Aktivierung der Übergangsregion in BA 40 rechts und links des Lobulus parietalis inferior sowie des Bereiches des Gyrus supramarginalis.

### IV.3.2 Linksseitige Aktivierung der parietalen Regionen

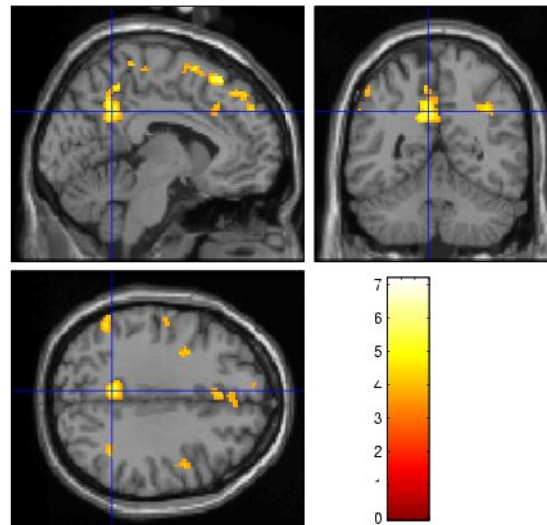


Abb. IV.14: Precuneus (Pcu) links (BA 7, BA 31) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 330 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 2,6 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Überwiegende Aktivierung des Precuneus links und des dorsal posterioren Gyrus cinguli Arealis (BA 31).

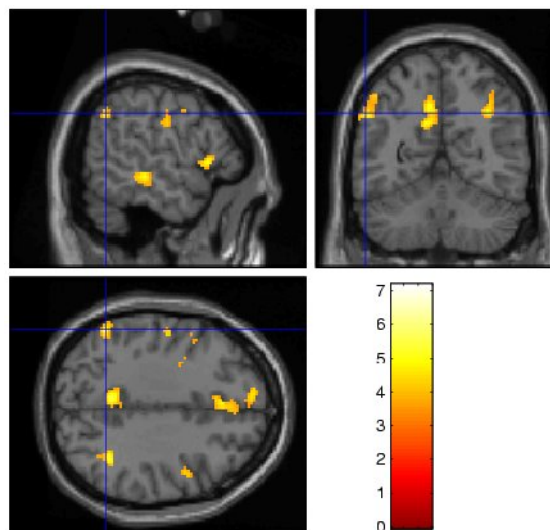


Abb. IV.15: Gyrus supramarginalis (Gsm) links (BA 40) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 144 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 1,2 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Aktivierung des Gyrus supramarginalis links > rechts.

Tabelle IV.3: Mismatch>Match-Sequenz aufgezeichnete Mehraktivierung bei Voxel 50 im parietalen Kortex

MNI Voxel 50			Talairach			P-Wert (Cluster unkorrigiert)	T-Wert	Z-Wert	Seite	Anatomische Region
x	y	z	x	y	z					
<b>PARIETAL (RECHTS)</b>										
38	-26	56	39	-22	51	0.000	4,87	3,97	R	GPoC, BA 3
38	-54	36	39	-51	34	0.001	5,51	4,32	R	LPi, BA 40 (Abb. IV.13)
36	-62	48	37	-58	44	0.001	4,67	3,85	R	LPi, BA 7
36	-64	38	37	-61	36	0.001	4,21	3,57	R	Ga, BA 39
<b>PARIETAL (LINKS)</b>										
-10	-38	70	-10	-34	63	0.015	4,77	3,91	L	GPoC, BA 3
-46	-60	46	-46	-57	43	0.001	4,68	3,86	L	LPi, BA 40
-46	-68	40	-46	-65	38	0.001	4,22	3,57	L	LPi, BA 39
-6	-52	34	-5	-49	32	0.000	5,59	4,36	L	PCu, BA 31 (Abb. IV.14)
-8	-50	52	-7	-47	47	0.000	4,88	3,98	L	PCu, BA 7
-54	-56	36	-54	-54	35	0.001	5,1	4,1	L	Gsm, BA 40 (Abb. IV.15)

## IV.4 Aktivierung der limbischen Areale/Basalganglien bei Mismatch vs. Match-Sequenzen

### IV.4.1 Rechtsseitige Aktivierung der limbischen Areale/Basalganglien

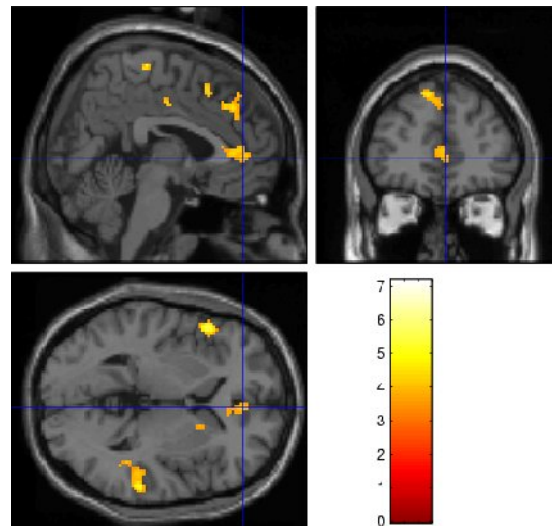


Abb. IV.16: Gyrus cinguli (GC) ant. rechts (BA 32) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 167 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 1,3 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Aktivierung des Gyrus cinguli in der ACC-Region BA 32 rechtsseitig.

### IV.4.2 Linksseitige Aktivierung der limbischen Areale/Basalganglien

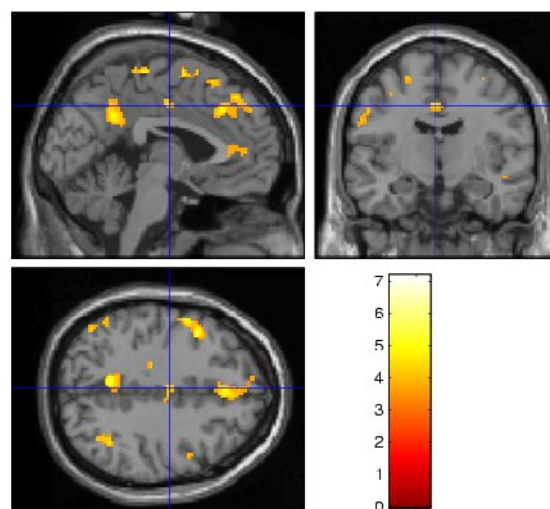


Abb. IV.17: Gyrus cinguli (GC) links (BA 24) bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 51 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 0,4 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Die Abbildung zeigt eine Aktivierung des Pars anterior des GC links.

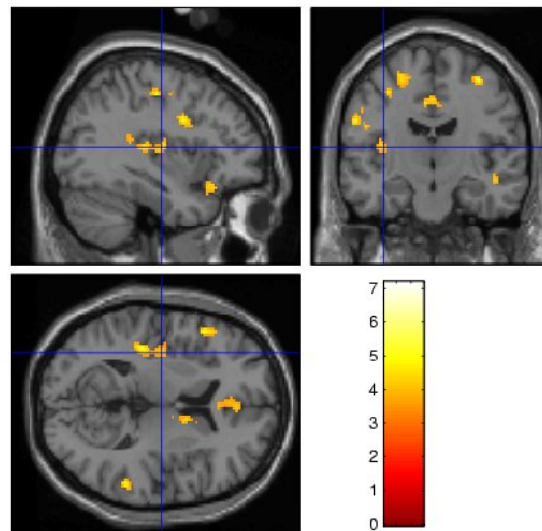


Abb. IV.18: Sub-lobar Claustrum links bei  $p < 0,001$  uncorr.; 50 voxel extent threshold, 128 voxels per cluster ( $k=10.062$ ) so wurde ein Volumen von 1,0 ml dieser Gehirnregion aktiviert.

Zuletzt noch die Darstellung der Aktivitätsvermehrung im Claustrum linksseitig.

Tabelle IV.4: Mismatch > Match-Sequenz aufgezeichnete Mehraktivierung bei Voxel 50 in limbischen Arealen/Basalganglien

MNI Voxel 50			Talairach			P-Wert (Cluster unkorrigiert)	T-Wert	Z-Wert	Seite	Anatomische Region
x	y	z	x	y	z					
<b>LIMBISCHE AREALE /BASALGANGLIEN (RECHTS)</b>										
10	2	12	9	0	13	0.004	4,87	3,97	R	Sub-lobar, Cl
18	-2	18	17	-3	18	0.004	3,84	3,32	R	Sub-lobar, Cl
6	36	6	5	33	6	0.000	4,31	3,63	R	GC (ant ), BA 24
2	28	10	1	25	10	0.000	3,85	3,33	R	GC (ant ), BA 24
4	44	2	3	40	1	0.000	4,2	3,56	R	GC (ant), BA 32 (Abb. IV.16)
18	12	4	17	9	6	0.004	4,02	3,44	R	Sub-lobar, Pt, lentiform ncl

LIMBISCHE AREALE /BASALGANGLIEN (LINKS)										
-22	-22	46	-22	-20	42	0.001	4,86	3,96	L	GC, BA 24
-2	-10	40	-1	-8	37	0.028	4,69	3,87	L	GC, BA24 (Abb. IV.17)
-20	-32	46	-20	-29	43	0.001	4,04	3,46	L	GC, BA 31
-28	16	-12	-28	12	-7	0.000	4,48	3,74	L	Sub-lobar CI
-36	-14	10	-34	-15	12	0.001	4,45	3,72	L	Sub-lobar, CI (Abb. IV.18)

#### IV.5 Zusammenfassung der Ergebnisse bei Mismatch vs. Match-Sequenzen

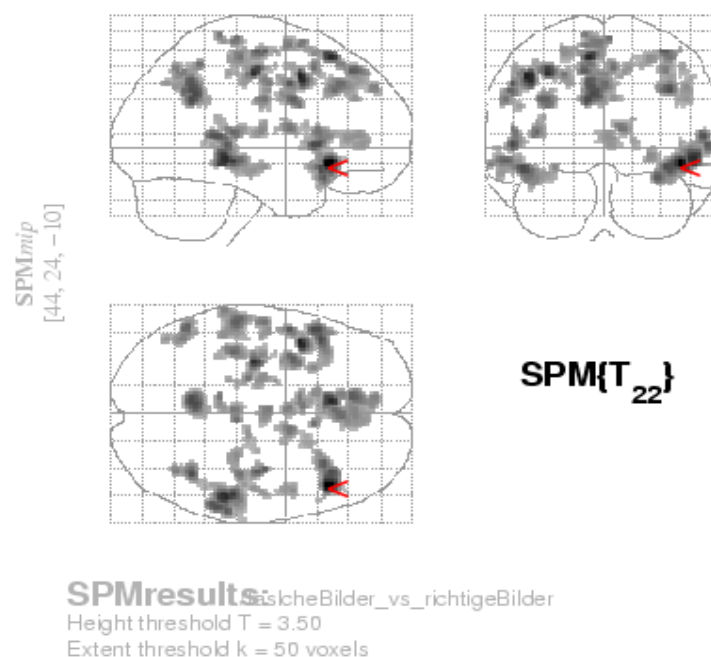


Abb. IV.19: Übersichtsabbildung der Aktivierungen bei der Mismatch-Sequenz

Zusammenfassend beobachteten wir auf den repräsentativen Abbildungen der Hirnschnitte sowie in Tabellen die dargestellten Aktivierungen der frontalen Regionen: des Gyrus frontalis medialis und inferior sowie des Gyrus precentralis beidseits. Eine fast ausschließliche Aktivierung des frontalen Augenfeld, des Gyrus frontalis superior, subcallosale Areale des Gyrus cinguli am orbitofrontalen Übergang und des Broca-Areals im Pars triangularis des Gyrus frontalis inferior.

- der temporalen Regionen: beidseitige Aktivierung des Gyrus temporalis superior und medius, sowie der Spitzen der Temporallappen am Polus temporalis. Hinzu kommt das Wernicke-Areal rechtsseitig, die primäre Hörrinde, die Aktivierung der Insula linksseitig sowie eine links betonte Aktivierung der STS-Region.

- 
- der parietalen Regionen: des Lobulus parietalis inferior und Gyrus postcentralis beidseits. Ferner des Gyrus angularis rechts, des Precuneus und des Gyrus supramarginalis links
  - der limbischen Areale bzw. der Basalganglien: beidseitige Aktivierung des Claustrum und des Gyrus cinguli anterior. Rechtsseitige Aktivierung des Putamen und linksseitig die des Gyrus cinguli posterior.



## V. DISKUSSION

### V.1. Diskussion der Methodik

Die Literaturgattung Comic wird – wie in der Einleitung (siehe Kap. II.4.) ausführlich dargestellt – sehr häufig für verschiedene Arten von Studien benutzt, vor allem in der Psychiatrie. Dennoch ist es ein sehr wenig erforschtes Medium.

Eine Arbeit, die sich mit dem Comic in seiner Form beschäftigt, ist die Vorarbeit von MAURER (2009). In dieser wurden die einzelnen Komponenten des Comics auseinander genommen und miteinander verglichen.

In dieser Untersuchung hingegen wurde der Comic als Form dafür benutzt, um zu sehen, was in unserem Gehirn passiert, wenn in einer stimmigen Comicgeschichte plötzlich eine Sequenz von nicht in die Geschichte passenden Comicbildern eingesetzt wird. Diese nicht passenden Comicbilder hatten wiederum einen stimmigen Erzähltext (in Form des in Comics verwendeten gelben Balkens), der zum Rest der Geschichte passte (Kondition 0 siehe Kapitel III.2.4.3).

Die Herausforderung an der „Mismatch-Sequenz“ war es, ein Mismatch hervorzurufen mit einem adäquaten Kontrast und die Geschichte dennoch weiterzuerzählen.

Durch die mühevollen Bearbeitung der Bilder (Vorgehensweise siehe Kapitel III.2.3.3) gelang es, einen eindeutigen Kontrast zu erzeugen, welcher die zu Beginn der Arbeit gestellte Hypothese bestätigte. Die angewandte Methodik und der Vergleich zwischen Kondition 0 und Kondition 2 (Kondition 2(Mismatch) > Kondition 0(Match)) war erfolgreich.

Zudem war es wichtig, die manipulierten Sequenzen originalgetreu zu bearbeiten (siehe Kapitel III.2.) damit der erwünschte Kontrast zwischen den Sequenzen zum Vorschein kommt.

Da verschiedene Sequenzen in die originale Comicgeschichte (Kondition 0) eingebaut wurden (siehe Kapitel III), war auf die Gewährleistung der Konzentration der Probanden zu achten. Hier erfolgte ein Kompromiss, denn alle Sequenzen sollten mehrmals untergebracht

werden. Dennoch sollte die Asterix-Geschichte zu Ende erzählt werden, ohne dass die Untersuchung zeitlich den Rahmen überschreitet und indem die Bilder ausreichend lange projiziert werden konnten. Aus der vorangegangenen Erfahrung mit fMRT-Arbeiten sollte die Übung nicht länger als 40 min dauern, damit der Proband sich auch auf den letzten Teil konzentrieren kann. Durch das Abwechseln verschiedener Sequenzen und die Länge der Projektion bestand die Gefahr, dass die Konzentration nicht mehr ausreichend gegeben sein würde. Doch in den Probeläufen bei zusätzlichen, nicht untersuchten Probanden gab es keine Probleme und auch die nachträgliche Wiedergabe der Geschichte bei allen untersuchten Probanden war einwandfrei, wobei man hinzufügen muss, dass kleine Details nicht abgefragt wurden. Alle Konditionen/Sequenzen (0-3) wurden randomisiert und mehrmals (siehe Anhang Tab. VI.1.) projiziert, so dass alle im 1/3 im 2/3 sowie im 3/3 vorkamen und die Daten zusammengefasst und gegeneinander verglichen einen eindeutigen Kontrast ergaben.

Zusammenfassend gesagt, war die Herstellung der Methode zwar aufwändig, die Methodik stand dem Paradigma jedoch dadurch stand.

## **V.2. Bedeutung von Mismatch vs. Match Studien**

Was spielt sich also in unseren Köpfen ab, wenn auf einmal in der Comicgeschichte die Bilder, wie es in unseren Mismatch- Sequenzen der Fall war, nicht mehr in die erzählte Geschichte passten?

Aufgefallen ist, dass einige Arbeiten, die sich mit der neuronalen Verknüpfung von Sprache und Gestik beschäftigen, mit Mismatch/Diskrepanzen zwischen Gestik und Sprache arbeiten. CALVERT (2001) führte fMRT-Studien über die Beziehung zwischen Lippenbewegungen und Sprache durch. In der Verarbeitung von Mismatch vs. Matches von Mundbewegungen und den sie begleitenden Phonemen zeigte sich eine spezifische Aktivierung des STS, des inferior parietalen Sulcus sowie Regionen des Frontalhirns und der Insula. All diese Arealaktivitäten wurden auch in unseren Mismatch-Sequenzen beobachtet, wobei in dieser Studie keine auditiven Reize angewandt wurden und allein die Bilder zu dem gelesenen Text nicht passten.

WILLEMS, OZYREK et HAGOORT (2007) zeigten in der fMRT-Studie, dass die Sprache und Gesten in einem übergeordneten neuronalen Integrationssystem verarbeitet werden. Dazu verwendeten diese eine bestimmte Form von gleichzeitiger Bewegung und Sprache, die in der alltäglichen Kommunikation benutzt werden. Sie fanden heraus, dass Aktivierung von dem linken inferior frontalem Cortex (BA45), dem prämotorischem Cortex (BA 6) und dem linken STS für die Verarbeitung von Gestik und Sprache bei Mismatch demonstriert wurde. Die erhöhte Aktivität als Antwort auf semantische Diskrepanzen in zwei Modalitäten wurden von den Autoren als Korrelate einer zusätzlichen Verarbeitung und von Anforderungen im Vergleich zum natürlichen Sprach-Gesten Zustand interpretiert. Auch sind prämotorische Bereiche des BA 6 vor allem in die Bewegungsbeobachtung involviert. Sie weisen jedoch auch eine erhöhte Aktivität bei Bewegungsinformationen, die nicht zum Sprachkontext passten auf (Willems 2006).

In den Mismatch-Sequenzen der hiesigen Arbeit kommt es auch zu Diskrepanzen/Mismatch in zwei Modalitäten – auf der einen Seite passt der Text nicht zur Bildergeschichte, auf der anderen Seite passt die Bildergeschichte nicht zum Rest der Geschichte (Kondition 0 Kap.III.2.3.1 und III.2.4.3) Vermutlich ist auch hier die vermehrte Aktivierung des linken inferior frontalen Cortex (BA45), des prämotorischen Cortex (BA 6) und des linken STS bei Mismatches der Modalitäten ein Korrelat für eine zusätzliche Verarbeitung und Anforderung wie oben beschrieben.

### **V.3. Anregung archaischer Hirnstrukturen bei Mismatch>Match**

Wie in Kapitel II.5. gezeigt wurde, werden archaische Hirnstrukturen angeregt, die nach der evolutionären Entwicklung der Sprache vermehrt unterdrückt wurden, unter anderem der prämotorische Cortex, welcher als Äquivalent des Spiegelneuronensystems beim Affen auch als bewegungserkennendes System beim Menschen fungiert (WILLIAMS 2006; JEANNEROD et al. 2001; RIZZOLATTI et al. 2001; NISHITANI et al. 2004). Die hier vorliegende Arbeit entdeckt auch eine vermehrte Aktivität dieser Strukturen bei Mismatch-Sequenz.

Warum wurde auch in dieser Mismatch-Sequenz mit der sich diese Studie beschäftigt eine erhöhte Aktivität dieser Areale erkannt?

Sieht der Proband Bilder und Texte, die nicht zueinander passen, erfolgt vermutlich eine Mehraktivität der Areale des Spiegelneuronensystems mit Broca-Areal und präfrontalem Cortex, sodass der Proband im Gehirn versucht das Handeln mit dem Text oder umgekehrt zu verknüpfen, da diese aber nicht zueinander passen erfolgt eine Mehraktivierung durch die vermehrte Anstrengung und den erhöhten Konzentrationsgrad, den diese Aufgabe mit sich zieht (siehe Kapitel V.4.). Vielleicht braucht der „Matchingmodus“ (das Suchen des Pfades, der die beiden Modalitäten „Sprechblasentext“ und „Bilder“ als passend zeigt) mehr Aktivierung beim Anpassen der visuellen Perzeption auf den Inhalt und die Gestik, z.B. durch ein Absuchen mehrerer Pfade im selben Gebiet.

#### **V.4. Die Rolle des STS und der ToM**

Für das Lesen der Comics scheint der Superior Temporale Sulcus (STS) von enormer Bedeutung zu sein. Die Comics basieren auf der Gestik der Figuren. Sie geben dem Leser das Gefühl, dass die Figuren sich wie im Film bewegen. Tatsächlich findet eine Aktivierung des STS auch beim Lesen von Comichildern statt, obwohl keine echte Bewegung zu beobachten ist (MAURER 2009).

In dieser Arbeit zeigte sich bei dem Vergleich Mismatch > Match eine verstärkte Aktivität des STS. Nun war es von Interesse zu klären, warum es in den Mismatch-Sequenzen zu vermehrter neuronaler Stimulation kommt.

Der STS wurde von vielen Forschern erforscht. Dieser Bereich dient der Sensorik, besonders bei der Integration multimodaler Stimuli. PUCE et PERRETT (2003) verweisen auf die zentrale Rolle dieser Region bei der Beobachtung von jeglicher Art von Bewegung und in Zusammenhang mit Biological Motion. Der Begriff wird von Neurowissenschaftlern verwendet und beschreibt die soziale und kognitive Wahrnehmung von beweglichen Organismen und deren Bewegungsabläufen, die sich nur auf Lichtpunkt-Reize beschränkt (JOHANSSON 1973). In den meisten Studien wurden Lichtpunkt-Läufer verwendet, deren Lichtpunkte feste oder variable Körperpositionen darstellten. Biological Motion steht in enger Beziehung zu sozialer Kognition und der Theory of mind. ALLISON, PUCE et McCARTHY (2000) zeigen die Orte an der Aktivierung von Gesicht-, Hand- und Körperbewegung und die Rolle, die die STS Region dabei spielt. Zusammengetragen wurden die Forschungsergebnisse, die die STS Region betreffen, von PUCE et PERRETT (2003). Nicht nur die beobachteten

Bewegungen oder Biological Motion anhand von leuchtenden Punkten, aber auch die Vorstellung von Bewegung (GROSSMAN et al. 2000) und statistische Bilder, die Bewegung implizieren (KOURTZI et KANWISHER 2000), aktivieren sie. Auch beim Betrachten von Comicbildern wird das STS aktiviert. Das lässt vermuten, dass der Beobachter von Comicbildern eine Art Bewegungsablauf sieht. In der Mismatch-Sequenz könnte die vermehrte neuronale Aktivität dieser Region vermutlich die Information über den Bewegungsablauf mehrmals abrufen, um die Dissonanz, die durch die nicht passenden Bilder entsteht (siehe Kap. III.2.4.3.) zu nivellieren und einzuordnen.

Zum anderen, wie schon in der Einleitung (siehe Kap. II.5.) angesprochen, werden Comics und Comic-Strips besonders gerne von Forschern benutzt, die sich mit der Thematik der Theory of Mind (ToM) beschäftigen.

ToM bezeichnet die Fähigkeit, sich in andere Menschen hineinzusetzen und dadurch aus deren Perspektive ihre Handlungen vorherzusehen und zu verstehen. Vor allem für das Verständnis und die Erforschung des frühkindlichen Autismus wird die ToM benutzt, denn diese Kinder scheinen Defizite in der Entwicklung der ToM zu haben (BARON-COHEN, LESLIE et FIRTH 1985). Dasselbe gilt für Schizophrene (SARFATI et al. 1999). In zahlreichen ToM Studien wurden Aktivierungen der STS Regionen gefunden, was vermuten lässt, dass diese Region eine zentrale Rolle im ToM-System spielt. Daher verwundert es nicht, dass es auch bei dem Lesen von Comics aktiviert wird und zusätzlich auch bei den Mismatch-Sequenzen. So spiegelt die Aktivierung dieser Region wahrscheinlich auch das Hineinversetzen in die Comicfiguren und in die Geschichte wieder. Diese Eigenschaften von Bildergeschichten wurden z.B. von SAFARTI et al. (1997a/b; 1999) BRUNET et al. (2000), zur Erforschung sozialer Kognition genutzt (siehe Kap. II.5.). Die Aktivierung des STS und des ACC bei den Mismatch-Sequenzen zeigt zum einen eine erhöhte Aufmerksamkeitsbereitschaft (siehe Kap. V.4.), zum anderen vermutlich eine vermehrte Anstrengung, sich in die Geschichte hineinzusetzen und die Inhalte mit Hilfe des sich schon angeeigneten Wissens, welches im Gehirn abgespeichert ist, zu verstehen und einzuordnen. Da wegen der Unstimmigkeit von Bildergeschichte und Text (siehe Kap. III.2.4.3.) diese Sequenz einer anscheinend erhöhten Aktivität des ACC und STS bedarf, scheint sich die Vermutung zu bestätigen, dass dieses auch hier durch das vermehrte Absuchen mehrerer Pfade im selben Gebiet entsteht. Die ACC-Aktivierung ist auch als Areal beschrieben, das bei der Steuerung der Aufmerksamkeit z.B. bei BUSH et al. (2000) eine entscheidende Rolle spielt. Zusätzlich

scheint es aber wichtig zu sein bei der Wahrnehmung von eigenen als auch fremden mentalen Zuständen (GALLAGHER et al. 2002, McCABE et al. 2001, RILLING et al. 2004). Das ACC Areal ist also eine Kernregion des neuronalen ToM-Systems wie auch die Spitzen der Temporallappen, die für den Abruf von Gedächtnisinhalten wichtig sind (GALLAGHER et al. 2003) und auch in der hiesigen Studie beidseitig aktiviert wurden. Dies würde die Hypothese des Absuchens mehrerer Pfade und die dadurch bedingte Mehraktivierung des ACC, STS und der Temporallappen beidseits beim Versuch des Einordnen und des Matching der Geschichte untermauern. Es zeigt vermutlich die vermehrte Anstrengung des Hineinversetzens in die Geschichte und das Abrufen von vorabgespeichertem Wissen, um mit Hilfe dessen die unpassenden Bilder einzuordnen.

## **V.5. Die Bedeutung von Frontalhirn, der Aufmerksamkeit und der Top-down Prozesse**

In unserem Versuch spielt die Aufmerksamkeit beim Beobachten von zueinander passenden Comicbildern und nicht passenden Bildern eine wichtige Rolle. Die Konzentration sollte bis zum Ende der projizierten Comic-Geschichte gewährleistet werden, siehe Kap. III.2.5. und V.1.

Interessant war zu sehen, dass die Mismatch (Kondition 2)-Sequenz im Gegensatz zur Original-(Kondition 0)-Sequenz eine Mehraktivierung der Areale, die für die räumliche Aufmerksamkeit (BRESSLER et al. 2010, KASTNER et al. 2007, KONEN et al. 2008, SERENO et al. 2001, SILVER et al. 2009) und für den Aufmerksamkeitswechsel (BARBER et al. 2005, CRONE et al. 2006, BRAVER et al. 2003, DOVE et al. 2000, GRUBER et al. 2006, KIMBERG et al. 2000, SMITH et al. 2004, SOHN et al. 2000, SWAINSON et al. 2003, YEUNG et al. 2006) zuständig sind, hervorrief. HAGLER et al. (2006) beschreibt zusätzlich die Aktivierung des Präfrontal-, Frontal- und Parietallappens sowie des superior-frontalen Cortex bei der räumlichen Aufmerksamkeit und nahm deren Kartierung vor.

In unserer Studie zeigten vor allem die superior-frontale, inferior-parietale und superior-temporale Region im Gehirn eine vermehrte Aktivität. Alle diese Regionen wurden durch HOPFINGER et al. (2000) als Regionen identifiziert, die für die Top-down-

Aufmerksamkeitskontrolle verantwortlich sind. Zum Top-down-Prozess siehe auch Kapitel II.5.

Eine wichtige Rolle übernimmt auch das Frontalhirn in den Top-down-Prozessen, wie viele neuroradiologischen Studien zeigten. Diese Region hat aber auch noch andere Aufgaben, die für diese Arbeit von Bedeutung sind, weil entsprechende Areale in der hiesigen Studie aktiviert wurden. Der dorsolaterale präfrontale Cortex vor allem der Gyrus frontalis medius spielt eine wichtige Rolle beim Enkodieren im Arbeitsgedächtnis, bei der Abschirmung von ablenkenden Informationen sowie bei Suchprozessen im Arbeitsgedächtnis (ULLSPERGER et VON CRAMON 2006, D'ESPOSITO et al. 2000). Es könnte hier ein Abgleichen der Vorinformationen im Arbeitsgedächtnis mit den Mismatch-Bildern im Sinne einer passenden Einordnung erfolgen.

Es erfolgte eine Aktivierung der Areale BA 47, 44 und 45 (bezeichnet als ventrolateraler-präfrontaler Cortex) in der hiesigen Studie. Diese Areale sind in mehreren PET und fMRT-Studien als die Bereiche identifiziert worden, die für das Halten von Informationen im Arbeitsgedächtnis verantwortlich sind.

Auch bei der selektiven visuellen Aufmerksamkeit und dem Aufmerksamkeitswechsel (CORBETTA et al. 1998) spielt das Frontalhirn eine entscheidende Rolle, denn neben der Aktivierung der posterioren Areale des Sulcus frontalis superior wird zusätzlich das frontale Augenfeld („frontal eye field“ FEF) wie in dieser Studie aktiviert. Wie gezeigt wurde, ist dieses Gebiet für die Planung intentionaler Augenbewegungen als auch für die visuelle Aufmerksamkeitskontrolle wichtig, so auch im Mismatch > Match Vergleich. Die anterioren Areale des Sulcus frontalis superior sind in der Literatur häufiger bei Langzeitgedächtnissuchen beschrieben (ULLSPERGER et VON CRAMON 2006).

In weiteren fMRT Studien erfolgte bei Aufmerksamkeitszuwendung auf einen bestimmten Ort eine starke Aktivierung des FEF, der präSMA und parietaler Areale (LPS und Sulcus interparietalis) bevor der visuelle Reiz dargeboten wurde, sowie während des visuellen Reizes. Dieses Aktivierungsmuster interpretierte HOPFINGER et al. (2000), wie oben im Text erwähnt, als Top-down-Modulation des visuellen Cortex durch die frontoparietalen Bahnen. Dieser beschreibt die inferiore Region des Parietallappens (IPS) als spezifisch für die Aufmerksamkeitskontrolle im Gegensatz zu der superioren Region. Die inferioren Bereiche

sind auch in unserer untersuchten Sequenz verstärkt beteiligt, was schlussfolgern lässt, dass das Aufmerksamkeitskontrollsystem eher spezifisch aktiviert wurde.

BARBER et al. (2005) zeigte wie seine Vorgänger, dass die Regionen, die vor allem bei der Überwindung (overcoming) von der „Prepotency“ primär frontal lokalisiert sind und bei der Konfliktreduktion als Teil der Top-down-Modulation beteiligt sind. Passend kann also die Aktivität dieser Regionen in dieser Studie auch als Versuch einer Konfliktreduktion, die durch die Dissonanz des Mismatch verursacht wird. Die posterioren Regionen spielen eine wichtige Rolle beim Aufgabenwechsel wie oben beschrieben.

BRASS et al. (2005) zeigt, dass die mit der Aktualisierung von Aufgabenrepräsentationen assoziierte laterale -frontale Aktivität einer parietalen Aktivierung zeitlich vorausgeht. Beobachtet wurde auch die Zunahme der Aktivität in den Bereichen, die sich speziell mit der vorherigen Aufgabe beschäftigten (ALLPORT et al. 1994). Der rechte ventrolateraler-präfrontaler Cortex (VLPFC) in Menschen (ARON et al. 2004, MAYR et al. 2006) und das präSMA (ISODA et HIKOSAKA 2007) der Affen sind wahrscheinlich bei einer Hemmung der vorherigen Aufgabe beteiligt. Als zusätzliche Korrelate der Aktivierung der frontalen Regionen, des VLPFC, ACC und präSMA in der hiesigen Studie zeigten – wie oben beschrieben – zahlreiche Imaging Studien eine vermehrte Aktivität bei der Überwachung und Lösung von Aufgabenwechsel-Konflikten.

Der anteriore zinguläre Cortex (ACC, BA 24) spielt also auch eine entscheidende Rolle. Dieser erstreckt sich zwischen den neokortikalen Anteilen und dem Balken; der posteriore Anteil besteht aus dem rostralen parazingulären Übergangsareal BA32. Dieser Bereich und der gesamte posterior-fronto-mediane Cortex sind verantwortlich für die Aufgabenzuwendung des Verhaltens zusammen mit dem lateralen frontalen Cortex und den subkortikalen Strukturen. JOHNSTON et al. (2007) zeigte eine Veränderung der Intensität der Aktivierung von ACC Neuronen bei Aufgabenwechsel und bestätigt auch in der hiesigen Studie die wichtige Rolle des ACC beim Aufgabenwechsel.

Die erhöhte Aktivität der ACC Region bei Mismatch-(Kondition 2)-Sequenz versus Original-(Kondition 0)-Sequenz ist also wahrscheinlich auch Ausdruck der Überwachung und Lösung von Aufgabenwechsel-Konflikten, die in dieser Arbeit entstehen und einer vermehrten Konzentration bei dem Herausfiltern der Information zum Verstehen der Comicgeschichte nur anhand des Textes bedürfen.



Zusätzlich spielt hier die Erhöhung der Konzentration und die Erkenntnis, dass die Bilder zwischenzeitlich nicht zu der Geschichte passen, sowie der Aufgabenwechsel durch Veränderung der Testbedingungen, eine wichtige Rolle.

Die erhöhte Aktivierung der Precuneus Region, die BARBER et al. (2004) zufällig in seinen beiden Versuchen beobachtete, erklärte er als das Korrelat für die erhöhte Aufmerksamkeit, die aufgrund einer schwierigen Aufgabe verlangt wird. So könnte die verstärkte Precuneus-Aktivität dieser Studie, bei der ein hohes Maß an Konzentration und Flexibilität wichtig gewesen ist um der Geschichte folgen zu können, auch für eine erhöhte Aufmerksamkeit stehen.

Die aktivierte Insula scheint von enormer Bedeutung bei der Verarbeitungprozessen auf höherem kognitiven Niveau und bei Aufmerksamkeitsprozessen wie MENON et UDDIN (2010) es beschrieben. Ferner sehen sie die Insula als integrale Station, die zusammen mit dem ACC ein „Salience Netzwerk“ bildet zum filtern der relevantesten intra- und extrapersonellen Reizen um das Verhalten des Menschen zu leiten“. Die Forscher beschrieben verschiedene Mechanismen darunter die „Bottom up Detektion“, den Wechsel zwischen anderen Netzwerken um den Zugang zur Aufmerksamkeit und zum Arbeitsgedächtnis zu erleichtern, ferner beschrieben sie auch eine funktionelle Kopplung mit dem vorderen ACC, die einen schnelleren Zugriff auf das motorneuronische System erlauben.

## **V.6. Resümee**

Der Comic ist ein wenig erforschtes Gebiet. In den bisherigen Studien wurden Comics bevorzugt zur Forschung insbesondere in der Psychiatrie benutzt.

Diese Arbeit bringt neues Licht auf das Gebiet der Comics basierend auf der Vorarbeit von MAURER (2009) und der neuronalen Abläufe bei der Erzeugung von Dissonanz bzw. Mismatch.

Diese zeigen durch die vermehrte Aktivierung des linken inferio -frontalen Cortex (BA 45), des prämotorischen Cortex (BA 6) sowie des STS und vieler anderer Areale, die beim

regulären Comic-lesen neuronal eine Rolle spielen. Diese Mehraktivierung ist vermutlich eine Reaktion auf die erhöhte Anforderung und zusätzliche Verarbeitung, die die Mismatch-Sequenz erfordert.

Zusätzlich fungiert der präfrontale Cortex wahrscheinlich auch als bewegungserkennendes System beim Menschen (WILLIAMS 2006; JEANNEROD et al. 2001; RIZZOLATTI et al. 2001; NISHITANI et al. 2004). Unser Gehirn versucht mittels der vermehrten Aktivität der Areale des Spiegelneuronensystems mit Broca Areal und präfrontalem Cortex die Handlung der Comicbilder mit dem Text oder umgekehrt zu verknüpfen. Da diese aber nicht zueinander passen, erfolgt eine Mehraktivierung im Gegensatz zur Matching-(Kondition 0)-Sequenz. Vermutlich braucht der „Matchingmodus“ mehr an Aktivierung beim Anpassen der visuellen Perzeption auf den Inhalt und die Gestik, durch ein Absuchen mehrerer Pfade im selben Gebiet.

Die STS-Region könnte zusätzlich eine wichtige Rolle beim Hineinversetzen in die Comicfiguren in der Geschichte spielen, im Sinne der ToM.

Die STS-, die ACC-Region und der Temporallappen beidseits zeigen die vermehrte Anstrengung des Hineinversetzens und des Abrufen von schon angeeignetem Vorwissen, um die Dissonanzen bzw. Mismatch einzuordnen. Wobei hier auch die Top-down-Prozesse mit der Aktivierung der superior -frontalen-, inferior -parietalen- und superior -temporalen Regionen im Gehirn eine Rolle spielen.

Die ACC Region ist wahrscheinlich auch Ausdruck der Konzentration bei dem Herausfiltern der Information zum Verstehen der Comicgeschichte ausschließlich anhand des Textes. Diese Region zusammen mit der Insula scheinen ein „Salience Netzwerk“ zu bilden zum filtern der relevantesten intra- und extrapersonellen Reizen um das Verhalten des Menschen zu leiten. Ferner scheint eine funktionelle Kopplung zwischen Insula und dem vorderen ACC zu bestehen, die einen schnelleren Zugriff auf das motorneuronische System erlauben (MENON et UDDIN 2010).

Zum einen werden Areale der visuellen Aufmerksamkeitskontrolle als auch des Aufmerksamkeitswechsels (FEF + posteriore Areale des Sulcus frontalis superior) aktiviert. Die inferioren Regionen des Parietallappens sind in unserem untersuchten Kontrast verstärkt beteiligt, dass vermutlich auf eine spezifische Aktivierung des

Aufmerksamkeitskontrollsystems hinweist. Hier spielen also die erhöhte Konzentration, die Realisierung der Dissonanz zwischen Bild und Text, sowie der Aufgabenwechsel durch die Veränderung der Testbedingungen eine wichtige Rolle.

Auch die Precunus-Aktivität ist ein Zeichen eines erhöhten Maßes an Konzentration und Flexibilität.

Im Ganzen sieht man alle Areale die beim Comic-lesen (Kondition 0 oder siehe MAURER 2009) benutzt werden bei dem Vergleich Mismatch vs. Match verstärkt aktiviert. Zusätzlich zeigt sich eine erhöhte Aktivierung der Aufmerksamkeitsareale, was die Hypothese bestätigt, dass der Mismatch durch ein Absuchen mehrerer neuronaler Pfade im selben Gebiet im Sinne eines Loops abläuft, um die unstimmgigen Bilder dem Text bzw. in die erzählte originale Comicgeschichte einzuordnen.

## **V.7. Ausblick**

Das in dieser Arbeit untersuchte Paradigma hat sehr viele Informationen geliefert, bildet aber nur eine Grundlage für weitere Untersuchungen zu diesem umfassenden und hochinteressanten Thema.

## VI. ANHANG

### VI. 1. Paradigmanordnung für die ausgestrahlten Bilder

Seq.	Kon.	Bild-Nr.	Sek.	Geschlecht
1	0	101	5	x
1	0	102	3	f-k
1	0	103	5	m-k
1	0	104	4	m-k
1	0	105	3	f-k
1	0	106	4	f
1	0	107	5	m-k
1	0	108	5	f
1	0	109	6	m
1	0	110	3	m
1	0	111	3	n
1	0	112	3	m-k
1	0	113	3	f-k
1	0	114	3	m-k
1	0	201	3	m
1	0	202	5	f
1	0	203	2	m
1	0	204	5	f
1	0	205	5	m
1	0	206	3	f
2	1	208	3	m
2	1	209	3	x
2	1	210	3	x
2	1	211	3	m
2	1	212	3	m
2	1	213	3	m
2	1	214	3	m
2	1	301	3	m
2	1	302	3	m
2	1	303	3	m
2	1	304	3	m
2	1	305	3	m
2	1	306	3	m
2	1	307	3	m
2	1	308	3	m
2	1	309	3	m
2	1	310	3	m
2	1	311	3	m
2	1	312	3	m
2	1	313	3	m
2	1	314	3	x
2	1	315	3	m
3	3	401	3	e
3	3	402	15	e

3	3	403	12	e
3	3	404	14	e
3	3	405	9	e
3	3	406	18	e
3	3	407	6	e
3	3	408	14	e
3	3	501	9	e
3	3	502	8	e
3	3	503	9	e
3	3	504	8	e
4	0	505	4	f
4	0	506	4	f
4	0	507	1	x
4	0	508	4	f
4	0	509	2	f
4	0	510	2	e
4	0	511	6	m
4	0	512	4	f
4	0	513	3	n
4	0	514	3	m
4	0	515	5	m
4	0	601	5	m
4	0	602	6	f
4	0	603	6	f
4	0	604	3	m
4	0	605	3	f
4	0	606	3	n
4	0	607	3	f
4	0	608	5	m
4	0	609	4	m
4	0	610	5	f
4	0	611	4	m
5	2	x01	11	e
5	2	x02	7	e
5	2	x03	23	e
5	2	x04	17	e
5	2	x05	4	e
5	2	x06	11	e
5	2	x07	3	e
5	2	x08	6	e
5	2	x09	9	e
5	2	x10	13	e
5	2	x11	9	e
6	3	708	4	e
6	3	709	8	e

6	3	801	2	e
6	3	802	2	e
6	3	803	2	e
6	3	804	2	e
6	3	805	7	e
6	3	806	8	e
6	3	807	3	e
6	3	808	3	e
6	3	809	5	e
6	3	810	5	e
6	3	901	6	e
6	3	902	7	e
6	3	903	6	e
6	3	904	5	e
7	2	y01	3	e
7	2	y02	3	e
7	2	y03	10	e
7	2	y04	5	e
7	2	y05	3	e
7	2	y06	5	e
7	2	y07	16	e
7	2	y08	10	e
7	2	y09	12	e
7	2	y10	7	e
7	2	y11	6	e
8	1	1006	3	m
8	1	1007-1	2	m
8	1	1007-2	2	m
8	1	1007-3	2	m
8	1	1007-4	2	m
8	1	1007-5	2	m
8	1	1008	3	m
8	1	1101-1	3	f
8	1	1101-2	3	f
8	1	1102	3	f
8	1	1103	2	f
8	1	1104-1	2	f
8	1	1104-2	3	m
8	1	1105-1	3	f
8	1	1105-2	2	m
8	1	1106-1	2	m
8	1	1106-2	3	m
8	1	1107-1	2	m
8	1	1107-2	3	m
8	1	1108	3	m
8	1	1109	2	m
8	1	1110-1	3	m
8	1	1110-2	2	m
9	0	1201	5	m
9	0	1202	3	m
9	0	1203	5	x
9	0	1204	2	x
9	0	1205	6	f

9	0	1206	3	x
9	0	1207	4	m
9	0	1208	3	f
9	0	1209	1	n
9	0	1210	3	f-k
9	0	1211	3	f
9	0	1212	3	m
9	0	1213	4	m
9	0	1214	3	x
9	0	1215	4	f
9	0	1216	3	f
9	0	1217	4	n
9	0	1218	5	m
9	0	1301	2	e
9	0	1302	5	m
9	0	1303	5	m
9	0	1304	2	m
9	0	1305	2	m
9	0	1306	7	m
9	0	1307	3	m
9	0	1308	2	m
9	0	1309	3	n
9	0	1310	3	m
9	0	1311	3	m
9	0	1312	1	m
10	3	1313	8	e
10	3	1314	5	e
10	3	1315	13	e
10	3	1316	6	e
10	3	1401	6	e
10	3	1402	7	e
10	3	1403	5	e
10	3	1404	6	e
10	3	1405	4	e
10	3	1406	8	e
10	3	1407	13	e
11	2	z01	8	e
11	2	z02	18	e
11	2	z03	5	e
11	2	z04	3	e
11	2	z05	3	e
11	2	z06	7	e
11	2	z07	5	e
11	2	z08	7	e
11	2	z09	3	e
12	3	1509	4	e
12	3	1601	13	e
12	3	1602	13	e
12	3	1603	10	e
12	3	1604	4	e
12	3	1605	3	e
12	3	1606	3	e
12	3	1607	5	e

12	3	1608	15	e
12	3	1609	3	e
12	3	1610	6	e
12	3	1611	15	e
13	0	1702-1	3	m
13	0	1702-2	5	m
13	0	1703	4	m
13	0	1704	3	n
13	0	1705-1	3	f
13	0	1705-2	3	m
13	0	1706	6	f
13	0	1707-1	4	m
13	0	1707-2	3	m
13	0	1708-1	5	m
13	0	1708-2	7	m
13	0	1708-3	4	m
13	0	1709	5	m
13	0	1801	5	m
13	0	1802	8	m
13	0	1803	5	f
13	0	1804-1	3	x
13	0	1804-2	3	x
13	0	1804-3	3	x
13	0	1804-4	3	m
13	0	1805	6	f
13	0	1806	5	f
14	1	1807	3	n
14	1	1808	3	m
14	1	1809	3	m
14	1	1810-1	3	m
14	1	1810-2	3	m
14	1	1901-1	3	f
14	1	1901-2	3	m
14	1	1902-1	3	f
14	1	1902-2	3	m
14	1	1903-1	3	f
14	1	1903-2	3	m
14	1	1904-1	3	f
14	1	1904-2	3	m
14	1	1905	3	m
14	1	1906-1	3	f
14	1	1906-2	3	m
14	1	1908	3	n
14	1	1909	3	m
14	1	1910	3	m
14	1	1911-1	3	m
14	1	1911-2	3	f
15	2	ö01	12	e
15	2	ö02	8	e
15	2	ö03	8	e
15	2	ö04	14	e
15	2	ö05	15	e
15	2	ö06	18	e

15	2	ö07	5	e
15	2	ö08	4	e
15	2	ö09	5	e
16	0	2101-1	3	x
16	0	2101-2	5	x
16	0	2101-3	3	x
16	0	2101-4	3	x
16	0	2102	7	f
16	0	2103-1	2	e
16	0	2103-2	5	m
16	0	2103-3	4	m
16	0	2103-4	3	x
16	0	2104-1	4	m
16	0	2104-2	3	m
16	0	2105	4	m
16	0	2106	6	m
16	0	2107	7	m
16	0	2108	2	n
16	0	2109-1	5	m
16	0	2109-2	4	m
16	0	2109-3	3	m
16	0	2201-1	6	e
16	0	2201-2	2	x
16	0	2201-3	3	x
16	0	2202	4	m
16	0	2203-1	3	e
16	0	2203-2	4	m
16	0	2203-3	4	m
16	0	2203-4	5	m
16	0	2203-5	3	m
16	0	2204-1	3	m
16	0	2204-2	3	x
17	1	2205-1	3	m
17	1	2205-2	3	m
17	1	2206-1	3	m
17	1	2206-2	3	m
17	1	2207	3	m
17	1	2208-1	3	e
17	1	2208-2	3	m
17	1	2208-3	3	m
17	1	2208-4	3	m
17	1	2301	3	m
17	1	2302	3	m
17	1	2303	3	m
17	1	2304	3	m
17	1	2305	3	n
17	1	2306	3	m
17	1	2307-1	3	f
17	1	2307-2	3	m
18	2	ä01	15	e
18	2	ä02	9	e
18	2	ä03	4	e
18	2	ä04	7	e

18	2	ä05	6	e
18	2	ä06	6	e
18	2	ä07	4	e
18	2	ä08	3	e
19	1	2409	3	n
19	1	2410-1	3	m
19	1	2410-2	3	m
19	1	2501	3	m
19	1	2502	3	m
19	1	2503-1	3	m
19	1	2503-2	3	m
19	1	2504-1	3	m
19	1	2504-2	3	m
19	1	2505-1	3	m
19	1	2505-2	3	m
19	1	2506-1	3	m
19	1	2506-2	3	m
19	1	2506-3	3	m
19	1	2507-1	3	m
19	1	2507-2	3	m
19	1	2508-1	3	m
19	1	2508-2	3	m
19	1	2509-1	3	m
19	1	2509-2	3	m
20	3	2601	18	e
20	3	2602	3	e
20	3	2603	6	e
20	3	2604	6	e
20	3	2605	9	e
20	3	2606	7	e
20	3	2607	3	e
20	3	2608	3	e
20	3	2609	3	e
20	3	2610	10	e
21	2	ü01	3	e
21	2	ü02	6	e
21	2	ü03	3	e
21	2	ü04	12	e
21	2	ü05	6	e
21	2	ü06	6	e
21	2	ü07	7	e
21	2	ü08	7	e
21	2	ü09	6	e
21	2	ü10	6	e
22	3	2806	6	e
22	3	2807	9	e
22	3	2808	8	e
22	3	2901	4	e
22	3	2902	7	e
22	3	2903	3	e
22	3	2904	3	e
22	3	2905	7	e
22	3	2906	6	e

22	3	2907	6	e
22	3	2908	5	e
22	3	2909	4	e
22	3	2910	7	e
22	3	2911	7	e
22	3	3001	5	e
22	3	3002	7	e
22	3	3003	6	e
23	2	q01	4	e
23	2	q02	4	e
23	2	q03	5	e
23	2	q04	15	e
23	2	q05	5	e
23	2	q06	7	e
23	2	q07	13	e
23	2	q08	6	e
23	2	q09	10	e
23	2	q10	5	e
23	2	q11	5	e
23	2	q12	5	e
23	2	q13	6	e
23	2	q14	4	e
24	0	3110-1	3	m
24	0	3110-2	5	f
24	0	3111-1	3	m
24	0	3111-2	3	f
24	0	3112-1	4	m
24	0	3112-2	2	n
24	0	3201-1	3	m
24	0	3201-2	3	f
24	0	3202	3	n
24	0	3203-1	3	m
24	0	3203-2	3	m
24	0	3204-1	3	m
24	0	3204-2	3	m
24	0	3204-3	3	m
24	0	3205-1	3	m
24	0	3205-2	2	n
24	0	3206-1	3	m
24	0	3206-2	2	m
24	0	3207-1	3	m
24	0	3207-2	8	x
24	0	3208-1	3	e
24	0	3208-2	3	m
24	0	3208-3	7	f
24	0	3209	7	f
24	0	3301-1	3	f
24	0	3301-2	3	f
24	0	3301-3	3	f
24	0	3301-4	3	f
24	0	3302	3	n
24	0	3303-1	3	m
24	0	3303-2	3	x

24	0	3304-1	3	m
24	0	3304-2	3	m
24	0	3305	7	m
25	1	3306	3	m
25	1	3307	3	n
25	1	3308	3	n
25	1	3309-1	3	m
25	1	3309-2	3	m
25	1	3401-1	3	f
25	1	3401-2	3	f
25	1	3401-3	3	f
25	1	3401-4	3	f
25	1	3402	3	f
25	1	3403	3	e
25	1	3404-1	3	e
25	1	3404-2	2	x
25	1	3405-1	3	e
25	1	3405-2	3	m
25	1	3405-3	3	f
25	1	3406-1	3	e
25	1	3406-2	3	m
26	0	3407-1	6	m
26	0	3407-2	4	m
26	0	3408-1	3	m
26	0	3408-2	2	m
26	0	3408-3	7	m
26	0	3409-1	5	m
26	0	3409-2	2	n
26	0	3501-1	3	f
26	0	3501-2	2	m
26	0	3502	3	n
26	0	3503	3	m
26	0	3504-1	2	m
26	0	3504-2	2	m
26	0	3504-3	3	f
26	0	3505	3	x
26	0	3506-1	2	f
26	0	3506-2	3	m
26	0	3506-3	8	m
26	0	3507	6	f
26	0	3508-1	2	n
26	0	3508-2	2	x
26	0	3508-3	3	x
26	0	3509	3	n
26	0	3510-1	3	x
26	0	3510-2	5	m
26	0	3510-3	4	m
26	0	3601	3	m
26	0	3602	10	m
26	0	3603	5	f
26	0	3604	3	f
26	0	3605	3	n
26	0	3606	3	m

26	0	3607	4	m
26	0	3608	2	n
26	0	3701	5	n
26	0	3702	5	n
26	0	3703-1	3	m
26	0	3703-2	4	f
26	0	3704	3	f
26	0	3705	3	n
26	0	3706	3	m
26	0	3801	6	f
26	0	3802	3	m
26	0	3803	2	n
26	0	3804	4	m
26	0	3805-1	3	m
26	0	3805-2	5	m
26	0	3806	3	n
27	1	3807-1	3	m
27	1	3807-2	3	m
27	1	3808	3	m
27	1	3809-1	3	m
27	1	3809-2	3	m
27	1	3810	3	m
27	1	3811-1	3	m
27	1	3811-2	3	m
27	1	3901-1	3	x
27	1	3901-2	3	m
27	1	3902-1	3	m
27	1	3902-2	3	x
27	1	3903-1	3	x
27	1	3903-2	3	m
27	1	3904-1	3	m
27	1	3904-2	3	x
27	1	3905	3	m
27	1	3906-1	3	m
27	1	3906-2	3	m
27	1	3907	3	m
27	1	3908-1	3	m
27	1	3908-2	3	m
27	1	3909	3	n
27	1	3910	3	n
27	1	3911	3	m
28	3	4001	5	e
28	3	4002	3	e
28	3	4003	3	e
28	3	4004	6	e
28	3	4005	7	e
28	3	4006	9	e
28	3	4007	5	e
28	3	4008	3	e
28	3	4101	7	e
28	3	4102	9	e
28	3	4103	5	e
28	3	4104	4	e



28	3	4105	4	e
28	3	4106	6	e
28	3	4107	3	e
28	3	4108	3	e
29	0	4201	2	n
29	0	4202	2	n
29	0	4203-1	3	m
29	0	4203-2	3	m
29	0	4204-1	2	m
29	0	4204-2	3	m
29	0	4205-1	2	e
29	0	4205-2	3	m
29	0	4206	3	m
29	0	4207	3	n
29	0	4208-1	5	e
29	0	4208-2	4	m
29	0	4208-3	5	m
29	0	4301-1	3	e
29	0	4301-2	4	x
29	0	4301-3	7	x
29	0	4301-4	5	f

29	0	4301-5	4	f
29	0	4301-6	3	f
29	0	4302	5	m
29	0	4303	3	n
29	0	4304	4	f
29	0	4305	4	m
29	0	4401	3	n
29	0	4402-1	4	f
29	0	4402-2	4	m
29	0	4403-1	3	m
29	0	4403-2	2	f
29	0	4404-1	6	e
29	0	4404-2	5	x
29	0	4404-3	6	x
29	0	4405-1	13	e
29	0	4405-2	4	m
29	0	4405-3	3	m
29	0	4405-4	14	f
29	0	4405-5	6	m-k
29	0	4405-6	5	f-k
29	0	4405-7	3	e

*Tabelle VI.1: Paradigmaanordnung für die ausgestrahlten Bilder (3te Spalte Nummerierung der Bilder) mit Ausstrahlungszeit in Sekunden (4te Spalte) und Zuordnung der auf den Bildern dargestellten Charaktere nach dem Geschlecht. Erläuterung der Abk.: Seq.-Sequenzen, Kon.-Kondition, Sek.- Sekunden, die das Bild projiziert wurde. Geschlecht: „sprechende“ männliche Figur (m) oder weibliche Figur (w), e-Erzähltext, m-k- männlich Kind, f-k-weiblich Kind, x- keine Geschlechtszuordnung möglich*

**VII. LITERATURVERZEICHNIS**

- 1 Allison T, Puce A, McCarthy G (2000) social perception from visual cues: role of the STS region. *Trends. Cogn. Sci.* 7:267-278
- 2 Allport DA, Styles EA, Hsieh S (1994) Shifting intentional set: exploring the dynamic control of tasks. In *Attention and Performance* 15: 421–452
- 3 Arbib MA (2002) The mirror system, imitation, and the evolution of language. In: *Imitation in animals and artifacts*, ed. C. Nehaniv&K. Dautenhahn pp 229-280
- 4 Arbib MA (2005) From monkey-like action recognition to human language: an evolutionary framework for neurolinguistics. *Behav. Brain Sci.* 28: 105–167
- 5 Aron AR, Monsell S, Sahakian BJ, Robbins TW (2004) A componential analysis of task-switching deficits associated with lesions of left and right frontal cortex. *Brain* 127: 1561–1573
- 6 Ashburner J, Friston KJ (1999) Nonlinear spatial normalization using basis functions. *Hum Brain Mapp.* 7: 254-66.
- 7 Barber AD, Carter CS (2005) Cognitive control involved in overcoming prepotent response tendencies and switching between tasks. *Cerebral Cortex* 1: 183-187
- 8 Baron-Cohen S, Leslie A, Firth U (1985) Does the autistic child have a “theory of mind” ? *Cognition* 21: 37-46
- 9 Baron-Cohen S, Leslie AM, Frith U (1985) Does the autistic child have a “theory of mind”? *Cognition* 21:37-46
- 10 Baron-Cohen S, Ring HA, Whellwright S, Bullmore ET, Brammer MJ, Simmons A, Williams SCR (1999) Social intelligence in the normal and autistic brain: An fMRI study. *Eur. J. Neurosci.*11: 1891-1999
- 11 Baron-Cohen S, Ring H, Moriarty J, Schmitz B, Costa D, Ell P (1994) Recognition of mental states terms: Clinical findings in children with autism and a functional neuroimaging study of normal adults. *Br. J. Psychiatry* 165: 640-649
- 12 Belliveau JW, Kennedy DN, McKinstry RC, Buchbinder BR, Weisskoff RM, Cohen MS, Vevea JM, Brady TJ, Rosen BR (1990) Functional cerebral imaging by susceptibility-contrast NMR. *Magn Reson Med.* 14: 538-46
- 13 Benninghoff D, Drenckhahn D (2004) *Anatomie*, Elsevier, Urban & Fischer München, Aufl. 16, Bd. 2: 494
- 14 Bloch F, Hansen WW, Packard M (1946) Nuclear Induction. *Phys. Rev.* 70: 460-474
- 15 Boling W, Olivier A, Civit T (1999) The French contribution to the discovery of the central area. *Neurochirurgie* 45: 208-13
- 16 Brass M, Ullsperger M, Knoesche TR, von Cramon DY, Phillips NA (2005) Who comes first? The role of the prefrontal and parietal cortex in cognitive control. *J*

- Cogn Neurosci. 17: 1367-75
- 17 Braver TS, Reynolds JR, Donaldson DI (2003) Neural mechanisms of transient and sustained cognitive control during task switching. *Neuron* 39: 713-726
- 18 Bressler DW, Silver MA (2010) Spatial attention improves reliability of fMRI retinotopic mapping signals in occipital and parietal cortex. *Neuroimage* 2: 526-33
- 19 Broca P (1878) Anatomie compare des circonvolutions cerebrales: le grande lobe limbique. *Rev Anthropol* 1: 385-498
- 20 Brodmann K (1909) Vergleichende Localisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Principien dargestellt auf Grund des Zellenbaues. Barth, Leipzig. [TransGarey LJ (1994) Brodmann's localisation in the Cerebral Cortex. London: Smith-Gordon]
- 21 Brunet E, Decety J, (2006) Social brain dysfunctions in schizophrenia: A review of neuroimaging researches. *Psychiatry Research Neuroimaging* 148: 75–92
- 22 Brunet E, Sarfati Y, Hardy-Bayle MC, Decety J (2000) A PET Investigation of the attribution of intentions with a nonverbal task. *NeuroImage* 11: 157- 166
- 23 Buccino G, Binkofski F, Fink GR, Fadiga L, Fogassi L, et al. (2001) Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *Eur. J. Neurosci.* 13: 400–4
- 24 Bush G, Luu P, Posner MI (2000) Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cogn. Sci.* 4: 215-222
- 25 Campbell AW (1905) *Histological Studies on the Localisation of Cerebral Function.* Cambridge University Press
- 26 Carnaghi A, Cadinu M, Castelli L, Kiesner J, Bragantini C (2007) The best way to tell you to use a condom: The interplay between message format and individuals' level of need for cognition. *AIDS Care* 19: 432-40
- 27 Crone EA, Wendelken C, Donohue SE, Bunge SA (2006) Neural evidence for dissociable components of task-switching. *Cerebral Cortex* 16: 475-486
- 28 D'Esposito M, Postle BR, Rypma B (2000) Prefrontal cortical contributions to working memory: evidence from event-related fMRI studies. *Exp Brain Res.* 133: 3-11
- 29 Detre JA, Floyd TF (2001) Functional MRI and its applications to the clinical neurosciences. *Neuroscientist* 7: 64-79
- 30 Dove A, Pollmann S, Schubert T, Wiggins CJ, Cramon DY (2000) Prefrontal cortex activation in task switching: An event-related fMRI study. *Cognitive Brain Research* 9: 103-109
- 31 Drenckhahn D (2004) Blutgefäße des Zentralnervensystems. In: Beninghoff, Anatomie, Elsevier, Urban & Fischer München Bd. 2: 621-648
- 32 Ecker A (1869) Die Hirnwindungen des Menschen: nach eigenen Untersuchungen; insbesondere über die Entwicklung derselben beim Fötus und

- mit Rücksicht auf das Bedürfnis der Ärzte. Vieweg [u.a.], Braunschweig.
- 33 Economo C, Koskinas, GN (1925). Die Cytoarchitektonik der Hirnrinde des erwachsenen Menschen. Springer Verlag, Wien
- 34 Eisner W (1994) Mit Bildern erzählen – Comics und sequentielle Kunst. Comic Press Verlag, Wimmelbach
- 35 El-Setouhy MA, Rio F (2003) Stigma reduction and improved knowledge and attitudes towards filariasis using a comic book for children. *J Egypt Soc Parasitol.* 33: 55-65
- 36 Fagg AH, Arbib MA (1998) Modeling parietal-premotor interactions in primate control of grasping. *Neural Netw* 11: 1277–1303
- 37 Félix Vicq d'Azyr (1786) *Traité d'anatomie et de physiologie, avec des planches coloriées représentant au naturel les divers organes de l'homme et des animaux.* Didot l'Aîné
- 38 Ferrari PF, Gallese V, Rizzolatti G, Fogassi L (2003) Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *Eur. J. Neurosci.* 17: 1703–14
- 39 Foerster O (1936) Motorische Felder und Bahnen; In: *Handbuch der Neurologie.* Springer, Berlin, Bd 6: S 357
- 40 Fondation Leila Fodil (1998) Obstetrical handbook in comic strip form. *Dev Sante.* 14
- 41 Friston KJ, Holmes AP, Worsley KF, Poline JB, Frith CD, Frackowiak RSJ (1995) Statistical parametric maps in functional imaging: A general linear approach. *Hum Brain Mapp.* 2: 189-210
- 42 Gallagher HL, Happé F, Brunswick N, Fletcher PC, Frith U, Frith CD (2000) Reading the mind in cartoons and stories: An fMRI study of 'theory of mind' in verbal and nonverbal tasks. *Neuropsychologia* 38: 11-21
- 43 Gallagher HL, Jack AI, Roepstorff A, Frith CD (2002) Imaging the intentional stance in a competitive game. *Neuroimage* 16: 814-821
- 44 Gallanher HL, Frith CD (2003) Functional imaging of 'theory of mind'. *Trends Cogn. Sci.* 7: 77-83
- 45 Goel V, Grafman J, Sadato N, Hallett M (1995) Modeling other minds. *Neuroreport.* 6: 1741-6
- 46 Grady CL, McIntosh AR, Rajah MN, Craik FI (1998) Neural correlates of the episodic encoding of pictures and words. *Proc Natl Acad Sci U S A* 95: 2703–2708
- 47 Grady CL, McIntosh AR, Rajah MN, Craik FI (1998) Neural correlates of the episodic encoding of pictures and words. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 95(5): 2703-8
- 48 Grezes J, Decety J (2001) Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Hum Brain Mapp,* 12: 1-19

- 
- 49 Grossmann E, Donnelly M, Price R, Pickens D, Morgan V, Neighbor G, Blake R (2000) Brain areas involved in perception of biological motion. *J. Cogn. Neurosci.* 12: 711-720
- 50 Gruber O, Karch S, Schlueter EK, Falkai P, Goschle T (2006) Neural mechanisms of advance preparation in task switching. *Neuroimage* 31: 887-895
- 51 Hagler DJ Jr, Sereno MI (2006) Spatial maps in frontal and prefrontal cortex. *NeuroImage* 29: 567 – 577
- 52 Hari R, Forss N, Avikainen S, Kirveskari S, Salenius S, Rizzolatti G (1998) Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95: 15061–65
- 53 Hauk O, Johnsrude I, Pulvermüller F (2004) Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron* 41: 301–307
- 54 Hopfinger JB, Buonocore MH, Mangun GR (2000) The neural mechanism of top-down attentional control. *Nature Neurosci* 3: 284-291
- 55 Hounsfield G.N.(1973) Computerized transversed axial scanning(tomographie): Part I Description of system, *British J of Radiology* 46: 1016-1022
- 56 Iacoboni M, Dapretto M (2006) The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nat Rev Neurosci.* 7: 942-51
- 57 Isoda M, Hikosaka O (2007) Switching from automatic to controlled action by monkey medial frontal cortex. *Nat Neurosci* 10: 240–248
- 58 Jeannerod M (1994) The representing brain. Neural correlates of motor intention and imagery. *Behav. Brain Sci.* 17: 187–245
- 59 Jeannerod M (2001) Neural Simulation of Action: A Unifying Mechanism for Motor Cognition *NeuroImage* 14: 103–109
- 60 Jellema T, Baker CI, Wicker B, Perrett DI (2000) Neural representation for the perception of the intentionality of actions. *Brain Cogn.* 442: 280–302
- 61 Jenkinson M, Bannister P, Brady M, Smith S (2002) Improved optimization for the robust and accurate linear registration and motion correction of brain images. *NeuroImage* 17: 825-841
- 62 Johansson G (1973) Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception and Psychophysics* 14: 201-211
- 63 Johnston K, Levin HM, Koval MJ, Everling S (2007) Top-down control-signal dynamics in anterior cingulate and prefrontal cortex neurons following task switching. *Neuron* 53: 453–62
- 64 Kastner S, DeSimone K, Konen CS, Szczepanski SM, Weiner KS, Schneider KA (2007) Topographic maps in human frontal cortex revealed in memory-guided saccade and spatial working-memory tasks. *J Neurophysiol.* 97: 3494-507
- 65 Kim JH, Kim JH, Park JA, Lee SW, Kim WJ, Yu YS, Kim KW (2006) Blood-Neuronal Barrier: Intervellular communication at gliovascular interface. *J. Biochem. Mol. Biol.* 339-345

- 66 Kimberg DY, Aguirre GK, D'Esposito M (2000) Modulation of task-related neural activity in task-switching: An fMRI study. *Cognitive Brain Research* 10: 189-196
- 67 Konen CS, Kastner S (2008) Representation of eye movements and stimulus motion in topographically organized areas of human posterior parietal cortex. *J Neurosci.* 28: 8361–8375
- 68 Kourtzi Z, Kanwisher N (2000) Activation in human MT/MST by static images with implied motion. *J. Cogn. Neurosci.* 12: 48-55
- 69 Lah S, Miller L (2008) Effects of temporal lobe lesions on retrograde memory: A critical review. *Neuropsychol Rev.* 18: 24-52
- 70 Lauterbur PC (1973) Image formation by induced local interactions: Examples employing nuclear magnetic resonance. *Nature* 242: 190-191
- 71 Lippert H (2006) *Lehrbuch der Anatomie*, Elsevier, Urban & Fischer München, Aufl. 7: 92-93
- 72 Manfield P, Maudsley AA (1977) Medical imaging by NMR. *British Journal of Radiology* 50: 188-194
- 73 Maurer S (2009) Kognitive Prozesse beim semantischen Verarbeiten von Text und Bildsequenzen (Comic)
- 74 Mayr U, Diedrichsen J, Ivry R, Keele SW (2006) Dissociating task-set selection from task-set inhibition in the prefrontal cortex. *J. Cogn. Neurosci.* 18: 14–21
- 75 Mazziotta JC, Toga AW, Evans A, Fox P, Lancaster JA (1995) Probabilistic atlas of the human brain: Theory and rationale for its development. The International Consortium for Brain Mapping (ICBM). *Neuroimage* 2: 89-101.
- 76 McCabe K, Houser D, Ryan L, Smith V, Trouard T (2001) A functional imaging study of cooperation in two-person reciprocal exchange. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98: 11832-11835
- 77 McCloud S (1993) *Understanding Comics*. Northampton
- 78 McCloud S (1994) *Comics richtig lesen*. Carlsen.
- 79 Meister IG et al. (2003) Motor cortex hand area and speech: implications for the development of language. *Neuropsychologia* 41: 401–406
- 80 Menon V, Uddin LQ (2010) Saliency, switching, attention and control: a network model of insula function. *Brain Struct Funct* 214: 655-667
- 81 Michael A. Silver MA, Kastner S (2009) Topographic maps in human frontal and parietal cortex *Trends Cogn Sci.* 13:488-95
- 82 Milleliri JM, Krentel A, Rey JL (2003) Sensitisation about condom use in Gabon 1999: Evaluation of the impact of a comic book. *Sante* 13: 253-64
- 83 Nishitani N, Avikainen S, Hari R (2004) Abnormal imitation-related cortical activation sequences in Asperger's syndrome. *Ann Neurol*, 55: 558-562
- 84 Nishitani N, Hari R (2000) Temporal dynamics of cortical representation for action. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97: 913–18

- 
- 85 Ogawa S, Lee TM, Nayak AS, Glynn P (1990a) Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance image of rodent brain at high magnetic fields. *Magn Reson Med.* 14: 68–78
- 86 Ogawa S, Lee TM. (1990b) Magnetic resonance imaging of blood vessels at high fields: In vivo and in vitro measurements and image simulation. *Magn Reson Med.* 16: 9–18
- 87 Ogawa S, Menon RS, Kim SG, Ugurbil K (1998) On the characteristics of functional magnetic resonance imaging of the brain. *Annu Rev Biophys Biomol Struct.* 27: 447-74
- 88 Ogawa S, Tank DW, Menon R, Ellermann JM, Kim SG, Merkle H, and Ugurbil K (1992) Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: Functional brain mapping with magnetic resonance imaging. *Neurobiology Proc. Nati. Acad. Sci. USA* 89: 5951-5955
- 89 Parent A (2007) Felix Vicq d’Azyr: anatomy, medicine and revolution. *Can J Neurol Sci* 34: 30–37
- 90 Pauling L (1935) The Oxygen Equilibrium of Hemoglobin and Its Structural Interpretation. *Proc Natl Acad Sci U S A* 21: 186–191
- 91 Penfield W, Boldrey E (1937) Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain* 60: 389–443
- 92 Penfield W, Rasmussen T(1950) *The cerebral cortex of Man: A clinical study of localisation of function.* Macmillan. New York
- 93 Perrett DI, Harries MH, Bevan R, Thomas S, Benson PJ, Mistlin AJ, Chitty AJ, Hietanen JK, Ortega JE (1989) Frameworks of analysis for the neural representation of animate objects and actions. *J. Exp. Biol.* 146: 87–113
- 94 Perrett DI, Mistlin AJ, Harries MH, Chitty AJ (1990) Understanding the visual appearance and consequence of hand actions. In *Vision and Action: The Control of Grasping*, ed.MA Goodale, pp. 163–342
- 95 Puce A, Perrett D (2003) Electrophysiology and brain imaging of biological motion. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 358: 435–445
- 96 Purcell EM, Torrey HC, Pound RV (1946) Resonance absorption by nuclear magnetic moments in a solid. *Phys.Rev.* 69: 37
- 97 Rilling JK, Sanfey AG, Aronson JA, Nystrom LE, Cohen JD (2004) The neural correlates of theory of mind within interpersonal interactions. *Neuroimage* 22: 1694-1703
- 98 Rizzolatti G, Arbib MA (1998) Language within our grasp. *Trends Neurosci.* 21: 188–194
- 99 Rizzolatti G, Craighero L (2004) The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci.* 27: 169-92
- 100 Rizzolatti G, Fogassi L, Gallese V (2001) Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nat. Rev. Neurosci.* 2: 661–70

- 
- 101 Rizzolatti G, Luppino G (2001) The cortical motor system. *Neuron* 31: 889–901
- 102 Roy CS, Sherrington CS (1890) On the Regulation of the Blood-supply of the Brain. *J Physiol.* 11: 85–158
- 103 Sackmann E (2000) Die deutschsprachige Comic-Fachpresse. Hamburg: 9
- 104 Sackmann E (2008) Comics sind nicht nur komisch. Zur Benennung und Definition. *Deutsche Comicforschung*: 7-16
- 105 Sarfati Y, Hardy-Baylé MC, Besche C, Widlöcher D (1997a) Attribution of intentions to others in people with schizophrenia: A non-verbal exploration with comic strips. *Schizophrenia Research* 25: 199–209
- 106 Sarfati Y, Hardy-Baylé MC, Besche C, Widlöcher D (1997a) Attribution of intentions to others in people with schizophrenia: A non-verbal exploration with comic strips. *Schizophrenia Research* 25: 199–209
- 107 Sarfati Y, Hardy-Baylé MC, Brunet E, Widlöcher D (1999) Investigating theory of mind in schizophrenia: Influence of verbalization in disorganized and non-disorganized patients. *Schizophrenia Research* 37: 183–190
- 108 Sarfati Y, Hardy-Baylé MC, Brunet E, Widlöcher D (1999) Investigating theory of mind in schizophrenia: Influence of verbalization in disorganized and non-disorganized patients. *Schizophrenia Research* 37: 183–190
- 109 Schiebler TH (2002), *Anatomie*, Springer, Aufl. 8: 733
- 110 Scoville WB, Milner B (1957) Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci.* 12(1): 103-13
- 111 Scoville WB, Milner BJ (1957) Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Neurol Neurosurg Psychiatry* 20: 11–21
- 112 Sereno MI, Pitzalis S, Martinez A (2001) Mapping of Contralateral Space in Retinotopic Coordinates by a Parietal Cortical Area in Humans *Science* 294: 1350-4
- 113 Smith AB, Taylor E, Brammer M, Rubia K (2004) Neural correlates of switching set as measured in fast, event-related functional magnetic resonance imaging. *Human Brain Mapping* 21: 247-256
- 114 Sohn MH, Ursu S, Anderson JR, Stenger VA, Carter CS (2000) Inaugural article: The role of prefrontal cortex and posterior parietal cortex in task switching. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97: 13448-13453
- 115 Squire LR (1992) Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys and humans. *Psychol. Rev.* 99: 195–231
- 116 Swainson R, Cunnington R, Jackson GM, Rorden C, Peters AM, Morris PG (2003) Cognitive control mechanisms revealed by ERP and fMRI: Evidence from repeated task-switching. *Jornal of Cognitive Neuroscience* 15: 785-799
- 117 Talairach J, Tournoux P (1988) Co-planar stereotaxic atlas of the human brain: 3-dimensional proportional system-an approach to cerebral imaging. Thieme



- Medical Publishers, New York
- 118 Ter-Pogossian MM, Phelps ME, Hoffman EJ, Mullani NA (1975) A positron-emission transaxial tomograph for nuclear imaging (PET). *Radiology* 114: 89-98
- 119 Tettamanti M et al. (2005) Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *J. Cogn. Neurosci.* 17: 273–281
- 120 Thulborn KR, Waterton JC, Matthews PM, Radda GK (1982) Oxygenation dependence of the transverse relaxation time of water protons in whole blood at high field. *Biochim Biophys Acta* 714: 265–270
- 121 Torrecilla García M, Ruano García R, Plaza Martín D, Hernández Mezquita MA, Barrueco Ferrero M, Alonso Díaz A (2004) Teenagers and smoking: Prevalence, patterns and attitudes. *An Pediatr* 60: 440-9
- 122 Trepel M (2008) *Neuroanatomie*, Urban & Fischer München, Aufl. 4: 286.
- 123 Uderzo A, Gosciny G (2001) *Asterix und Maestria*, Egmont Ehapa Verlag GmbH Berlin
- 124 Ullsperger M, DY (2006) *Funktionen frontaler Strukturen. Neuropsychologie Springer-Lehrbuch: 479-488*
- 125 Vogt C, Vogt O (1919) *Ergebnisse unserer Hirnforschung. 1.-4. Mitteilung. J. Psychol. Neurol.* 25: 279–461
- 126 Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B (2006) *Wie funktioniert MRI? Springer Heidelberg Aufl. 5: 2-38*
- 127 Wells III WM, Viola P, Atsumi H, Nakajima S, Kikinis R (1996) Multi-modal volume registration by maximisation of mutual information. *Med. Image Anal.* 1: 35-51
- 128 Williams JH et al (2006) Neural mechanisms of imitation and ‘mirror neuron’ functioning in autistic spectrum disorder. *Neuropsychologia* 44: 610–621
- 129 Wohlschläger A, Kellermann T, Habel U (2007) *Datenanalyse: Vorverarbeitung, Statistik und Auswertung. In: Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie. Springer Berlin, Heidelberg*
- 130 Worsley KJ (2001) Statistical analysis of activation images. In: Jezzard P, Matthews PM, Smith SM, *Functional MRI - an introduction to methods. Oxford University Press, 251-270*
- 131 Yeung N, Nystrom LE, Aronson JA, Cohen JD (2006) Between-task competition and cognitive control in task switching. *Journal of Neuroscience* 26: 1429-1438

**VIII. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

<b>Abkürzung</b>	<b>Erklärung</b>
Abb.	Abbildung
ALM	Allgemeines Lineares Modell
BA	Brodmann Areal
BOLD	Blood Oxygenation Level-Dependent
bzw	beziehungsweise
ca.	circa
Ci	Cingulum
Cl	Clastrum
CT	Computertomographie
EEG	Elektroenzephalografie
EPI	Echo-Planar-Imaging
FOV	Field Of View; Gehirnbereich der mit MRI abgebildet wird
fMRI /fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie (Bildgebung / Technik)
Ga	Gyrus angularis
GC	Gyrus cinguli
GFd	Gyrus frontalis medialis
GFi	Gyrus frontalis inferior
GFm	Gyrus frontalis medius
GFs	Gyrus frontalis superior
GPoC	Gyrus postcentralis
GPrC	Gyrus precentralis
Gsm	Gyrus supramarginalis
GTi	Gyrus temporalis inferior
GTm	Gyrus temporalis medialis
GTs	Gyrus temporalis superior
INS	Insula
LPI	Lobulus parietalis inferior
MRT	Magnetresonanztomographie
MR	Magnetresonanz
n.s.	nicht signifikant
o.g.	oben genannte
PCu	Precuneus

---

PET	Positronen Emissions Tomographie
Pu	Putamen
REA	„Random Effects“-Analyse
SPM	Statistical Parametric Mapping
TE	Echozeit
TR -Repetitionszeit	Zeit zwischen zwei HF-Anregungspulsen
ToM	Theory of Mind
VLPCF	ventrolateraler-präfrontaler Cortex
VS	Versus
V-SIR	Versailles-Situational Intention Reading
WHO	Weltgesundheitsorganisation
z.B.	zum Beispiel

**IX. ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

<u>Nummer</u>	<u>Inhalt/Quelle</u>	<u>Seite</u>
Abb. II.1	Die Zytoarchitektonie des menschlichen Gehirns nach Brodmann. Benninghoff A, Drenckhahn D (2004) Anatomie, Elsevier, Urban & Fischer, München Bd. 2, S. 494.	6
Abb. II.2	Neuroanatomischer Homunculus. Benninghoff A, Drenckhahn D (2004) Anatomie, Elsevier, Urban & Fischer, München Bd. 2, S. 499-500.	7
Abb. II.3	Anatomische Darstellung der Gyri und Sulci. Benninghoff A, Drenckhahn D (2004) Anatomie, Elsevier, Urban & Fischer, München Bd. 2, S. 466-469.	10
Abb. II.4	Ausschnitt aus dem Teppich von Bayeux. Sachmann E (2006) Vortrag: Comics im Mittelalter	12
Abb. III.1	Verhalten der Spins innerhalb und außerhalb des magnetischen Feldes. Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B (2006) Wie funktioniert MRI? Springer Heidelberg Aufl. 5, S. 4.	21
Abb. III.2	Schema eines MR-Gerätes mit seinen Komponenten. Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B (2006) Wie funktioniert MRI? Springer Heidelberg Aufl. 5, S. 36.	24
Abb. III.3	Schema der hämodynamischen Antwort auf die neuronale Aktivität und ihren Einfluss auf des MR-Signal. Lehnertz fMRT Erläuterungen.	26
Abb. III.4	Der durchschnittliche zeitliche Verlauf der Mapping-Signale auf ein Stimulus für Desoxyhämoglobin. Malonek D, Grinvald A (1996) Interactions Between Electrical Activity and Cortical Microcirculation Revealed by Imaging Spectroscopy Implications for Functional Brain Mapping. Science 272: 551-4	27
Abb. III.5	Schematisierung der fMRT-Messdatenverarbeitung. Feige B, Graser C (2009) Vorverarbeitung von fMRT-Daten.	28
Abb. III.6	Graphische Darstellung einer Bewegungsartefaktkorrektur, durch Translation in 3 Richtungen und Rotation in 3 Raumachsen verändert übernommen von Ligges M (2002) FMRI-Untersuchung von Sprachverarbeitungsprozessen bei der Lese- und Rechtschreibstörung.	29
Abb. III.7	Graphische Illustration von Deformationen.  Mazziotta JC, Toga AW, Evans A, Fox P, Lancaster JA (1995) Probabilistic atlas of the human brain: Theory and rationale for its development. The International Consortium for Brain Mapping. Neuroimage 2:89-101	30
Abb. III.8	Titelseite von „Asterix und Maestia“ Gosciny R, Uderzo A (2001) Asterix und Maestia, Egmont Ehapa Verl., Berlin, Bd. 29.	34
Abb. III.9	Darstellung der Verarbeitungsstritte für die Kondition 0. Gosciny R,	35

---

	Uderzo A (2001) Asterix und Maestia, Egmont Ehapa Verl., Berlin, Bd. 29. S. 17.	
Abb. III.10	Darstellung der Bearbeitungsschritte für die Kondition 1. Gosciny R, Uderzo A (2001) Asterix und Maestia, Egmont Ehapa Verl., Berlin, Bd. 29. S. 23.	36
Abb. III.11	Darstellung der Verarbeitungsschritte für die Kondition 2. Gosciny R, Uderzo A (2001) Asterix und Maestia, Egmont Ehapa Verl., Berlin, Bd. 29. S. 28.	37
Abb. III.12	Bearbeitung der Bilder für die Kondition 3. Gosciny R, Uderzo A (2001) Asterix und Maestia, Egmont Ehapa Verl., Berlin, Bd. 29. S. 33.	38
Abb. III.13	Diagramm-Prozentueller Anteil der jeweils ausgestrahlten einzelnen Konditionen an der 42 minütigen Geschichte.	41
Abb. III.14	Schematischer Aufbau der MRI-Versuchsordnung.	42
Abb. IV.1	GFi (BA 47)	44
Abb. IV.2	GPrC rechts (BA 4)	44
Abb. IV.3	GPrC rechts (BA 6)	45
Abb. IV.4	GFm links (BA8)	45
Abb. IV.5	GFm links (BA6)	46
Abb. IV.6	GFi links (BA 47)	46
Abb. IV.7	GPrC links (BA 4)	47
Abb. IV.8 a)	GPrC links (BA 44)	47
Abb. IV.8 b)	GPrC links (BA 44) 5	48
Abb. IV.9	GC links (BA 25)	49
Abb. IV.10	GTm rechts (BA 22)	51
Abb. IV.11	GTs links (BA 41)	52
Abb. IV.12	GTm links (BA 21)	52
Abb. IV.13	LPi rechts (BA 40)	53
Abb. IV.14	Pcu links (BA 7, BA 31)	54
Abb. IV.15	Gsm links (BA 40)	54

---

Abb. IV.16	GC ant. rechts (BA 32)	56
Abb. IV.17	GC links (BA 24)	56
Abb. IV.18	Sub-lobar Claustrum links	57
Abb. IV.19	Übersichtsabbildung der Aktivierungen bei der Mismatch-Sequenz	58

**X. TABELLENVERZEICHNIS**

<b><u>Nr.</u></b>	<b><u>Inhalt</u></b>	<b><u>Seite</u></b>
IV.1	Mismatch>Match-Sequenz aufgezeichnete Mehraktivierung bei Voxel 50 im frontalen Kortex	49
IV.2	Mismatch>Match-Sequenz aufgezeichnete Mehraktivierung bei Voxel 50 im temporalen Kortex	53
IV.3	Mismatch>Match-Sequenz aufgezeichnete Mehraktivierung bei Voxel 50 im temporalen Kortex	55
IV.4	Mismatch>Match-Sequenz aufgezeichnete Mehraktivierung bei Voxel 50 in limbischen Arealen/Basalganglien	57
VI.1	Paradigmaanordnung für die ausgestrahlten Bilder	71

## **XI. DANKSAGUNG**

Dem Schöpfer für die Geheimnisse der menschlichen Natur.

Herrn Professor Dr. med. W. Reith möchte ich für die Überlassung des Themas der Doktorarbeit.

Meinem Betreuer Dr. rer. med. Christoph Krick danke ich für die Unterstützung in allen Phasen der Arbeit.

Für das Korrekturlesen und die Verbesserungsvorschläge bedanke ich mich bei Gabriella Kruza, Donika Ivanova und Anand Sastry.

Meinen geliebten Eltern Ewa Fabiszewska-Trzeciak und Wojciech Trzeciak sowie meinen Geschwistern Paulina und Isabella Trzeciak danke ich für die Unterstützung und den Beistand während allen Höhen und Tiefen beim Schreiben der Arbeit, des ganzen Studiums und auf allen Lebenswegen.

Zuletzt danke ich meinem Ehemann für die aufgebrachte Geduld, Liebe und tatkräftige Unterstützung während der Herstellung der Arbeit sowie auf unserem gemeinsamen Lebensweg.



**XII. LEBENS LAUF**

Name: Domke (geb. Trzeciak), Karolina

Geburtsdatum: 30.03.1983

Geburtsort: Hamburg

Staatsangehörigkeit: deutsch

Wohnort: An den Birken 23  
66424 Homburg/Saar

Eltern: Ewa Barbara Fabiszewska-Trzeciak (Theologin),  
Wojciech Trzeciak (Programmierer)

Familienstand: verheiratet seit 09.2008 mit Adam Domke (Arzt)

Schulbildung und Studium: 1989 - 1993 Katholische Grundschule, Hamburg  
1993 - 2003 Sankt-Ansgar-Gymnasium, Hamburg  
24.06.2003 Schulabschluss: allgemeine Hochschulreife  
2003 - 2009 Studium der Humanmedizin an der Universität des Saarlandes  
Herbst 2009 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Beruflicher Werdegang: 04/2010-09/2010 Assistenzärztin in der Klinik der Inneren Medizin des Evangelischen Krankenhauses in Zweibrücken  
Seit 10/2010 Assistenzärztin in der Klinik der Anästhesiologie des Universitätsklinikum Homburg